

УДК 663.31

Факторы, влияющие на качество и сроки годности напитков брожения из плодового сырья: обзор предметного поля

О. С. Егорова, Д. Р. Акбулатова, А. А. Шилкин

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Россия

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**Егорова Олеся Сергеевна**

E-mail: labvin@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Егорова, О. С., Акбулатова, Д. Р., & Шилкин, А. А. (2023). Факторы, влияющие на качество и сроки годности напитков брожения из плодового сырья: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 14-32. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>

ПОСТУПИЛА: 15.02.2023

ПРИНЯТА: 17.07.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.07.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья опубликована в рамках темы НИР FGUS-2022-0012 государственного задания Федерального исследовательского центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН

**АННОТАЦИЯ**

Введение: В данном обзоре предметного поля проанализированы научные литературные источники (с 2004 по 2023 гг.), посвященные вопросу изменения качества напитков брожения из плодового сырья в процессе их производства и хранения, с целью выявления факторов, которые могут оказывать влияние на изменение сроков годности таких напитков.

Целью обзора явились изучение и анализ научных работ по вопросам формирования физико-химических, биохимических и органолептических показателей сидра, а также обобщение существующих данных по влиянию различных факторов, оказывающих влияние на изменение качественных характеристик сидров в процессе их производства и хранения.

Материалы и методы: Для обзора использованы научные публикации российских и зарубежных ученых по вопросам формирования и изменения качественных характеристик напитков брожения из плодового сырья. Поиск научных источников по исследуемой теме на русском и английском языках осуществлялся в базе данных Scopus, а также в электронной библиотеке eLibrary. В качестве метода исследования использовано обобщение результатов.

Результаты: Обобщены данные о влиянии отдельных групп химических веществ, входящих в состав плодового сырья, на формирование качественных характеристик напитков брожения. Проанализирована информация о применении различных методов обработки сидров с целью обеспечения микробиологической стабильности и предотвращения реакций потемнения. Выявлено, что новые методы нетермической обработки такие как импульсные электрические поля, ультрафиолетовый свет, высокоинтенсивные световые импульсы, ультразвук имеют широкие перспективы применения в качестве альтернативы традиционной термической пастеризации фруктовых напитков. Приведены результаты исследований, свидетельствующие об эффективности инновационных нетермических методов, для инактивации патогенных микроорганизмов. При этом отмечается необходимость проведения более глубоких исследований влияния ультрафиолетовых лучей и световых импульсов на органолептические свойства напитков, так как повышенные дозы или время воздействия могут стать причиной изменения цвета и снижения питательной ценности сидра. Проанализирована информация об изменениях химического состава напитков брожения под воздействием повышенной температуры и солнечного света. Выявлено, что указанные параметры окружающей среды оказывают вредное воздействие цвет, аромат и вкус напитков из плодового сырья.

Выводы: Обзор химического состава и качества плодового сырья, методов обработки и внешних факторов выявил, что для обеспечения сохранности напитков брожения необходимо глубокое изучение процессов, протекающих при их производстве, хранении, транспортировании и реализации. Выявление факторов риска, которые могут привести к интенсификации процессов, приводящих к ухудшению потребительских свойств данного продукта, может стать основой при разработке методов прогнозирования сроков годности новых наименований напитков брожения из плодового сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

напитки брожения, плодовое сырье, способы обработки, химический состав, качественные характеристики напитков, параметры окружающей среды

Factors Affecting the Quality and Shelf Life of Fermented Beverages from Fruit Raw Materials: Scoping Review

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems

Olesya S. Egorova, Dilyara R. Akbulatova, Aleksey A. Shilkin

CORRESPONDENCE:

Olesya S. Egorova

E-mail: labvin@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Egorova, O. S., Akbulatova, D. R., & Shilkin, A. A. (2023). Factors affecting the quality and shelf life of fermented beverages from fruit raw materials: Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 14-32. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>

RECEIVED: 15.02.2023

ACCEPTED: 17.07.2023

PUBLISHED: 30.07.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

The article was published within the framework of the research topic FGUS-2022-0012 of the state assignment of the Federal Research Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов RAS



ABSTRACT

Background: During the technological processes of processing blueberries (*Vaccinium myrtillus*), the amount of natural biologically active substances (BAS), in particular polyphenolic complexes and proanthocyanidins, is reduced to varying degrees. The analysis of publications of domestic and foreign researchers devoted to the complex and deep processing of blueberries made it possible to identify a problematic field of research – an insufficient degree of study and systematization of the influence of technological parameters on the safety of biologically active complexes of blueberries.

Purpose: The authors set a goal to critically analyze the existing blueberry processing technologies in order to identify the prospects for complex blueberry processing technologies, including those using biotechnological techniques that allow obtaining various functional products.

Materials and Methods: Literature sources containing up-to-date information on the methods of processing blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.), published in the period from 2010 to 2022, were analyzed. The following search engines and electronic libraries were used: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Medline, E-library.

Results: It is revealed that the most promising methods, from the point of view of the preservation of the complex of bioactive substances of blueberries and the intensity of technological processes, are sublimation and IR drying, freezing. These methods make it possible to obtain products (concentrated juice, blueberry powder) with minimal losses of raw materials and with maximum preservation of vitamin-mineral and anthocyanin complexes of blueberries. It is shown that complex technologies, deep processing technologies based on the use of a combination of physical and physico-chemical processes, and biotechnology with the use of highly specific enzyme preparations, including complex action, are of particular interest.

Conclusion: The analysis of the publications of domestic and foreign researchers devoted to the complex and deep processing of blueberries has revealed a problematic field of research – the insufficient degree of knowledge and systematization of the influence of technological parameters on the safety of biologically active blueberry complexes. Of particular importance for the organization of innovative and technologically advanced processing industries are complex technologies and technologies of deep processing, which make it possible to increase the efficiency of technological processes and obtain a wide range of food ingredients and biologically active substances from secondary products.

KEYWORDS

blueberries, drying, freezing, cavitation wave processing, biotechnological processing of blueberries, complex processing of blueberries, deep processing of blueberries

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в последнее время большой популярностью пользуются высококачественные натуральные продукты на основе плодов, ягод и других растительных компонентов, обладающие повышенной пищевой ценностью. В частности, эксперты отмечают устойчиво растущий спрос на такие слабоалкогольные напитки из плодового сырья, как сидр и пуаре, основным сырьем для производства которых являются плоды яблони и груши (Кузьмина с соавт., 2022). Это популярные во многих странах мира освежающие напитки, которые помимо яркого фруктового с приятной кислинкой и пикантной терпкостью вкуса, обладают рядом полезных свойств (Calugar et al., 2021). В зависимости от требований законодательства, технологии производства и предпочтений потребителей, органолептические характеристики сидра в разных регионах мира сильно различаются. В соответствии с нормативной документацией Российской Федерации сидры могут быть произведены как из соков прямого отжима, так и из концентрированных яблочных соков. При производстве фруктовых и ароматизированных сидров, в том числе используют соки других культурных и дикорастущих фруктов, вкусоароматическое сырье, пряные растения и травы и т.п.

Первоочередной задачей при внедрении в производство новых наименований напитков является установление их срока годности и условий хранения (Ковалева с соавт., 2020; Кобелев с соавт., 2021; Матвеева & Хасанов, 2016). Обеспечение сохранности потребительских свойств напитка влечет за собой необходимость выбора сырья и методов его обработки, способствующих максимальному сохранению заданных органолептических показателей. При этом необходимо учитывать множество факторов, влияющих на стойкость напитков в процессе их производства, хранения, транспортирования и реализации. К факторам, оказывающим существенное влияние на качество и потребительские свойства напитков, относят, в первую очередь, состав, индивидуальные свойства и характеристики основного сырья и вспомогательных материалов (Calugar et al., 2021). В тоже время, в последние годы всесторонне исследуются внешние факторы, оказывающие как положительное, так и отрицательное влияние на качество и сохраняемость напитков, в процессе их хранения в течение срока

годности (Choudhary & Bandla, 2012; Donahue et al., 2004; Koutchma, 2009; Mahendran et al., 2019).

Необходимость изучения и обобщения информации о факторах, оказывающих влияние на качество и сроки годности напитков брожения из плодового сырья, обусловлена активным внедрением в производство новых инновационных технологий обработки (Посокина & Захарова, 2023; Azhivalappil et al., 2010; Koutchma et al., 2016; Wiktor et al., 2019; Rodríguez-Bencomo et al., 2020) и отсутствием достаточного объема сведений об их влиянии на изменения вкусовых, питательных и функциональных свойств данного вида пищевой продукции.

Целью обзора стало рассмотрение и обобщение отечественных и зарубежных знаний о факторах, влияющих на процесс производства и хранения напитков брожения из плодового сырья, которые могут привести к изменению качественных характеристик и таким образом оказать влияние на сроки годности напитков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

В рамках данной работы был проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам изменения качественных характеристик напитков брожения из плодового сырья в процессе их производства и хранения. Материалами для исследования послужили 67 статей, опубликованные в период с 2004 по 2023 гг. По исследуемой теме проанализировано 8 источников на русском и 59 источников на английском языках, опубликованные в научных журналах и монографиях извлеченных из международной базы данных Scopus, а также отечественной электронной библиотеки eLibrary.Ru (РИНЦ). В том числе был проведен анализ публикаций из отечественной электронной библиотеки Киберленинка, диссертаций и нормативных документов. Публикации, не включенные в БД Scopus, eLibrary.Ru не анализировались, поскольку их исключение из этих баз данных ставит под сомнение валидность представленных в них результатов.

