

Антинуutriенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля

М.Н. Стрижко

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности
(ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва,
Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: Напитки на растительной основе на потребительском рынке позиционируются как альтернатива натуральному молоку, в том числе и по своей биологической ценности. Традиционное молоко-сырье характеризуется высокой биологической ценностью за счет оптимальной сбалансированности компонентов и легкой их усвояемости. Однако в составе растительного сырья, используемого при производстве напитков, присутствуют антипитательные вещества. Антипитательные нутриенты могут ограничивать биодоступность основных питательных веществ, что приводит к обеднению рациона человека и снижению биологической ценности пищевых продуктов.

Цель: Цель данного обзора — комплексный анализ вариативных антипитательных факторов в растительных напитках из зернового сырья с оценкой методов и условий их ингибирования.

Материалы и методы: Данный обзор предметного поля проведен в соответствии с руководящими принципами PRISMA-ScR. Для подбора статей использовались базы данных SCOPUS, ScienceDirect, Google Scholar. Поиск был произведен за период 2017-2022 гг. В результате поиска было отобрано 77 публикаций из 35 стран мира. Протокол обзора предметного поля составлен и зарегистрирован на сайте Open Science Framework (<https://osf.io/gcb3y>).

Результаты: Из 4432 отобранных публикаций 77 соответствовали критериям включения в обзор. В результате анализа отобранных публикаций были выявлены основные антипитательные вещества, которые присутствуют в зерновых напитках. К таким нутриентам относят фитиновую кислоту, фитаты, лектины, сапонины, оксалаты, ингибиторы ферментов. При этом авторы значительной части публикаций (70%), посвященных вопросу наличия антинутриентов в продукте, исследуют данный вопрос в рамках технологии получения растительных напитков. Были выделены такие тренды, как негативное и позитивное действие антинутриентов, методы ингибирования антипитательных веществ. Полученные результаты позволили выделить в отдельное новое направление нетрадиционные методы ингибирования антинутриентов, которые ранее не были зафиксированы.

Выводы: Основной областью применения результатов исследования может быть расширение научно-практической базы данных об антипитательных веществах и практическое внедрение предложенных рекомендаций в производственный цикл. Полученные данные позволят значительно повысить биологическую ценность напитков на зерновом сырье.

Ключевые слова: антинутриенты в зерне; антипитательный фактор; напитки на растительном сырье; растительные напитки — аналоги молока

Корреспонденция:

Стрижко Мария Николаевна,
Всероссийский научно-
исследовательский институт
молочной промышленности
(ФГАНУ «ВНИМИ»);
г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: m_strizhko@vniimi.org

Конфликт интересов:

автор сообщает
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 05.01.2023

Принята: 25.03.2023

Опубликована: 30.03.2023

Copyright: © 2023 Автор



Для цитирования: Стрижко, М. Н. (2023). Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 63-89. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3>

Antinutrients in Grain-Based Plant Drinks: Scoping Review

Maria N. Strizhko

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»), Moscow,
Russia

ABSTRACT

Introduction: Plant-based beverages in the consumer market are positioned as an alternative to natural milk, including their nutritional value. Traditional milk raw materials are characterized by high nutritional value due to the optimal balance of components and their easy digestibility. However, the plant materials used in the production of drinks contain anti-nutritional substances. Anti-nutritional nutrients can limit the bioavailability of primary nutrients, leading to impoverishment of the human diet and a decrease in the nutritional value of food products.

Purpose: The purpose of this review is a comprehensive analysis of various anti-nutritional factors in grain-based plant drinks with an assessment of methods and conditions for their inhibition.

Materials and Methods: This scoping review was conducted in accordance with the guiding principles of PRISMA-ScR. The databases SCOPUS, ScienceDirect, Google Scholar were used for article selection. The search was carried out for the period 2017–2022. As a result of the search, 77 publications from 35 countries worldwide were selected. The subject field review protocol was drafted and registered on the Open Science Framework website (<https://osf.io/gcb3y>).

Results: Out of 4432 selected publications, 77 met the inclusion criteria for the review. The analysis of the selected publications identified the main anti-nutritional substances present in grain drinks. These nutrients include phytic acid, phytates, lectins, saponins, oxalates, enzyme inhibitors. The authors of a significant portion of the publications (70%) devoted to the issue of antinutrients in the product, investigate this question within the technology of producing plant drinks. Trends such as negative and positive effects of antinutrients, methods of inhibiting anti-nutritional substances were identified. The obtained results allowed highlighting a new direction of non-traditional methods of inhibiting antinutrients, which had not been recorded before.

Conclusion: The main area of application of the research results can be the expansion of the scientific-practical database about antinutritional substances and the practical implementation of the proposed recommendations in the production cycle. The obtained data will significantly increase the nutritional value of grain-based beverages.