Критерии включения и исключения источников

Для поисковых запросов в отечественных электронных библиотеках были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: напитки брожения, сырье, химический состав, микробиологическая безопасность, условия хранения, сроки годности, способы обработки, параметры окружающей среды. Ключевыми словами для осуществления поиска в базе данных Scopus являлись: fermentation beverages, fruit raw materials, chemical composition, qualitative characteristics of beverages, environmental parameters, processing methods.

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период 2004–2023 год;
- (2) Статья соответствует теме исследования;
- (3) Типы анализируемых статей — оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии, диссертации и ГОСТы.

Критерии исключения:

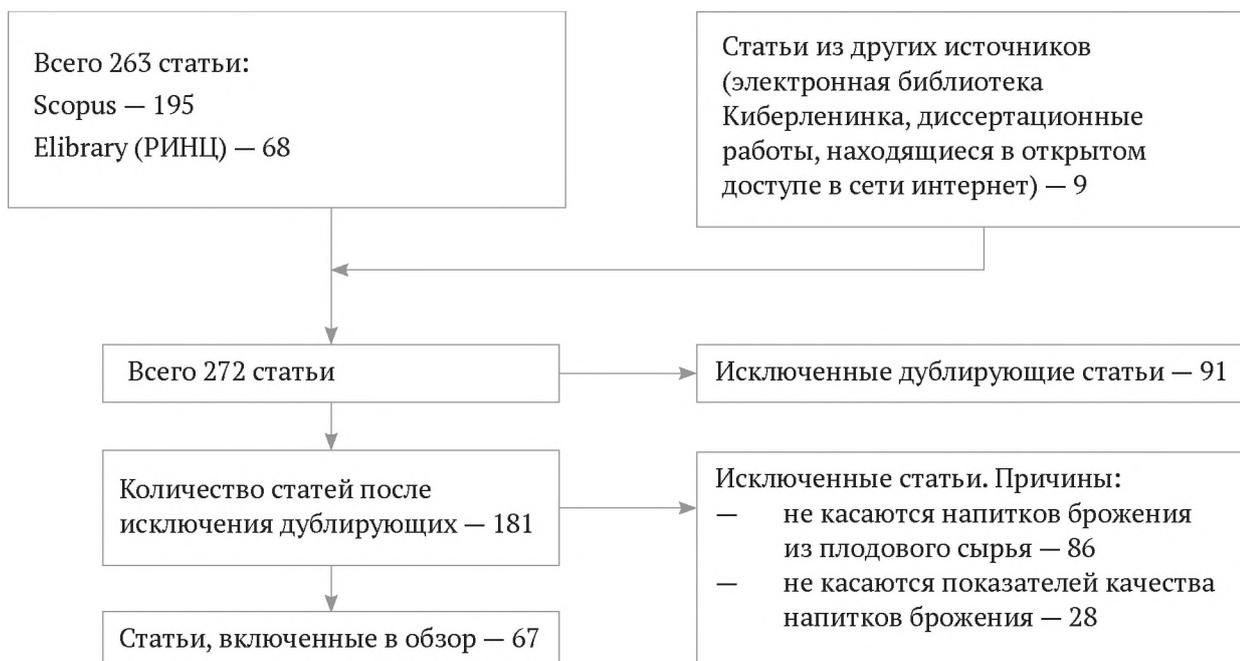
- (1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касаются тематики формирования и изменения качественных характеристик напитков брожения из плодового сырья в процессе производства и хранения;
- (2) Статья написана не на русском или английском языках;
- (3) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

Анализ и систематизация данных

Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составили схему проведения исследования (Рисунок 1).

Рисунок 1

Блок-схема, описывающая процесс выбора исследования, в соответствии с протоколом PRISMA



Примечание. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation, 2018 (<https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M18-0850>). In the public domain.

Извлечение и анализ данных

Для анализа источников и поиска ответов на поставленные вопросы исследования: рассмотреть влияние химического состава сырья, производственных процессов, а также параметров окружающей среды на формирование и изменение качественных характеристик напитков брожения из плодового сырья; установить их положительное и негативное влияние на сроки годности напитков,

извлекались данные из 67 статей, соответствующих критериям включения, и вносились в Таблицу 1.

Источники были проанализированы для сравнения и анализа химического состава и качества сырья, применяемого при производстве напитков брожения из плодового сырья; влияния способов обработки и параметров окружающей среды на качество и сроки годности напитков.

Таблица 1

Пример извлечения данных из статей, включенных в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Химический состав сырья и его влияние на качество напитков	Качество сырья и его влияние на стойкость напитков	Способы обработки и их влияние на качество и сроки годности напитков	Параметры окружающей среды и их влияние на качество напитков
1	A Preliminary Study of Yeast Strain Influence on Chemical and Sensory Characteristics of Apple Cider	Way M.L., Jones J.E., Longo R., Damberg R.G., Swarts N.D. (2022)	Incomplete fermentations can result in more 'fruity', 'fresh', and 'sweet' flavours in the cider. Conversely, ciders that have fermented through to dryness are known to be less 'sweet' and 'fruit' and more 'dry' or 'astringent'	—	—	—
2	An overview of the factors influencing apple cider sensory and microbial quality from raw materials to emerging processing technologies	Calugar P.C., Coldea T.E., Salanță L.C., Pop C.R., Pasqualone A., Burja-Udrea C., Zhao H., Mudura E. (2021)	The phenolic content of cider can be considered a key indicator of quality. Some varieties of sweet apples, which are used to make cider, are poor in tannins and do not provide astringency to cider. Each variety of apples has a unique range of volatile organic compounds, and is an important factor in obtaining good sensory characteristics and, therefore, a good cider quality	—	In the industrial cider-making, the spontaneous flora is inactivated by the addition of sulphur dioxide (SO ₂), which possesses bacteriostatic, antifungal and antioxidant properties and at SO ₂ concentrations above 50 mg/L contributes to slowing down the fermentation process.	—

Окончание Таблицы 1

№	Заглавие	Автор и год	Химический состав сырья и его влияние на качество напитков	Качество сырья и его влияние на стойкость напитков	Способы обработки и их влияние на качество и сроки годности напитков	Параметры окружающей среды и их влияние на качество напитков
					Operations such as maceration, pressing, pre-fermentation influence phenolic extraction and lead to improvements in cider quality	
3	Влияние методов «ускоренного старения» на сохранность потребительских свойств безалкогольных напитков с целью прогнозирования сроков годности	Ковалева, И.Л., Соболева О.А., Севостьянова Е.М. (2020)	—	—	—	Сравнительные исследования влияния только температурных факторов и температурных факторов в сочетании с ультрафиолетовым излучением. Вкус и аромат стали менее выражены, снизилось содержание двуокиси углерода. Изменение цвета напитков в сторону потемнения

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав и качество сырья

Химический состав, степень созревания и качество основного сырья оказывают существенное влияние на качественные характеристики продукта. Яблоки, как и другие фрукты, характеризуются высоким содержанием углеводов, органических кислот, витаминов, азотсодержащих соединений, минеральных веществ и микроэлементов, фенольных и ароматобразующих веществ, ферментов (Li et al., 2020; Juhart et al., 2022; Pinto et al., 2022; Feng et al., 2021; Wu et al., 2020; Preti et al., 2021; Пана-

сюк с соавт., 2014; Ширшова с соавт., 2020; Arnold & Gramza-Michałowska, 2022). Концентрации отдельных групп химических веществ, входящих в состав фруктовых соков, а также их соотношения играют важную роль в формировании органолептических характеристик напитков брожения (Кузьмина с соавт., 2022).

Сахара и органические кислоты определяют вкусовые, питательные и технологические качества фруктов и получаемых из них напитков (Akagić et al., 2022). Начальная концентрация сбраживаемых сахаров определяет потенциальную концентрацию спирта в готовом напитке брожения. Сахара, оставшиеся либо в результате неполного спирто-

вого брожения, либо добавленные после брожения, придают сладость готовым сидрам. Сидры с остаточными сахарами характеризуются более свежим, фруктовым и мягким вкусом, в то время как сухие сидры обладают более терпким и вяжущим вкусом (Way et al., 2022). Напитки с остаточными сахарами могут легко и самопроизвольно стать средой, в которой развивается вторичное брожение. У некоторых сидров с остаточным содержанием сахаров и pH выше 3,8, хранящихся при температуре окружающей среды, развивается дефект, называемый вязкостью или маслянистостью. Это вызвано определенными штаммами молочнокислых бактерий (*Lactobacillus* и *Leuconostoc spp.*), продуцирующими полимерный глюкан, который сгущает консистенцию и при разливе получается маслянистая текстура с заметным блеском.

Кислотность напитков брожения выступает важным показателем при оценке вкуса (Lobo et al., 2021). Она должна быть достаточной, чтобы создавать чистый освежающий сбалансированный вкус (Han et al., 2023). Кроме того, органические кислоты оказывают существенное влияние на стабильность напитков. Высокий уровень кислотности во время брожения способствует предотвращению развития болезнетворных микроорганизмов.

Полифенолы — важные биологически активные вещества фруктов и продуктов их переработки. Они участвуют в формировании вкуса и цвета, отвечают за уровень терпкости, придают тело и структуру напиткам (Макаров с соавт., 2018; Calugar et al., 2021). Фенольные соединения могут быть ингибиторами микробиологического роста, способствуют коллоидной стабильности фруктовых напитков. Вступая в реакцию с пектинами, пептидами и белками, содержащимися в сбраживаемом сусле, они образуют нерастворимые молекулы, выпадающие в результате флокуляции в осадок с дрожжевыми клетками (Tarko et al., 2020). В то же время в процессе хранения продуктов полифенольные соединения подвержены ферментативному окислению, а также неферментативному гидролизу, приводящим к покоричневению продукта. В присутствии кислорода фермент полифенолоксидаза катализирует окисление полифенолов до орто-хинонов, которые быстро полимеризуются либо сами с собой, либо с аминокислотами или белками с образованием коричневых пигментов (Xu et al., 2023; Park et al., 2018).

Макро- и микроэлементы играют важную роль в брожении алкогольных напитков, способствуя росту дрожжей и правильному протеканию их метаболизма. Содержание ионов металлов в сусле различается и зависит от вида фруктов, их качества, агротехнических обработок и многого другого. Известно, что цинк и магний являются фактором, защищающим от стресса дрожжи при производстве алкогольных напитков, и могут помочь предотвратить гибель клеток, вызванную температурным шоком и токсичностью этанола. Ионы цинка и магния присутствуют в качестве кофактора для многих ферментов, включая те, которые необходимы для биосинтеза спирта и жирных кислот (Zhao et al., 2012; Tarko et al., 2020). Ионы железа, меди, марганца и цинка участвуют в окислительных биохимических процессах (Vidot et al., 2020). Железо играет решающую роль в окислительно-восстановительных системах в клетках и в различных ферментах. Результатом взаимодействия солей железа с танинами, содержащимися в соке терпких плодов и ягод, может стать образование помутнений и осадков.

Полифенолоксидазы и пероксидазы — основные ферменты, ответственные за потерю качества пищевых продуктов, связанную с деструкцией фенольных веществ. Полифенолоксидаза — медьсодержащий фермент, который содержится во многих фруктах, может способствовать порче продукта. Она катализирует окисление различных фенольных соединений, полимеризация которых приводит к образованию нежелательных коричневых пигментов (Jukanti, 2017; Falguera et al., 2012). Окисление фенольных соединений полифенолоксидазой начинается с измельчения яблок (Alberti et al., 2016). Напитки брожения, полученные из яблок с более низкой активностью полифенолоксидазы, обычно содержат также большее количество хлорогеновой кислоты, которая часто влияет на фенольный профиль продуктов из яблок (Coldea et al., 2020; Wandjou et al., 2020; Guiné et al., 2021). Другим ферментом, который оказывает значительное влияние на качество яблок и напитков, полученных из них, является пероксидаза. Она в присутствии перекиси водорода катализирует окисление широкого спектра природных веществ, присутствующих в растительных продуктах, что приводит к ухудшению цвета, вкуса и снижения питательных свойств. Так, полифенолоксидаза катализирует реакцию окисления о-дифенолов и полифенолов с образо-

ванием промежуточных семихинонов и о-хинонов, которые при конденсации образуют темноокрашенные продукты (Wibowo et al., 2019).

Известно, что яблоки на разных стадиях зрелости имеют разный химический состав, причем в более спелых яблоках выше содержание сахаров, ароматических соединений и ниже кислотность. Однако незрелые яблоки могут обладать большим потенциалом длительного хранения из-за более низкой концентрации этилена в начале хранения. Яблоки могут храниться в течение длительного периода времени перед обработкой, но химический состав яблок может измениться во время хранения, и таким образом, отразиться как на качестве самих плодов, так и на потребительских характеристиках получаемых из них соков и сидров (Simonato et al., 2021).

Использование некачественного сырья — фактор, который существенным образом влияет на стойкость напитков при хранении. Поскольку плоды, предназначенные для переработки, включая падалицу, как правило, имеют более низкое качество, чем плоды, предназначенные для непосредственного употребления в свежем виде, они подвержены потенциальному воздействию грибковых инфекций. Грибковые заболевания могут значительно изменить свойства плодов и продуктов их переработки (Simonato et al., 2021; Khan et al., 2022). Переработка подпорченных, пораженных гнилью и плесенью плодов достаточно часто становится следствием появления недостатков, пороков и болезней напитков. Проведенные исследования выявили значительные различия в химическом составе сидров, приготовленных из здоровых яблок, по сравнению с сидрами, приготовленными из зараженных яблок. Основные компоненты участвующие в формировании аромата сидра (спирты, сложные эфиры, жирные кислоты и альдегиды) могут трансформироваться определенным образом в зависимости от вида грибов (Simonato et al., 2021).

Производственные процессы

Для увеличения срока годности напитки должны быть обработаны с целью предотвращения микробиологической порчи (Falguera et al., 2012). Применение диоксида серы, фильтрация и пастеризация — хорошо изученные и зарекомендовавшие

себя в виноделии средства борьбы с нежелательными микроорганизмами, способствующие предотвращению ферментативных и неферментативных реакций потемнения.

Диоксид серы — консервант, который веками использовали для стабилизации вина. Он обладает бактериостатическими, противогрибковыми и антиоксидантными свойствами (Calugar et al., 2021). Диоксид серы, инактивируя спонтанную флору, обеспечивает желаемую микробиологическую стабильность, в связи с чем его используют главным образом для подавления дрожжевого и бактериального действия. Он защищает как свежее сусло, так и напитки брожения от окисления. Диоксид серы ингибирует окислительные ферменты, в частности полифенолоксидазу, и со временем разрушает их. Добавление диоксида серы при измельчении плодов, а также его присутствие в сусле может дополнительно привести к увеличению извлечения фенольных соединений, которые участвуют в сложении полноты вкуса и придают терпкость сидрам. Напитки брожения с низким содержанием сернистого ангидрида обладают более мягким вкусом, в то время как чрезмерное содержание диоксида серы приводит к тому, что напитки приобретают резкий запах. Можно производить напитки брожения без использования диоксида серы, но это, как правило, приводит к снижению биологической стабильности и срока годности напитка (Dos Santos et al., 2018).

Фильтрация — способ обработки сидров, основная функция которого заключается в обеспечении прозрачности, а также в достижении устойчивости напитка против грибковых и бактериальных заболеваний в большей или меньшей степени, в зависимости от задерживающей способности фильтра. Эффективность фильтрации зависит от многих параметров, включая тип фильтрующей установки и фильтрующего элемента, давление, а также тип продукта, подвергающегося фильтрации, и микроорганизмов. В случае применения микрофильтрации, мембранных фильтр-элементов с размером пор 0,45–0,8 мкм, возможно достичь полного удаления всех микроорганизмов, включая бактерии, дрожжи, плесень и простейшие. Такую фильтрацию называют обеспложивающей или стерильной. Она является хорошей альтернативой процессу пастеризации и позволяет существенно увеличить сроки годности напитков, максимально сохранить ор-

ганолептические характеристики, снизить до минимума или вообще отказаться от консервантов. В результате фильтрации, в том числе, достигается полное осветление и прозрачность сидра (Zhao et al., 2017; Wicklund et al., 2020).

Пастеризация — наиболее широко используемая термическая обработка фруктовых соков и напитков. Этот процесс может быть осуществлен при различных сочетаниях времени и температуры. Длительная обработка при умеренной температуре и кратковременная обработка при высокой температуре являются наиболее часто используемыми методами пастеризации фруктовых напитков. Обработка в течение длительного времени при умеренных температурах приводит к нежелательным изменениям качества продукта, поэтому этот метод часто заменяют кратковременным воздействием более высоких температур. Во втором случае, благодаря непродолжительной термообработке, удается свести к минимуму нежелательные изменения качества напитков (Vasanth Rupasinghe & Juan, 2012).

Пастеризация, используемая для инактивации патогенных микроорганизмов и порчи продуктов, может привести к химическим и физическим изменениям, которые в свою очередь оказывают неблагоприятное влияние на органолептические свойства и отвечают за снижение содержания или биодоступности биологически активных соединений (Müller et al., 2014; Islam et al., 2016; Ioannou et al., 2012; Rawson et al., 2011a). Чтобы избежать вредного воздействия пастеризации на жидкие пищевые продукты, в последние годы активно исследуют и внедряют методы нетермической обработки (Azhuvalappil et al., 2010; Rawson et al., 2011; Islam et al., 2016; Посокина & Захарова, 2023). Из литературных данных известно, что некоторые отдельные нетермические методы обработки эффективны для инактивации микроорганизмов или уменьшения количества колониеобразующих единиц и не оказывают при этом отрицательного влияния на вкусовые качества и питательную ценность продукта. Более того, сочетание таких методов может также обеспечить синергетический эффект в продлении срока годности фруктовых соков и напитков и стать хорошей альтернативой традиционным методам пастеризации.

Так, в качестве альтернативы традиционной пастеризации при производстве напитков из фруктового сырья используют импульсные электрические поля (Turk et al., 2012), ультрафиолетовый свет (Koutchma et al., 2016; Donahue et al., 2004), высокоинтенсивные световые импульсы (Mahendran et al., 2019; Wiktor et al., 2019; Rodríguez-Bencomo et al., 2020), ультразвук (Techakanon & Sirimuangmoon, 2020; Ugarte-Romero et al., 2006).

Обработка импульсными электрическими полями заключается в использовании коротких электрических импульсов высокого напряжения. Данный способ обработки предлагается в качестве альтернативы пастеризации, поскольку он эффективен против патогенных микроорганизмов (Chueca et al., 2015). Многочисленные исследования показывают, что обработка импульсными электрическими полями имеет много преимуществ по сравнению с пастеризацией, позволяя сохранить первоначальные вкусовые и питательные свойства продуктов благодаря короткому времени и низким температурам воздействия.

Сравнительные исследования обработки импульсными электрическими полями и традиционной кратковременной высокотемпературной пастеризацией показали, что оба метода позволяют снизить уровень микроорганизмов *Escherichia coli* более чем в пять раз. Авторы исследования отмечают, что обработка высоковольтными импульсными электрическими полями не оказывает влияния на величину pH, в то время как термическая обработка способствовала увеличению значения этого параметра. При этом в обоих случаях наблюдалось некоторое изменение цвета напитка (Charles-Rodríguez et al., 2007).