Keywords: grain antinutrients; anti-nutritional factor; plant-based drinks; plant milk analogues

Correspondence:

Maria Nikolaevna Strizhko,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (VNIIMI).
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 05.01.2023

Accepted: 25.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Author



To cite: Strizhko, M. N. (2023). Antinutrients in grain-based plant drinks: Scoping review. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 63-89. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальным направлением развития пищевой промышленности является производство напитков на растительной основе, которые позиционируются как альтернатива традиционному молоку (Bocker & Silva, 2022; Clark et al., 2022). Растительное молоко представляет собой напитки — эмульсии на растительном сырье, напоминающие по внешнему виду традиционное молоко (Егорова, 2019). Исследования конъюнктуры мирового рынка подтверждают, что производство и потребление альтернативного растительного молока постоянно растет (Bayless et al., 2017; Patra et al., 2021; Vaikma et al., 2021)¹. В 2018 году рынок растительного молока оценивался в 17 млрд долларов, в 2022 — 22,6 млрд долларов США и, по прогнозам, достигнет 40,6 млрд долларов в 2027 г., что в среднем составит 10,3 % роста в стоимостном выражении². Данные тенденции свидетельствуют о значительном интересе к новому пищевому продукту. В разделении по нишам в зависимости от сырьевой базы лидирующие позиции занимают категории растительных зерновых и бобовых напитков (Aydar et al., 2020; Егорова, 2019). 50 % энергии, поступающей с пищей, приходится на зерновые продукты (Poutanen et al., 2022), что подчеркивает важность исследований напитков на зерновом сырье.

Существует несколько причин стремительно возросшего интереса потребителей к нише напитков на растительном сырье (Bocker & Silva, 2022; Munekata et al., 2020; Stewart et al., 2020). Прежде всего, это насущная необходимость замены продуктов из традиционного коровьего молока для потребителей с аллергией на белок коровьего молока (Dhesi et al., 2020; Vanga & Raghavan, 2018; Галстян et al., 2019; Харитонов et al., 2015) и с аллергией на лактозу (Sharp et al., 2021; Wilson, 2005; Крысанова, 2022; Харитонов et al., 2012). Этот тренд потребления растительного молока поддерживают потребители-сторонники вегетарианства³ (Ruby, 2012 и здорового образа жизни (Bekiroglu et al., 2022; Graça et al., 2019). Во многих странах на государственном уровне декларируется концепция увеличения доли потребления растительных продуктов и сокраще-

ния потребления продуктов животного происхождения (Bocker & Silva, 2022; de Boer & Aiking, 2019). Отдельно исследователи отмечают тот факт, что производство напитков на растительном сырье продуцирует меньше парниковых газов и требует меньше земли по сравнению с молочной промышленностью (Vaikma et al., 2021; Егорова, 2019). В различных культурах употребление растительных напитков имеет давние корни, поскольку они исторически являлись частью их культуры пищевого потребления (Vaikma et al., 2021; Хуршудян & Семенов, 2013), в том числе в ряде регионов с засушливым климатом, где ограничено или невозможно молочное скотоводство (Cardello et al., 2022). Отсюда, предпосылка к созданию растительных напитков имеется достаточно много.

Исследования растительного молока представлены в нескольких направлениях: (1) анализ трендов потребления, которые обосновывают причины возросшего интереса к напиткам на растительном сырье (Schiano et al., 2022; Vaikma et al., 2021), (2) анализ потребительских предпочтений (Jaeger & Giacalone, 2021; Schiano et al., 2022), (3) экологический аспект производства напитков из растительного сырья (Silva & Sergiy, 2022; Tello et al., 2021). В своих трудах исследователи (Coluccia et al., 2022; Silva & Sergiy, 2022; Tello et al., 2021; Яковлева et al., 2020) развивают и доказывают тезис о том, что производство напитков на растительной основе является более экологичным и менее ресурсоемким в сравнении с традиционным молоком, что ранее было высказано (de Boer & Aiking, 2019; Mylan et al., 2019), (4) анализ с технологических аспектов производства напитков на растительной основе (Rincon et al., 2020; Tello et al., 2021), (5) сравнительный анализ растительных напитков и коровьего молока по основным параметрам пищевой ценности является отдельным трендом в изучении данной группы продуктов (Chalupa-Krebsdak et al., 2018; Silva & Sergiy, 2022). Убедительно обосновывают несомненные достоинства напитков на зерновом сырье в своих трудах (Aydar et al., 2020; Vaikma et al., 2021; Егорова, 2019). Биологическая ценность растительных зерновых напитков обусловлена тем, что в их состав входят такие ценные функциональные ингредиенты, как пище-

¹ 9 Dairy Trends for 2019 / market research report / Euromonitor. (2019). <https://www.euromonitor.com/9-dairy-trends-for-2019/report>

² Size and market share of dairy alternatives / 2020–2026 / MarketsandMarkets. (2022). <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/dairy-alternative-plant-milk-beverages-market-677.html>

³ The pros and cons of vegetable milk. (2019). Сборник Материалов LIII Международной Студенческой Научно-Практической Конференции, 188–193.

вые волокна (Wang et al., 2022), антиоксиданты (Martemucci et al., 2022; Masisi et al., 2016), а также в незначительных количествах флавоноиды (Pei et al., 2020). Данные факторы оказывают полезное влияние на организм человека, что неоднократно подтверждено научными трудами (Kaur et al. 2019; Shen et al. 2009).