В исследованиях интенсивности влияния способа обработки на инокуляцию кишечной палочки в яблочном сидре было отмечено, что напитки, обработанные как импульсными электрическими полями, так и пастеризованные, сохраняли хорошие микробиологические показатели в течение 4 недель хранения. Органолептический анализ показал, что яблочный сидр, обработанный импульсными электрическими полями, обладал лучшими характеристиками аромата и цвета, чем образец, обработанный термически (Azhuvalappil et al., 2010). Комбинацию прессования и обработки импульсными электрическими полями часто

используют для повышения выхода плодовых соков, с увеличенным выходом фенольных соединений и улучшенными вкусовыми качествами за счет увеличения содержания сложных эфиров (Mannozi et al., 2018; Wibowo et al., 2019).

Обработка ультрафиолетом (UV) — это альтернативный метод пастеризации и продления срока годности напитков. УФ-технология использует излучение с электромагнитным спектром в диапазоне от 100 до 400 нм, который в свою очередь подразделяется на коротковолновый УФ-С (190–280 нм), средневолновый УФ-В (280–320 нм) и длинноволновый УФ-А (320–400 нм). Известно, что УФ-С обладает бактерицидным действием и способствует инактивации микроорганизмов. Этот бактерицидный механизм основан на поглощении ультрафиолетового излучения микробной ДНК или РНК. Основным механизмом является образование димеров пиримидина, которые препятствуют размножению микроорганизмов, что делает их неактивными. При этом степень повреждения клеток зависит от типа средств, микроорганизмов и дозы УФ-излучения (Choudhary & Bandla, 2012). Различные исследования показали, что кратковременная УФ-обработка обладая бактерицидным эффектом, по сравнению с методами термической пастеризации оказывает минимальное влияние на качество фруктовых напитков (Islam et al., 2016; Diao et al., 2018; Yang et al., 2019).

Описан нетермический способ воздействия УФ-С с целью уменьшения содержания микроорганизмов и патулина в яблочном соке и сидре. Этот метод обработки способствовал максимальному снижению патулина без ущерба для качества конечного продукта (Dong et al., 2010). УФ-облучение, в том числе подходит для инактивации спор *Alicyclobacillus acidoterrestris* в яблочном соке. В частности, она оказалась эффективной для снижения уровня полифенолоксидазы в яблочном соке. Было доказано, что обработка УФ-излучением 40 МДж·см² защищает полифенольные соединения яблочного сока и повышает антиоксидантную активность (Islam et al., 2016).

Нетепловые технологии, такие как ультрафиолетовое облучение, могут обеспечить преимущества при минимальной обработке прозрачных напитков. В исследовании влияния обработки УФ-излучением (дозировками в диапазоне от 2,66 до 53,10

Дж/см²) на качественные характеристики восстановленного яблочного сока было установлено, что УФ-излучение не оказывает влияние на значение pH, содержание сахаров и общее содержание фенолов. Авторами было отмечено снижение неферментативного потемнения и антиоксидантной способности обработанного сока по сравнению с необработанным. При увеличении дозы энергии был отмечен эффект осветления окраски. Обработка УФ-излучением способствовала снижению уровня *E. Coli* и *L. innocua*. Результаты органолептической оценки показали, что обработка соков дозами УФ-излучения более 10,62 Дж/см² оказывала неблагоприятное воздействие на вкус и цвет яблочного сока (Caminiti et al., 2010).

Следует уделять особое внимание изучению влияния УФ-излучения на физико-химические характеристики и питательный состав напитков (Koutchma et al., 2016). Так, в сравнительном исследовании различных методов обработки сидра (пастеризация, обработка импульсными электрическими полями и УФ-излучением) с целью подавления микробиологической порчи и увеличения сроков годности, было установлено, что в сидре, обработанном УФ-излучением, наблюдался значительный рост дрожжей и плесени после 2 недель хранения (Azhuvalappil et al., 2010). Не нужно забывать и о побочном эффекте, связанным с отрицательным воздействием ультрафиолетовых лучей на цвет сидра и пуаре.

Обработка ультразвуком (УЗ) имеет большие перспективы применения в пищевой промышленности и может быть успешно использована в качестве альтернативы традиционной термической пастеризации фруктовых напитков (Saeeduddin et al., 2015; Başlar & Ertugay, 2012; Park & Ha, 2019).

УЗ — это звуковые волны с частотой более 20 кГц. Частота УЗ, используемая в пищевой промышленности для инактивации микроорганизмов, колеблется от 20 кГц до 10 МГц. Бактерицидное действие УЗ в основном обусловлено процессом кавитации, которая используется в пищевой промышленности для инактивации микробов.

Обработка ультразвуком сама по себе не очень эффективна для уничтожения бактерий в пищевых продуктах (Barba et al., 2017). Для промышленного применения УЗ необходимо использовать

в сочетании с другими процессами консервирования в целях усиления микробной инактивации (Park & Na, 2019). Использование ультразвука в сочетании с давлением и/или нагревом является перспективным способом обработки пищевых продуктов. Термозвуковая обработка (тепло плюс обработка ультразвуком), обработка давлением в сочетании с ультразвуком и обработка теплом в сочетании с давлением и ультразвуком, вероятно, являются лучшими методами инактивации, поскольку они более энергоэффективны и эффективны в уничтожении микроорганизмов. В настоящее время применение УЗ-обработки является объектом изучения и требует большого объема дополнительных исследований, чтобы более полно выяснить влияние ультразвука на свойства пищевых продуктов (Park & Na, 2019; Lee et al., 2013).

Обработка импульсным светом основана на применении кратковременных световых импульсов с интенсивным широким спектром. Импульсный свет — это нетепловая инновационная технология, используемая в качестве альтернативы традиционным методам дезинфекции и консервирования. Среди преимуществ можно выделить следующие: эффективность против большого разнообразия патогенных и других вредных микроорганизмов; не образует новых соединений (при использовании ксеноновых ламп-вспышек, которые нетоксичны и не содержат ртути); низкие эксплуатационные расходы. Обработка импульсным светом успешно применяется для микробиологического обеззараживания прозрачных напитков. Что касается недостатков, то наиболее важными являются высокие первоначальные инвестиционные затраты, короткий срок службы ламп, изменения pH и цвета при высокой интенсивности и перегреве и, следовательно, негативные изменения органолептических характеристик продукта. Тем не менее, недавно появились доказательства того, что обработка импульсным светом ниже критической плотности $3,82 \text{ Дж/см}^2$ сводит к минимуму фоторазрушение и потемнение модели раствора на основе фенола. Обработка импульсным светом в сочетании с глутатионом и ионами железа показала эффективность с целью снижения содержания патулина в яблочном соке до 97%. Однако, требуется больше данных о влиянии импульсного света на окислительную стабильность и вкусовые качества обрабатываемого продукта (Mahendran et al., 2019; Wiktor et al., 2019; Rodríguez-Bencomo et al., 2020).

Хотя альтернативы термической обработке представляются менее вредными, существует множество параметров и условий, которые влияют на качественные характеристики обрабатываемого продукта. Кроме того, необходимо проведение дополнительных исследований, которые должны быть сосредоточены на понимании механизмов, лежащих в основе изменений общего качества плодовых напитков брожения, а также на проектировании и оптимизации технологических процессов, которые необходимо детально изучить, чтобы максимально использовать их потенциал в качестве альтернативных нетепловых технологий при производстве напитков для максимального сохранения их качества.

Параметры окружающей среды

К наиболее важным факторам, позволяющим контролировать скорость негативных изменений в пищевых продуктах, относят параметры окружающей среды, оказывающие значительное влияние на скорость реакций, ухудшающих качество пищевых продуктов. Во время хранения под воздействием таких основных факторов, как температура и солнечный свет, в напитках брожения происходит интенсификация окислительно-восстановительных реакций, которые в свою очередь приводят к изменению химического состава и качественных характеристик напитков.

Общеизвестно, что температура существенно влияет на скорость химических, биохимических реакций и микробиологических процессов. Как и многие другие пищевые продукты, напитки из плодового сырья рекомендуется хранить при невысокой температуре окружающего воздуха, от 0 до 20 °С. Контроль температуры окружающего воздуха важен на всех этапах производства напитков — от розлива в потребительскую упаковку до реализации потребителю. Повышение температуры ускоряет процессы, вызывающие порчу напитка, связанную с риском микробиологической порчи, а также может привести к закисанию и появлению плесени в напитках (Ковалева с соавт., 2020; Кобелев с соавт., 2021).

Кроме того, повышение температуры хранения интенсифицирует процессы старения. Именно на этом эффекте основаны многие ускоренные ме-

тоды анализа и испытаний с целью подтверждения сроков годности, основанных на оценке скорости широкого спектра сложных химических, физических и сенсорных изменений, происходящих в пищевых продуктах (Ковалева с соавт., 2020; Кобелев с соавт., 2021; Матвеева & Хасанов, 2016).

Солнечный свет — один из наиболее агрессивных факторов старения в естественных условиях, выступает как катализатор радикальных реакций, существенно увеличивая их скорость. Солнечный свет содержит достаточное количество ультрафиолетового излучения и почти все фотобиологические реакции индуцируются этой частью солнечного спектра (Salih, 2006). Воздействие ультрафиолетового излучения инициирует свободнорадикальное окисление и катализирует другие стадии процесса окисления (Choudhary & Bandla, 2012). Воздействие солнечного света на светочувствительные пищевые продукты приводит к ухудшению качества, степень которого напрямую зависит от нескольких факторов, включая спектр и интенсивность света, а также время экспозиции и упаковочный материал.

Для более строгой регламентации лабораторных испытаний под воздействием УФ-излучения, как имитации солнечного света, необходимо определить степень влияния УФ-лучей на отдельные группы биологически активных веществ и возможные превращения в них. Биологические эффекты ультрафиолетового излучения сильно варьируются в зависимости от длины волны.

Фотохимическая деградация вызывается фотонами света, разрушающими химические связи. Для каждого типа химической связи существует критическая пороговая длина волны света, обладающего достаточной энергией, чтобы вызвать реакцию. Свет с любой длиной волны, меньшей порогового значения, может разорвать связь, но свет с большей длиной волны не может разорвать ее независимо от их интенсивности.

На сегодняшний день имеется недостаточный объем литературных данных о влиянии ультрафиолетовой обработки на функциональные свойства жидких пищевых продуктов, включая яблочный сок и сидр. Ультрафиолетовое излучение одобрено регулирующими органами и признано одним из самых простых и очень экологических способов уничтожения патогенных организмов.

Одно из ограничений его более широкого коммерческого применения заключается в отсутствии достаточного объема исследований сравнительного воздействия УФ-излучения на питательные вещества и качество продуктов (Koutchma et al., 2016).

В литературных источниках имеются сведения об исследованиях возможного образования фурана под действием УФ-излучения в яблочном сидре и в стандартных растворах компонентов яблочного сидра. Известно, что при термической обработке пищевых продуктов, в результате разложения углеводов, диссоциации аминокислот и окисления полиненасыщенных жирных кислот может образовываться такое токсическое соединение, как фуран. Результаты исследований показали, что обработка УФ-излучением способствовала образованию фурана в яблочном сидре. Авторами выдвинуто предположение, что основным источником фурана может быть фруктоза, так как обработка растворов фруктозы УФ-излучением (в дозах до 9 Дж/см²) приводила к образованию большего количества фурана, в то время как в растворах глюкозы или сахарозы было отмечено образование низких концентраций фурана, и практически его полное отсутствие было установлено в растворах аскорбиновой кислоты или яблочной кислоты, подвергнутых воздействию УФ-излучения (Fan & Geveke, 2007).

Имеются единичные литературные источники о влиянии ультрафиолетовой обработки на ферменты во фруктовых соках (Müller et al., 2014). До настоящего времени не сообщалось о влиянии ультрафиолетового излучения на содержание отдельных полифенолов и антиоксидантную активность яблочного сока (Islam et al., 2016).

Недостаточно информации о взаимодействии ультрафиолетового излучения со сложной пищевой матрицей, которое часто можно назвать переносом излучения в полупрозрачной или мутной среде. В пищевом продукте на получение дозы ультрафиолетового излучения может влиять несколько факторов. Было обнаружено, что одним из факторов, постоянно влияющих на эффективность инактивации ультрафиолетового излучения в жидкой системе, является поглощение. Изменения в поглощении ультрафиолетового излучения пищевыми продуктами необходимо учитывать при проектировании процесса консервирования (Koutchma, 2009).

Потеря питательных веществ и появление неприятных привкусов при воздействии УФ-излучения при обработке соков и других жидких пищевых продуктов требуют подробного изучения, и следует предпринять попытки свести к минимуму вредное воздействие ультрафиолетового излучения на антиоксиданты, изменения текстуры и цвета, а также образование неприятных привкусов и ароматов. Эти эффекты, весьма вероятно, зависят от длины волны и дозы и будут различными для разных жидких пищевых продуктов и пищевых смесей. Следовательно, чтобы определить влияние ультрафиолета, необходимо протестировать каждый продукт питания на предмет его спектральной чувствительности к ультрафиолету. Кроме того, знание кинетики разложения витаминов под воздействием ультрафиолетового облучения позволит оптимизировать микробную инактивацию при минимизации потерь витаминов.

ВЫВОДЫ

В представленном обзоре проведен анализ литературных источников и обобщены основные сведения о влиянии отдельных соединений химического состава сырья, различных методов обработки в процессе производства и внешних факторов среды во время хранения на качественные характеристики напитков брожения из плодового сырья. Отмечено участие сахаров, органических кислот, полифенольных соединений, ионов металлов и ферментов в формировании органолептических характеристик плодовых напитков, а также приведены сведения о влиянии указанных соединений на стабильность напитков. Наряду с широко известными методами стабилизации описаны исследования инновационных методов обработки с целью продления срока годности плодовых соков и напитков. Среди положительных моментов современных методов отмечены их эффективность при инактивации микроорганизмов, низкая энергоёмкость, скорость обработки и низкие температуры воздействия на продукт. При этом выявлены проблемы, связанные с ограниченностью информации о воздействии данных методов на изменения вкусовых и питательных свойств напитков. Отмечено отрицательное влияние на качество и сроки годности сидров таких факторов окружающей среды, как температура и солнечный свет. Повышенная температура способствует ускоре-

нию процессов, связанных со старением и риском микробиологической порчи напитков. Солнечный свет, как источник ультрафиолетового излучения обладает бактерицидным эффектом, что является положительным фактором. С другой стороны, воздействие солнечного света во время хранения напитков из плодов может приводить к ухудшению их качества, индуцируя фотобиологические реакции, способствуя появлению неприятных тонов во вкусе, а также образованию токсических соединений. Отмечено, что недостаток информации о воздействии солнечного света на биологически активные вещества напитков требует дальнейшего изучения.

Таким образом, для обеспечения качества и сохранности каждого конкретного продукта, в том числе напитков брожения из плодового сырья в течение определенного срока, необходим комплексный подход к выявлению всех возможных факторов риска. Одним из направлений такого подхода может стать определение перечня научно обоснованных показателей, количественные или качественные уровни которых отражают изменения характеристических особенностей пищевого продукта. В том числе, необходимо глубокое изучение процессов, протекающих при производстве, хранении, транспортировании и реализации напитков, которые могут привести к ухудшению потребительских свойств данного продукта.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Егорова Олеся Сергеевна: концептуализация; методология; администрирование данных; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация; руководство исследованием; администрирование проекта.

Акбулатова Диляра Рамилевна: подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи, формальный анализ; проведение исследования.

Шилкин Алексей Александрович: подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи, визуализация, верификация данных; формальный анализ.

ЛИТЕРАТУРА

- Кобелев, К. В., Волкова, Т. Н., Харламова, Л. Н., Лазарева, И. В., & Данилян, А. В. (2021). Методы ускоренного прогнозирования сроков годности пивных напитков. *Пищевая промышленность*, (7), 82–85. <https://doi.org/10.52653/PP1.2021.7.7.008>
- Ковалева, И. Л., Соболева, О. А., & Севостьянова, Е. М. (2020). Влияние методов «ускоренного старения» на сохранность потребительских свойств безалкогольных напитков с целью прогнозирования сроков годности. *Пиво и напитки*, (2), 6–10. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10015>
- Кузьмина, Е. И., Егорова, О. С., & Акбулатова, Д. Р. (2022). Сидры в России и за рубежом. Сырье. *Пищевая промышленность*, (12), 87–91. <https://doi.org/10.52653/PP1.2022.12.12.018>
- Макаров, С. С., Жиров, В. М., Панасюк, А. Л., & Преснякова, О. П. (2018). Технологические аспекты производства фруктовых вин с повышенной биологической ценностью. *Пиво и напитки*, (2), 42–45.
- Матвеева, Н. А., & Хасанов, А. Р. (2016). Прогнозирование срока годности методом ускоренного тестирования в технологии напитков функционального назначения. *Научный журнал Национального исследовательского университета Института точной механики и оптики. Процессы и аппараты пищевых производств*, (4), 75–82.
- Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., & Егорова О. С. (2014). Изменение содержания органических кислот при производстве плодовых напитков и вин. *Пиво и напитки*, (2), 36–38.
- Посокина, Н. Е., & Захарова, А. И. (2023). Современные нетермические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его хранимостепособности. *Пищевые системы*, 6(1), 4–10. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-4-10>
- Ширшова, А. А., Агеева, Н. М., & Бирюкова, С. А. (2020). Исследование химического состава яблок различных сортов, произрастающих в хозяйствах Краснодарского края. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(2), 131–136. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-131-136>
- Akagić, A., Oras, A., Gaši, F., Meland, M., Drkenda, P., Memić S., Spaho, N., Žuljević, S. O., Jerković, I., Musić, O., & Hudina, M. (2022). A comparative study of ten pear (*pyrus communis* L.) cultivars in relation to the content of sugars, organic acids, and polyphenol compounds. *Foods*, 11(19), Article 3031. <https://doi.org/10.3390/foods11193031>
- Alberti, A., Machado dos Santos, T. P., Ferreira Zielinski, A. A., Eleuterio dos Santos, C. M., Braga, C. M., Demiate, I. M., & Nogueira, A. (2016). Impact on chemical profile in apple juice and cider made from unripe, ripe and senescent dessert varieties. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 436–445. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.08.045>
- Arnold, M., & Gramza-Michałowska, A. (2022). Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, 21(6), 5038–5076 <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13059>
- Azhuvalappil, Z., Fan, X., Geveke, D. J., & Zhang, H. Q. (2010). Thermal and nonthermal processing of apple cider: storage quality under equivalent process conditions. *Journal of Food Quality*, 33(5), 612–631. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00342.x>
- Barba, F. J., Koubaa, M., do Prado-Silva, L., Orlie, V., & Sant'Ana, A. S. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.011>
- Başlar, M., & Ertugay, M. F. (2012). The effect of ultrasound and photosonication treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. *International Journal of Food Science and Food Technology*, 48(4), 886–892. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12015>
- Calugar, P. C., Coldea, T. E., Salanță, L. C., Pop, C. R., Pasqualone, A., Burja-Udrea, C., Zhao, H., & Mudura, E. (2021). An overview of the factors influencing apple cider sensory and microbial quality from raw materials to emerging processing technologies. *Processes*, 9(3), Article 502. <https://doi.org/10.3390/pr9030502>
- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2010). The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 680–686. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0365-x>
- Charles-Rodríguez, A. V., Nevárez-Moorillón, G. V., Zhang, Q. H., & Ortega-Rivas, E. (2007). Comparison of thermal processing and pulsed electric fields treatment in pasteurization of apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 85(2), 93–97. <https://doi.org/10.1205/fbp06045>
- Choudhary, R., & Bandla, S. (2012). Ultraviolet Pasteurization for the Food Industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2(1), 12–15. <https://doi.org/10.5923/j.food.20120201.03>
- Chueca, B., Ramírez, N., Arvizu-Medrano, S. M., García-Gonzalo, D., & Pagán, R. (2015). Inactivation of spoiling microorganisms in apple juice by a combination of essential oils' constituents and physical treatments. *Food Science and Technology International*, 22(5), 389–398. <https://doi.org/10.1177/1082013215606832>
- Coldea, T. E., Socaciu, C., Mudura, E., Socaci, S. A., Ranga, F., Pop, C. R., Vriesekoop, F., & Pasqualone, A. (2020). Volatile and phenolic profiles of traditional Romanian apple brandy after rapid ageing with different wood chips. *Food Chemistry*, 320, Article 126643. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126643>
- Diao, E., Chu, X., Hou, H., Dong, H., & Gao, D. (2018). Improving the safety of apple juice by UV irradiation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 2005–2011. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9815-3>
- Donahue, D. W., Canitez, N., & Bushway, A. A. (2004). UV inactivation of *E. coli* O157:H7 in apple cider: Quality,