Существует и ряд значительных недостатков растительных напитков, проблему которых затронули в своих трудах (Chalupa-Krebzdak et al., 2018) и глубоко развили (Bocker & Silva, 2022; Silva et al., 2020). К недостаткам растительных напитков относят низкое содержание белка (Jeske et al., 2017; Singhal et al., 2017) и несбалансированный белковый состав по показателю биологической ценности (Chalupa-Krebzdak et al., 2018), низкую стойкость эмульсии готового продукта из-за особенностей растительного состава сырья (Jeske et al., 2018), органолептические характеристики растительных напитков (Adise et al., 2015). Отдельно выделяют проблему наличия различных антипитательных веществ в растительных напитках из-за их негативных свойств. Антипитательные нутриенты могут препятствовать усвоению питательных веществ (Jeske et al., 2018) и оказывать негативное воздействие на организм человека (Chalupa-Krebzdak et al., 2018). Наличие антинутриентов в напитках приводит к снижению их биологической ценности (Chalupa-Krebzdak et al., 2018).

Проблему наличия антипитательных факторов освещают в своих трудах (Aydar et al., 2020; Bocker & Silva, 2022; Silva et al., 2020; Егорова, 2019) в разрезе общего технологического процесса и без глубокого сравнительного анализа, что не способствует системному освещению проблемы. Работы по оценке антипитательных факторов также встречаются в смежных отраслях — мукомольной промышленности (Gunawan et al., 2022), растениеводстве (Grundy et al., 2020), кормовой промышленности (Handa et al., 2020). Также, зачастую авторы исследуют проблему антинутриентов в исходном сырье без экстраполяции на весь технологический процесс производства растительных напитков (Kumar et al., 2021; Yi et al., 2022).

Автору не удалось обнаружить обзоры предметного поля, анализирующие одновременно позитивные и негативные факторы влияния всех антинутриентов растительных зерновых напитков на организм человека. Подобный обзор предметного поля позволит составить более полную базу научных основ производства растительных зерновых напитков и систематизировать дан-

ные по их биологической ценности. Комплексное освещение темы потенциально положительных свойств антинутриентов, а также пути нивелирования негативных сторон антинутриентов позволят глубоко оценить их влияние на человека. Целью данного обзора предметного поля является комплексный анализ иностранной и российской научной литературы за период 2017–2022 гг по изучению вариативных антипитательных факторов в растительных напитках из зернового сырья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Заявление о прозрачности исследования

В данном обзоре предметного поля рассмотрена существующая литература по исследуемой теме, отмечено количество имеющейся литературы, основные характеристики работ и пробелы в знании. Обзор выполнен с использованием протокола PRISMA-ScR. Протокол был зарегистрирован в Open Science Framework (<https://osf.io/gcb3y>).

Критерии отбора

В данном обзоре предметного поля рассматривались исследовательские и обзорные статьи и тезисы конференций, подходящие под критерии отбора. Анализировались статьи на всех языках и из любых регионов. Критерии отбора в соответствии с рекомендациями РСС (Population, Concept, Context — Популяция, концепция, контекст) представлены в Таблице 1.

Решение о включении или исключении публикаций в обзор предметного поля принималось автором на основе представленных критериев. Также дополнительным критерием являлось наличие доступа к полному тексту статьи. В случае отсутствия такого доступа статья исключалась на этапе идентификации.

Стратегия поиска

Поиск производился в базе данных Scopus, ScienceDirect, Scholar.google. Для поиска в Scopus, ScienceDirect данных использовались поисковые запросы, по ключевым словам, и словосочетаниям: «plant milk», «plant-based milk», «antinutrient», «antinutritional», «phytic acid», «phytates», «oxalates», «tannins», «lectins», «saponins», а также использовались операторы поиска AND, OR,

Таблица 1

Критерии отбора для обзора предметного поля

Критерий	Включение	Исключение	Обоснование
География	Все страны	Нет ограничений по странам	Был анализ распределения по странам количества научных статей в базе данных Scopus путем поиска: TITLE-ABS-KEY plant AND milk OR plant-based AND milk)) AND (antinutrient OR (antinutritional AND factor)) с ограничением по годам, с 2017 по 2022 гг., были выбраны страны-лидеры. Но итогам данного этапа принято решение оставить все страны, т.к. в рамках данного обзора предметного поля интересуют статьи из всех стран для составления полной картины обзора предметного поля.
Контекст	Объекты исследования — напитки на растительном сырье, к которым применимо определение — «аналоги молока», «аналоги молочных систем»	Не включаются статьи с обзором стандартных овощных и фруктовых напитков, из редких растений, произрастающих только в ограниченных местах	Исследование сфокусировано на изучении работ, посвященных всестороннему рассмотрению напитков на растительном сырье — аналогов традиционного коровьего молока
Концепция	Определить наличие антинутриентов в напитках на растительном сырье. Определить группы антинутриентов, в каких видах исходного сырья содержатся, как влияют на технологический процесс производства, на человека и как возможно нивелировать их действие в процессе производства напитков на растительном сырье.	Работы, фокусирующиеся исключительно на подробном рассмотрении технологических стадий производства или только описания свойств или технологических параметров получения исходного сырья.	Целью данного исследования является составлении карты информации по вопросу наличия антинутриентов в напитках на растительном сырье и проблемам их ингибирования.
Язык	Все языки		Для обеспечения широты охвата просматриваемой литературы
Период	2017–2022		Для отбора только самых новых данных по заявленной теме
Типы статей	Обзорные, эмпирические	Источники, не прошедшие рецензирование (например, веб-сайты, блоги)	
Статус публикации	Опубликованные статьи препринты и тезисы докладов конференций		Для обеспечения широты охвата поиска литературы

AND NOT. Были использованы следующие поисковые запросы:

(((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (antinutrient OR antinutritional))) AND NOT flour AND MEAT)

(((plant AND milk OR (plant AND based AND milk)) AND ((cereal)) or (cereal and lectin)))

(((plant AND milk OR (plant AND based AND milk)) AND (phytic and acid) AND phytates)))

(phytates OR phytase OR (phytic AND acid) AND cereals) AND NOT broiler

((plant AND milk OR (plant AND based AND milk) AND (Oxalates)

((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (lectins))

((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (saponins))

(((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (enzyme AND inhibitors)))

Поисковые запросы для некоторых пунктов исследовательских вопросов Scopus, ScienceDirect также были

67 | FOOD METAENGINEERING | TOM 1, № 1 (2023)

ограничены с помощью фильтров по областям знаний. Исключены были работы из следующих областей: «Медицина и Стоматология», «Иммунология и Стоматология», «Иммунология и микробиология», «Ветеринарные науки и ветеринарная медицина», «Фармакология, токсикология и фармацевтические науки». В поиске информации по исследовательским вопросам, касающимся влияния антинутриентов на здоровье человека, статьи из вышеобозначенных разделов были оставлены и были просмотрены и проанализированы вручную. Были ограничены и исключены на первом этапе отбора те статьи, которые содержали информацию по бройлерам и мясу.

В Google Scholar поиск производился по запросу allintitle: («plant milk» OR «plant-based milk», «antinutrient» OR «antinutritional») + («phytic acid», «phytates», «oxalates», «tannins», «lectins», «saponins»). И по запросу: (((phytic OR phytates OR oxalates OR tannins OR lectins OR saponins OR (enzyme AND inhibitors)) AND (cereals AND beverages))

Также был произведен поиск с помощью ключевых слов на русском языке по запросу: ((антинутриент OR антипитательное вещество) зерновых и злаков)), затем («растительное молоко» OR «растительный зерновой напиток» OR «зерновое молоко»).

Процесс отбора

Полученные результаты поиска рассматривались и отбирались в соответствии с протоколом PRISMA-ScR. На первом этапе список публикаций, а также информация о них извлеченная из баз данных сохранены в программном обеспечении «Zotero» в виде ссылок на веб-страницы либо в виде файлов в формате .pdf. Сохраненные работы затем были проверены в той же программой на наличие дубликатов. Также для дальнейшей работы по визуализации поисковых запросов в программном обеспечении «VOSviewer» найденные статьи были выгружены из менеджера ссылок «Zotero» и сохранены в файлах формата .ris. В случае, если полного текста публикаций обнаружить не удавалось, то статья исключалась. В случае отсутствия такого доступа полный текст работы запрашивался у авторов, если авторы работ не предоставляли доступ к тексту, то работа исключалась из обзора. После исключения дубликатов статьи подвергались скринингу на соответствие критериям отбора в два этапа. Сначала по названию и аннотации, а затем по полному тексту. Все прошедшие отбор публикации далее были включены в обзор предметного поля.

Извлечение и анализ данных

Из отобранных работ была извлечена следующая информация: имена авторов и информация о странах происхождения, цель и дизайн исследования, выводы, год публикации. Все отобранные работы также были выгружены в виде файла в формате .ris и обработаны в программном обеспечении «VOSviewer» для наглядного представления частоты встречаемости ключевых слов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты поиска и полученные данные

Из баз данных Scopus, ScienceDirect, Google Scholar было отобрано 4432 потенциально приемлемых документа. Среди них был проведен скрининг на наличие дубликатов, в результате чего были исключены 605 работ и для дальнейшего анализа было получено 3827 результатов поиска. На этапе отбора публикаций по названию и аннотации были исключены 3115 статей, не соответствующие контексту обзора предметного поля. Статьи исключались, если тематика работы касалась скотоводства, птицеводства, растениеводства, производства кормов, генетики, узкоспециализированных разделов медицины, области, касающиеся производства продуктов — заменителей мяса. При изучении полного текста 712 статей было исключено 635. Всего в обзор предметного поля включено 77 публикаций (Рисунок 1).