- sensory and shelf-life analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(5), 368–387. <https://doi.org/10.1111/1.1745-4549.2004.23062.X>
- Dong, Q., Manns, D. C., Feng, G., Yue, T., Churey, J. J., & Worobo, R. W. (2010). Reduction of patulin in apple cider by UV radiation. *Journal of Food Protection*, 73(1), 69–74. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.1.69>
- Dos Santos, T. P. M., Alberti, A., Judacewski P., Zielinski, A. A. F., & Nogueira, A. (2018). Effect of sulphur dioxide concentration added at different processing stages on volatile composition of ciders. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(3), 261–268. <https://doi.org/10.1002/jib.500>
- Falguera, V., Pagan, J., Garza, S., Garvin, A., & Ibarz, A. (2012). Inactivation of polyphenol oxidase by ultraviolet irradiation: Protective effect of melanins. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 305–309. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.005>
- Fan, X., & Geveke, D. J. (2007). Furan formation in sugar solution and apple cider upon ultraviolet treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7816–7821. <https://doi.org/10.1021/jf071366z>
- Feng, S., Yi, J., Li, X., Wu, X., Zhao, Y., Ma, Y., & Bi, J. (2021). Systematic review of phenolic compounds in apple fruits: Compositions, distribution, absorption, metabolism, and processing stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(1), 7–27. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05481>
- Guiné, R. P. F., Barroca, M. J., Coldea, T. E., Bartkiene, E., & Anjos, O. (2021). Apple fermented products: an overview of technology, properties and health effects. *Processes*, 9(2), Article 223. <https://doi.org/10.3390/pr9020223>
- Han, Y., Su, Zh., & Du, J. (2023). Effects of apple storage period on the organic acids and volatiles in apple wine. *LWT – Food Science and Technology*, 173, Article 114389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114389>
- Ioannoua, I., Hafsaa, I., Hamdib, S., Charbonnela, C., & Ghoulal, M. (2012). Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behavior. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.006>
- Islam, M. S., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M. J., Shade, L., Xiao, H., & Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.009>
- Juhart, J., Medic, A., Veberic, R., Hudina, M., Jakopic, J., & Stampar, F. (2022). Phytochemical composition of red-fleshed apple cultivar ‘baya marisa’ compared to traditional, white-fleshed apple cultivar ‘golden delicious’. *Horticulturae*, 8(9), Article 811. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090811>
- Jukanti, A. (2017). Function(s)/role(s) of polyphenol oxidases. In *Polyphenol oxidases (PPOs) in plants* (pp. 73–92). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5747-2_5
- Khan, M. H., Kiran, A., Saif, H., Nadeem, M. S., & Khan, M. (2022). Effect of apple quality, yeast strains and use of antimicrobial additives on cider production with therapeutic potential. *Acta Scientific Microbiology*, 5(1), 94–103. <https://doi.org/10.31080/asmi.2022.05.0990>
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138–155. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0178-3>
- Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V., & Popielarz, A. (2016). Effects of ultraviolet light and high-pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 844–867. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12214>
- Li, J., Zhang, C., Liu, H., Liu, J., & Jiao, Z. (2020). Profiles of sugar and organic acid of fruit juices: A comparative study and implication for authentication. *Journal of Food Quality*, 2020, Article 7236534. <https://doi.org/10.1155/2020/7236534>
- Lee, H., Kim, H., Cadwallader, K. R., Feng, H., & Martin, S. E. (2013). Sonication in combination with heat and low pressure as an alternative pasteurization treatment – Effect on Escherichia coli K12 inactivation and quality of apple cider. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1131–1138. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.01.003>
- Lobo, A. P., Bedriñana, R. P., Madrera, R. R., & Valles, B. S. (2021). Aromatic, olfactometric and consumer description of sweet ciders obtained by cryo-extraction. *Food Chemistry*, 338, Article 127829. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127829>
- Mahendran, R., Ramanan, K. R., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., López-Fernández, O., Munekata, P. E. S., Roohinejad, S., Sant’Ana, A. S., & Tiwari, B. K. (2019). Recent advances in the application of pulsed light processing for improving food safety and increasing shelf life. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.010>
- Mannozi, C., Fauster, T., Haas, K., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., & Jaeger, H. (2018). Role of thermal and electric field effects during the pre-treatment of fruit and vegetable mash by pulsed electric fields (PEF) and ohmic heating (OH). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.004>
- Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M. R., & Posten, C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 498–504. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.05.014>
- Park, Sh.-Y., Kang, T.-M., Kim, M.-J., & Kim, M.-J. (2018). Enzymatic browning reaction of apple juices prepared using a blender and a low-speed masticating household juicer. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(11), 2000–2006. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1497943>
- Park, J.-S., & Ha, J.-W. (2019). Ultrasound treatment combined with fumaric acid for inactivating food-borne pathogens in apple juice and its mechanisms. *Food Microbiology*, 84, Article 103277. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103277>
- Pinto, T., Vilela, A., & Cosme, F. (2022). Chemical and sensory characteristics of fruit juice and fruit fermented beverages and their consumer acceptance. *Beverages*, 8(2), Article 33. <https://doi.org/10.3390/beverages8020033>

- Preti, R., & Tarola, A. M. (2021). Study of polyphenols, antioxidant capacity and minerals for the valorisation of ancient apple cultivars from Northeast Italy. *European Food Research and Technology*, 247, 273–283. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03624-7>
- Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Koutchma, T., & Brunton, N. (2011a). Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44, 1875–1887. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.053>
- Rodríguez-Bencomo, J. J., Viñas, I., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2020). Formation of patulin-glutathione conjugates induced by pulsed light: A tentative strategy for patulin degradation in apple juices. *Food Chemistry*, 315, Article 126283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126283>
- Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Awad, F. N., Hu, B., Lei, S., & Zeng, X. (2015). Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. *LWT – Food Science and Technology*, 64(1), 452–458. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.005>
- Salih, F. M. (2006). Risk assessment of combined photogenotoxic effects of sunlight and food additives. *Science of The Total Environment*, 362(1–3), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.027>
- Simonato, B., Lorenzini, M., & Zapparoli, G. (2021). Effects of post-harvest fungal infection of apples on chemical characteristics of cider. *LWT – Food Science and Technology*, 138, Article 110620. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110620>
- Tarko, T., Januszek, M., Pater, A., Sroka, P., & Duda-Chodak, A. (2020). The quality of ciders depends on the must supplementation with mineral salts. *Molecules*, 25(16), Article 3640. <https://doi.org/10.3390/molecules25163640>
- Techakanon, C., & Sirimuangmoon, C. (2020). The effect of pasteurization and shelf life on the physicochemical, microbiological, antioxidant, and sensory properties of rose apple cider during cold storage. *Beverages*, 6(3), Article 43. <https://doi.org/10.3390/beverages6030043>
- Turk, M. F., Vorobiev, E., & Baron, E. (2012). Improving apple juice expression and quality by pulsed electric field on an industrial scale. *LWT – Food Science and Technology*, 49(2), 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.024>
- Ugarte-Romero, E., Feng, H., Martin, S. E., Cadwallader, K., & Robinson, S. J. (2006). Inactivation of *Escherichia coli* with power ultrasound in apple cider. *Journal of Food Science*, 71(2), 102–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08890.x>
- Vasanth Rupasinghe, H. P., & Juan, L. (2012). Emerging preservation methods for fruit juices and beverages. In Y. El-Samragy (Ed.), *Food Additive* (pp. 65–82). Rijeka: InTech. <https://doi.org/10.5772/32148>
- Vidot, K., Rivard, C., Vooren, G. V., Siret, R., & Lahaye, M. (2020). Metallic ions distribution in texture and phenolic content contrasted cider apples. *Postharvest Biology and Technology*, 160, Article 111046. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111046>
- Wandjou, J. G. N., Mevi, S., Sagratini, G., Vittori, S., Dall'Acqua, S., Caprioli, G., Lupidi, G., Mombelli, G., Arpini, S., Allegrini, P., Les, F., López, V., & Maggi, F. (2020). Antioxidant and enzyme inhibitory properties of the polyphenolic-rich extract from an ancient apple variety of Central Italy (Mela Rosa dei Monti Sibillini). *Plants*, 9(1), Article 9. <https://doi.org/10.3390/plants9010009>
- Way, M. L., Jones, J. E., Longo, R., Damberg, R. G., & Swarts, N. D. (2022). A preliminary study of yeast strain influence on chemical and sensory characteristics of apple cider. *Fermentation*, 8(9), Article 455. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090455>
- Wibowo, S., Essel, E. A., Man, S. D., Bernaert, N., Droogenbroeck, B. V., Grauwet, T., Loey, A. V., & Hendrickx, M. (2019). Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 54, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.004>
- Wicklund, T., Skottheim, E. R., & Remberg, S. F. (2020). Various Factors Affect Product Properties in Apple Cider Production. *International Journal of Food Studies*, 9, SI84–SI96. <https://doi.org/10.7455/ijfs/9.SI.2020.a7>
- Wiktor, A., Mandal, R., Singh, A., & Pratap Singh, A. (2019). Pulsed Light treatment below a Critical Fluence (3.82 J/cm²) minimizes photo-degradation and browning of a model Phenolic (Gallic Acid) Solution. *Foods*, 8(9), Article 380. <https://doi.org/10.3390/foods8090380>
- Wu, C., Li, T., Qi, J., Jiang, T., Xu, H., & Lei, H. (2020). Effects of lactic acid fermentation-based biotransformation on phenolic profiles, antioxidant capacity, and flavor volatiles of apple juice. *LWT – Food Science and Technology*, 122, Article 109064. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109064>
- Xu, Z., Yang, Z., Ji, J., Mou, Y., Chen, F., Xiao, Z., Liao, X., Hu, X., & Ma, L. (2023). Polyphenol mediated non-enzymatic browning and its inhibition in apple juice. *Food Chemistry*, 404, Article 134504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134504>
- Yang, Y., Shen, H., Tian, Y., You, Z., & Guo, Y. (2019). Effect of thermal pasteurization and ultraviolet treatment on the quality parameters of not-from-concentrate apple juice from different varieties. *CyTA – Journal of Food*, 17(1), 189–198. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1569725>
- Zhao, X. Q., & Bai, F. W. (2012). Zinc and yeast stress tolerance: micronutrient plays a big role. *Journal of Biotechnology*, 158(4), 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.06.038>
- Zhao, D., Lau, E., Padilla-Zakour, O. I., & Moraru, C. I. (2017). Role of pectin and haze particles in membrane fouling during cold microfiltration of apple cider. *Journal of Food Engineering*, 200, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.020>

REFERENCES

- Kobelev, K. V., Volkova, T. N., Kharlamova, L. N., Lazareva, I. V., & Danilyan, A. V. (2021). Metody uskorennoogo prognozirovaniya srokov godnosti pivnykh napitkov [Methods of accelerated prediction of the shelf life of beer drinks]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (7), 82–85. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.7.008>
- Kovaleva, I. L., Soboleva, O. A., & Sevost'yanova, E. M. (2020). Vliyanie metodov "uskorennoogo stareniya" na sokhrannost' potrebitel'skikh svoystv bezalkogol'nykh napitkov s tsel'yu prognozirovaniya srokov godnosti [The influence of "accelerated aging" methods on the safety of consumer properties of soft drinks in order to predict shelf life]. *Pivo i napitki [Beer and Drinks]*, (2), 6–10. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10015>
- Kuz'mina, E. I., Egorova, O. S., & Akbulatova, D. R. (2022). Sidry v Rossii i za rubezhom. Syr'e [Ciders in Russia and abroad. Raw material]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (12), 87–91. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.018>
- Makarov, S. S., Zhironov, V. M., Panasyuk, A. L., & Presnyakova, O. P. (2018). Tekhnologicheskie aspekty proizvodstva fruktovykh vin s povyshennoi biologicheskoi tsennost'yu [Technological aspects of the production of fruit wines with increased biological value]. *Pivo i napitki [Beer and Drinks]*, (2), 42–45.
- Matveeva, N. A., & Khasanov, A. R. (2016). Prognozirovanie sroka godnosti metodom uskorennoogo testirovaniya v tekhnologii napitkov funktsional'nogo naznacheniya [Prediction of shelf life by accelerated testing in the technology of functional beverages]. *Nauchnyi zhurnal Natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta Instituta tochnoi mekhaniki i optiki. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Scientific Journal of the National Research University Institute of Precision Mechanics and Optics. Processes and Devices of Food Production]*, (4), 75–82.
- Panasyuk, A. L., Kuz'mina, E. I., & Egorova O. S. (2014). Izmenenie soderzhaniya organicheskikh kislot pri proizvodstve plodovykh napitkov i vin [Changes in the content of organic acids in the production of fruit drinks and wines]. *Pivo i napitki [Beer and Drinks]*, (2), 36–38.
- Posokina, N. E., & Zakharova, A. I. (2023). Sovremennyye netermicheskie sposoby obrabotki rastitel'nogo syr'ya, primenyaemye dlya uvelicheniya ego khranimosposobnosti [Modern non-thermal methods of processing plant raw materials used to increase its storage capacity]. *Pishchevye sistemy [Food Systems]*, 6(1), 4–10. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-4-10>
- Shirshova, A. A., Ageeva, N. M., & Biryukova, S. A. (2020). Issledovanie khimicheskogo sostava yablok razlichnykh sortov, proizrastayushchikh v khozyaistvakh Krasnodarskogo kraya [Investigation of the chemical composition of apples of various varieties growing in the farms of the Krasnodar Territory]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 82(2), 131–136. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-131-136>
- Akagić, A., Oras, A., Gaši, F., Meland, M., Drkenda, P., Memić S., Spaho, N., Žuljević, S. O., Jerković, I., Musić, O., & Hudina, M. (2022). A comparative study of ten pear (*pyrus communis* L.) cultivars in relation to the content of sugars, organic acids, and polyphenol compounds. *Foods*, 11(19), Article 3031. <https://doi.org/10.3390/foods11193031>
- Alberti, A., Machado dos Santos, T. P., Ferreira Zielinski, A. A., Eleuterio dos Santos, C. M., Braga, C. M., Demiate, I.M., & Nogueira, A. (2016). Impact on chemical profile in apple juice and cider made from unripe, ripe and senescent dessert varieties. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 436–443. <https://doi.org/10.1016/j.LWT.2015.08.045>
- Arnold, M., & Gramza-Michałowska, A. (2022). Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, 21(6), 5038–5076 <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13059>
- Azhuvalappil, Z., Fan, X., Geveke, D.J., & Zhang, H.Q. (2010). Thermal and nonthermal processing of apple cider: storage quality under equivalent process conditions. *Journal of Food Quality*, 33(5), 612–631. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00342.x>
- Barba, F. J., Koubaa, M., do Prado-Silva, L., Orlien, V., & Sant'Ana, A. S. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.011>
- Başlar, M., & Ertugay, M. F. (2012). The effect of ultrasound and photonic treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. *International Journal of Food Science and Food Technology*, 48(4), 886–892. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12015>
- Calugar, P. C., Coldea, T. E., Salanță, L. C., Pop, C. R., Pasqualone, A., Burja-Udrea, C., Zhao, H., & Mudura, E. (2021). An overview of the factors influencing apple cider sensory and microbial quality from raw materials to emerging processing technologies. *Processes*, 9(3), Article 502. <https://doi.org/10.3390/pr9030502>
- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2010). The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 680–686. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0365-x>
- Charles-Rodríguez, A. V., Nevárez-Moorillón, G. V., Zhang, Q.H., & Ortega-Rivas, E. (2007). Comparison of thermal processing and pulsed electric fields treatment in pasteurization of apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 85(2), 93–97. <https://doi.org/10.1205/fbp06045>
- Choudhary, R., & Bandla, S. (2012). Ultraviolet Pasteurization for the Food Industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2(1), 12–15. <https://doi.org/10.5923/j.food.20120201.03>
- Chueca, B., Ramírez, N., Arvizu-Medrano, S. M., García-Gonzalo, D., & Pagán, R. (2015). Inactivation of spoiling microorganisms in apple juice by a combination of essential oils' constituents and physical treatments. *Food Science and Technology International*, 22(5), 389–398. <https://doi.org/10.1177/1082013215606832>