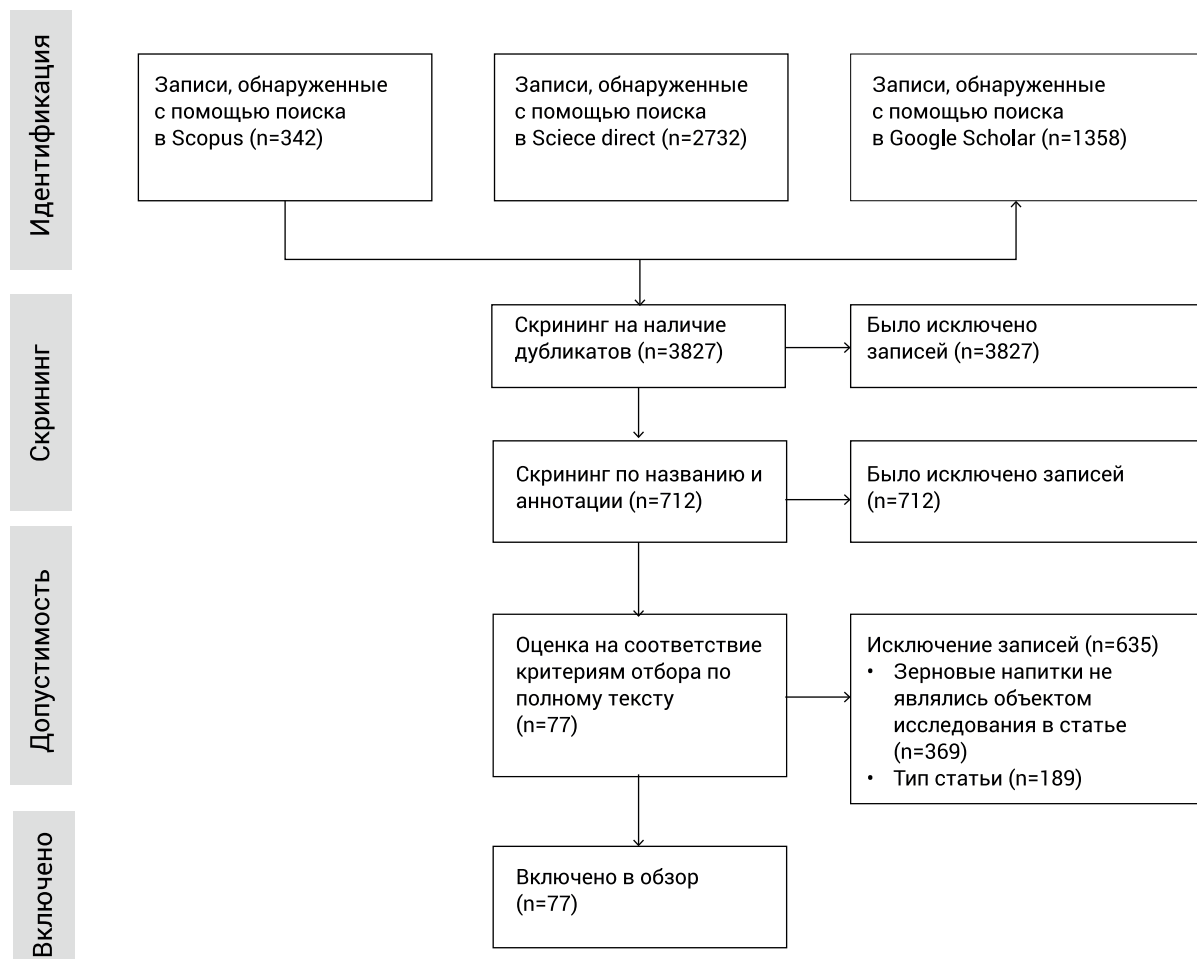
Описание отобранных публикаций

Информация об отобранных источниках (**Приложение 1. <https://disk.yandex.ru/d/ZHpe5fS69IUbkA>**) была выгружена из программного обеспечения «Zotero», где производился отбор, в виде файла формата .ris. Полученный файл был загружен в программу «VOSviewer». С помощью этой программы из 77 работ всего было извлечено 227 ключевых слов, из которых для графического представления было отобрано 50 ключевых слов, встречающихся более 2 раз (Рисунок 2).

Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями обозначены связи между ключевыми словами в исследованиях. Полученные с помощью VOSviewer данные свидетельствуют, что наиболее часто встречающимися ключевыми словами в отобранных работах, помимо основных понятий — антинутриент, злаки, — являются: «fermentation»,

Рисунок 1

Диаграмма процесса отбора статей для обзора предметного поля по PRISMA-ScR



затем “phytic acid”, “phytate” и “polyphenols”, обозначающий группу танинов. В большей части отобранных для обзора работ представлены описания как основных антинутриентов, так и процессов ферментации или проращивания. При этом ключевые слова можно разбить на две категории: группа ключевых слов, обозначающих основные процессы растительных напитков — ферментация, проращивание, закваска, и группа ключевых слов, обозначающая непосредственно антинутриенты в составе растительных напитков.

На Рисунках 3–4 представлены карты визуализации частоты встречаемости ключевых слов по годам — Рисунок 3, а также на Рисунке 4 представлена карта визуализации частоты встречаемости ключевых слов в круговой интерпретации.