- Coldea, T. E., Socaciu, C., Mudura, E., Socaci, S. A., Ranga, F., Pop, C. R., Vriesekoop, F., & Pasqualone, A. (2020). Volatile and phenolic profiles of traditional Romanian apple brandy after rapid ageing with different wood chips. *Food Chemistry*, 320, Article 126643. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126643>
- Diao, E., Chu, X., Hou, H., Dong, H., & Gao, D. (2018). Improving the safety of apple juice by UV irradiation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 2005–2011. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9815-3>
- Donahue, D. W., Canitez, N., & Bushway, A. A. (2004). UV inactivation of *E. coli* O157:H7 in apple cider: Quality, sensory and shelf-life analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(5), 368–387. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2004.23062.X>
- Dong, Q., Manns, D. C., Feng, G., Yue, T., Churey, J. J., & Worobo, R. W. (2010). Reduction of patulin in apple cider by UV radiation. *Journal of Food Protection*, 73(1), 69–74. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.1.69>
- Dos Santos, T. P. M., Alberti, A., Judacewski P., Zielinski, A. A. F., & Nogueira, A. (2018). Effect of sulphur dioxide concentration added at different processing stages on volatile composition of ciders. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(3), 261–268. <https://doi.org/10.1002/jib.500>
- Falguera, V., Pagan, J., Garza, S., Garvin, A., & Ibarz, A. (2012). Inactivation of polyphenol oxidase by ultraviolet irradiation: Protective effect of melanins. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 305–309. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.005>
- Fan, X., & Geveke, D. J. (2007). Furan formation in sugar solution and apple cider upon ultraviolet treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7816–7821. <https://doi.org/10.1021/jf071366z>
- Feng, S., Yi, J., Li, X., Wu, X., Zhao, Y., Ma, Y., & Bi, J. (2021). Systematic review of phenolic compounds in apple fruits: Compositions, distribution, absorption, metabolism, and processing stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(1), 7–27. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05481>
- Guiné, R. P. F., Barroca, M. J., Coldea, T. E., Bartkiene, E., & Anjos, O. (2021). Apple fermented products: an overview of technology, properties and health effects. *Processes*, 9(2), Article 223. <https://doi.org/10.3390/pr9020223>
- Han, Y., Su, Zh., & Du, J. (2023). Effects of apple storage period on the organic acids and volatiles in apple wine. *LWT – Food Science and Technology*, 173, Article 114389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114389>
- Ioannou, I., Hafsaa, I., Hamdib, S., Charbonnel, C., & Ghoul, M. (2012). Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behavior. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.006>
- Islam, M. S., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M. J., Shade, L., Xiao, H., & Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.009>
- Juhart, J., Medic, A., Veberic, R., Hudina, M., Jakopic, J., & Stampar, F. (2022). Phytochemical composition of red-fleshed apple cultivar ‘baya marisa’ compared to traditional, white-fleshed apple cultivar ‘golden delicious’. *Horticulturae*, 8(9), Article 811. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090811>
- Jukanti, A. (2017). Function(s)/role(s) of polyphenol oxidases. In *Polyphenol oxidases (PPOs) in plants* (pp. 73–92). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5747-2_5
- Khan, M. H., Kiran, A., Saif, H., Nadeem, M. S., & Khan, M. (2022). Effect of apple quality, yeast strains and use of antimicrobial additives on cider production with therapeutic potential. *Acta Scientifica Microbiology*, 5(1), 94–103. <https://doi.org/10.31080/asmi.2022.05.0990>
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138–155. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0178-3>
- Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V., & Popielarz, A. (2016). Effects of ultraviolet light and high-pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 844–867. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12214>
- Li, J., Zhang, C., Liu, H., Liu, J., & Jiao, Z. (2020). Profiles of sugar and organic acid of fruit juices: A comparative study and implication for authentication. *Journal of Food Quality*, 2020, Article 7236534. <https://doi.org/10.1155/2020/7236534>
- Lee, H., Kim, H., Cadwallader, K. R., Feng, H., & Martin, S. E. (2013). Sonication in combination with heat and low pressure as an alternative pasteurization treatment – Effect on *Escherichia coli* K12 inactivation and quality of apple cider. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1131–1138. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.01.003>
- Lobo, A. P., Bedriñana, R. P., Madrera, R. R., & Valles, B. S. (2021). Aromatic, olfactometric and consumer description of sweet ciders obtained by cryo-extraction. *Food Chemistry*, 338, Article 127829. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127829>
- Mahendran, R., Ramanan, K. R., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., López-Fernández, O., Munekata, P. E. S., Roohinejad, S., Sant’Ana, A. S., & Tiwari, B. K. (2019). Recent advances in the application of pulsed light processing for improving food safety and increasing shelf life. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.010>
- Mannozi, C., Fauster, T., Haas, K., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., & Jaeger, H. (2018). Role of thermal and electric field effects during the pre-treatment of fruit and vegetable mash by pulsed electric fields (PEF) and ohmic heating (OH). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.004>
- Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M. R., & Posten, C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 498–504. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.05.014>
- Park, Sh.-Y., Kang, T.-M., Kim, M.-J., & Kim, M.-J. (2018). Enzymatic browning reaction of apple juices prepared using a blender and a low-speed masticating household juicer. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(11), 2000–2006. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1497943>

- Park, J.-S., & Ha, J.-W. (2019). Ultrasound treatment combined with fumaric acid for inactivating food-borne pathogens in apple juice and its mechanisms. *Food Microbiology*, *84*, Article 103277. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103277>
- Pinto, T., Vilela, A., & Cosme, F. (2022). Chemical and sensory characteristics of fruit juice and fruit fermented beverages and their consumer acceptance. *Beverages*, *8*(2), Article 33. <https://doi.org/10.3390/beverages8020033>
- Preti, R., & Tarola, A. M. (2021). Study of polyphenols, antioxidant capacity and minerals for the valorisation of ancient apple cultivars from Northeast Italy. *European Food Research and Technology*, *247*, 273–283. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03624-7>
- Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Koutchma, T., & Brunton, N. (2011a). Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, *44*, 1875–1887. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.053>
- Rodríguez-Bencomo, J. J., Viñas, I., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2020). Formation of patulin-glutathione conjugates induced by pulsed light: A tentative strategy for patulin degradation in apple juices. *Food Chemistry*, *315*, Article 126283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126283>
- Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Awad, F. N., Hu, B., Lei, S., & Zeng, X. (2015). Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. *LWT – Food Science and Technology*, *64*(1), 452–458. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.005>
- Salih, F. M. (2006). Risk assessment of combined photogenotoxic effects of sunlight and food additives. *Science of The Total Environment*, *362*(1–3), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.027>
- Simonato, B., Lorenzini, M., & Zapparoli, G. (2021). Effects of post-harvest fungal infection of apples on chemical characteristics of cider. *LWT – Food Science and Technology*, *138*, Article 110620. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110620>
- Tarko, T., Januszek, M., Pater, A., Sroka, P., & Duda-Chodak, A. (2020). The quality of ciders depends on the must supplementation with mineral salts. *Molecules*, *25*(16), Article 3640. <https://doi.org/10.3390/molecules25163640>
- Techakanon, C., & Sirimuangmoon, C. (2020). The effect of pasteurization and shelf life on the physicochemical, microbiological, antioxidant, and sensory properties of rose apple cider during cold storage. *Beverages*, *6*(3), Article 43. <https://doi.org/10.3390/beverages6030043>
- Turk, M. F., Vorobiev, E., & Baron, E. (2012). Improving apple juice expression and quality by pulsed electric field on an industrial scale. *LWT – Food Science and Technology*, *49*(2), 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.024>
- Ugarte-Romero, E., Feng, H., Martin, S. E., Cadwallader, K., & Robinson, S. J. (2006). Inactivation of *Escherichia coli* with power ultrasound in apple cider. *Journal of Food Science*, *71*(2), 102–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08890.x>
- Vasantha Rupasinghe, H. P., & Juan, L. (2012). Emerging preservation methods for fruit juices and beverages. In Y. El-Samragy (Ed.). *Food Additive* (pp. 65–82). Rijeka: InTech. <https://doi.org/10.5772/32148>
- Vidot, K., Rivard, C., Vooren, G. V., Siret, R., & Lahaye, M. (2020). Metallic ions distribution in texture and phenolic content contrasted cider apples. *Postharvest Biology and Technology*, *160*, Article 111046. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111046>
- Wandjou, J. G. N., Mevi, S., Sagratini, G., Vittori, S., Dall'Acqua, S., Caprioli, G., Lupidi, G., Mombelli, G., Arpini, S., Allegrini, P., Les, F., López, V., & Maggi, F. (2020). Antioxidant and enzyme inhibitory properties of the polyphenolic-rich extract from an ancient apple variety of Central Italy (Mela Rosa dei Monti Sibillini). *Plants*, *9*(1), Article 9. <https://doi.org/10.3390/plants9010009>
- Way, M. L., Jones, J. E., Longo, R., Dambergs, R. G., & Swarts, N. D. (2022). A preliminary study of yeast strain influence on chemical and sensory characteristics of apple cider. *Fermentation*, *8*(9), Article 455. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090455>
- Wibowo, S., Essel, E. A., Man, S. D., Bernaert, N., Droogenbroeck, B. V., Grauwet, T., Loey, A. V., & Hendrickx, M. (2019). Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *54*, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.004>
- Wicklund, T., Skottheim, E. R., & Remberg, S. F. (2020). Various Factors Affect Product Properties in Apple Cider Production. *International Journal of Food Studies*, *9*, SI84–SI96. <https://doi.org/10.7455/ijfs/9.SI.2020.a7>
- Wiktor, A., Mandal, R., Singh, A., & Pratap Singh, A. (2019). Pulsed Light treatment below a Critical Fluence (3.82 J/cm²) minimizes photo-degradation and browning of a model Phenolic (Gallic Acid) Solution. *Foods*, *8*(9), Article 380. <https://doi.org/10.3390/foods8090380>
- Wu, C., Li, T., Qi, J., Jiang, T., Xu, H., & Lei, H. (2020). Effects of lactic acid fermentation-based biotransformation on phenolic profiles, antioxidant capacity, and flavor volatiles of apple juice. *LWT – Food Science and Technology*, *122*, Article 109064. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109064>
- Xu, Z., Yang, Z., Ji, J., Mou, Y., Chen, F., Xiao, Z., Liao, X., Hu, X., & Ma, L. (2023). Polyphenol mediated non-enzymatic browning and its inhibition in apple juice. *Food Chemistry*, *404*, Article 134504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134504>
- Yang, Y., Shen, H., Tian, Y., You, Z., & Guo, Y. (2019). Effect of thermal pasteurization and ultraviolet treatment on the quality parameters of not-from-concentrate apple juice from different varieties. *CyTA – Journal of Food*, *17*(1), 189–198. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1569725>
- Zhao, X. Q., & Bai, F. W. (2012). Zinc and yeast stress tolerance: micronutrient plays a big role. *Journal of Biotechnology*, *158*(4), 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.06.038>
- Zhao, D., Lau, E., Padilla-Zakour, O. I., & Moraru, C. I. (2017). Role of pectin and haze particles in membrane fouling during cold microfiltration of apple cider. *Journal of Food Engineering*, *200*, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.020>