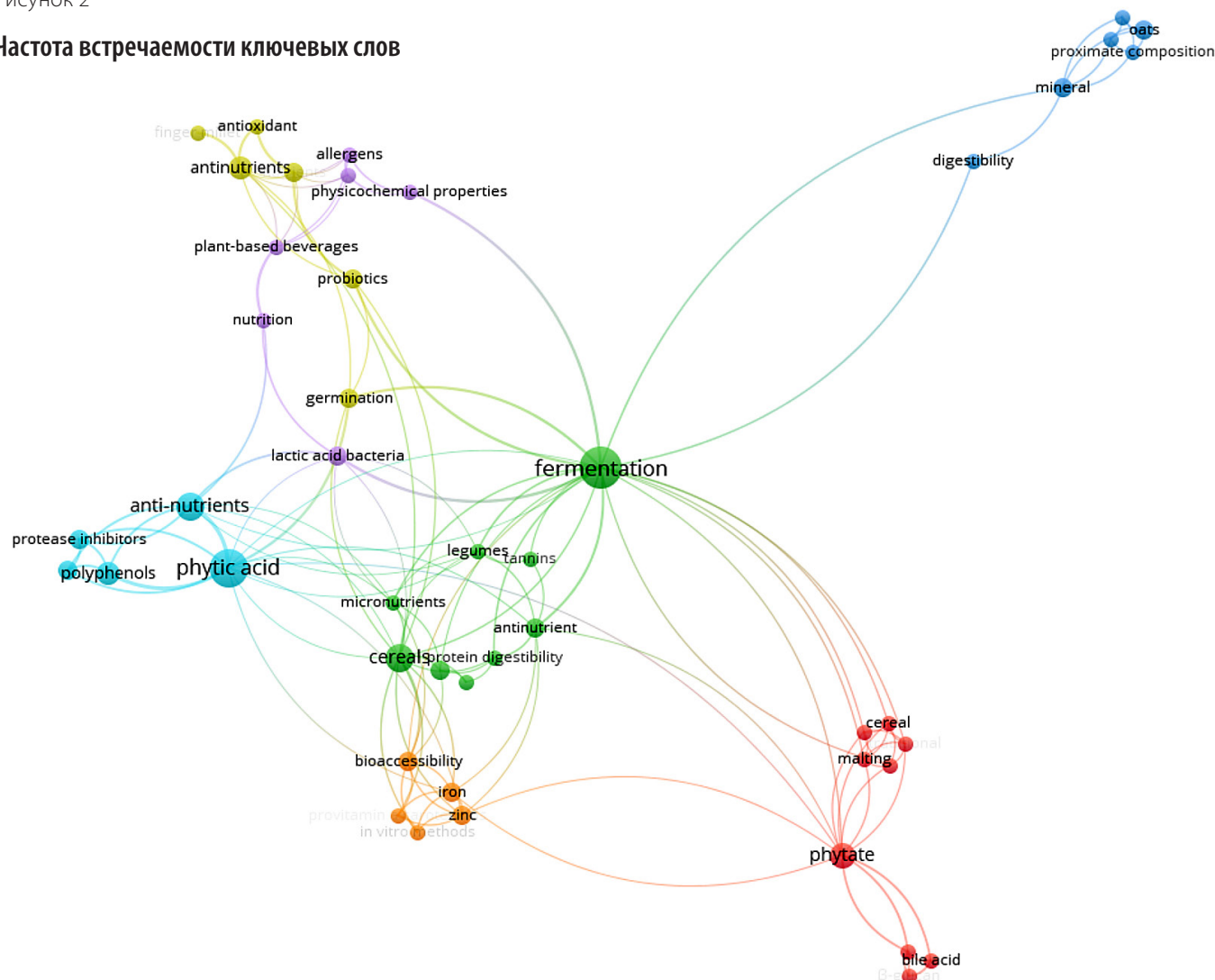
Из отобранных работ данные об авторах, названии, годах издания, стране происхождения, типе растительного напитка и виде обзореваемого антинутри-

ента, методики проведения работы (при наличии), а также ключевых выводах были извлечены в таблицу (Приложение 1¹). На долю обзорных работ приходится 41,4%. Временной период отобранных статей был в рамках заданного промежутка 2017–2022 гг, так как рост публикаций по выбранной теме обзора наблюдался с 2017 года. Большая часть статей была опубликована в 2020–2022 гг — 65,6%. При этом, выбранных статей из 2020 г — 27,3%, из 2021 г — 14,3%, 2022 г — 23,4%.

Принимали участие в исследованиях авторы из 35 стран. Наиболее часто встречались работы из Индии (22,1%) и Африки (Нигерия, Эфиопия, Малави, Кения, Руанда), чья доля составила 14,3%, стран Европы (Португалия, Испания, Болгария, Италия, Швеция, Швейцария, Хорватия, Франция). Далее равномерно распределены

¹ <https://disk.yandex.ru/d/ZHpe5fS69lUbKA>

Частота встречаемости ключевых слов



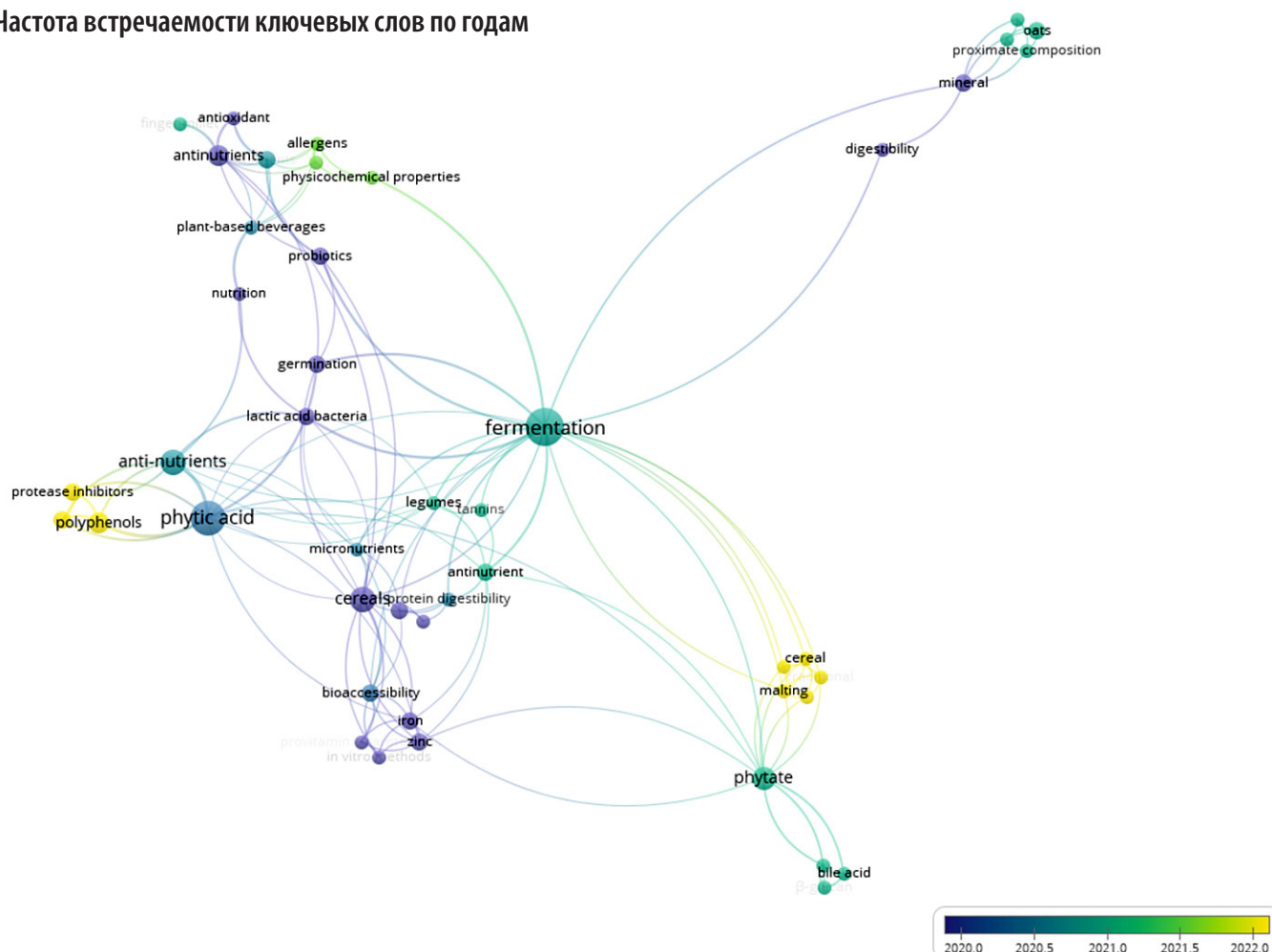
Внутри первой подтемы (лектины) распределение по источникам оказалось примерно равным, на долю публикаций, освещающих положительные стороны лектинов — 33,3%, отрицательное воздействие — 25%, методы ингибирования — 41,7%, остальные публикации отражали обзор терминологической базы, анализ строения и структуру вещества. Подтема фитиновой кислоты и фитатов характеризовалась неравномерным распределением публикаций. Более всего публикаций (42%) приходилось на долю работ, посвященным методам ингибирования, а также на долю

Термины, используемые в исследованиях

Заменители молока на зерновой основе — это суспензии экстрагированного и измельченного растительно-

Рисунок 3

Частота встречаемости ключевых слов по годам



Примечание. Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях.

го сырья в воде. Заменители молока, широко распространённые сейчас во всем мире, требуют тщательного рассмотрения не только с точки зрения их технологических характеристик, но и с точки зрения их биологической ценности, т.к. содержат в своем составе различные виды антинутриентов (Awulachew, 2022; Dhesi et al., 2020; López-Moreno et al., 2022). Антинутриенты — это природные или синтетические соединения, которые препятствуют усвоению питательных веществ (López-Moreno et al., 2022). Антинутриенты образуются в результате защитных механизмов, с помощью которых растения защищают себя от окружающей среды (Awulachew, 2022). Традиционно данные вещества считались вредными для здоровья из-за их способности ограничивать биодоступность основных питательных веществ (López-Moreno et al., 2022). Также, в литературе встречаются понятия «антипитательный фактор», ана-

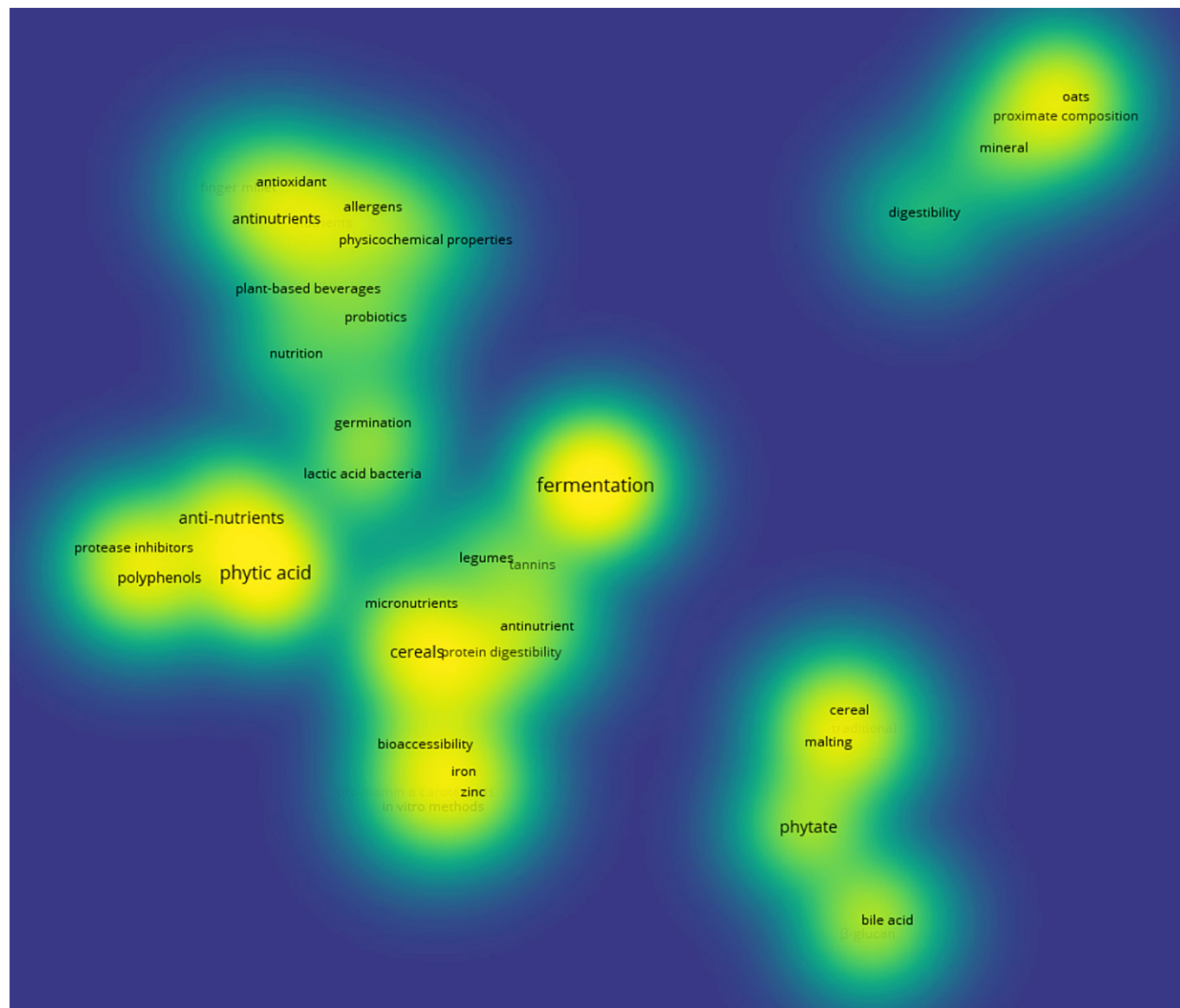
логичный по смыслу термину «антинутриент». К антинутриентам, присущим растительному зерновому сырью относят фитаты (Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Olawoye & Gbadamosi, 2017; Samtiya et al., 2021), фитиновую кислоту (Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Olawoye B. T. & Gbadamosi S. O., 2017; Penha et al., 2021; Popova & Mihaylova, 2019), оксалаты (Ibragimova & Kuluev, 2020; Samtiya et al., 2020; Серебренникова, 2019), лектины (Popova & Mihaylova, 2019; Rasika et al., 2021), оксалаты (Olawoye & Gbadamosi, 2017; Samtiya et al., 2020; Xiang et al., 2019). Таким образом, представленный ряд антипитательных веществ зернового сырья достаточно широкий.

Лектины

Лектины (López-Moreno et al., 2022) представляют собой белки (Popova & Mihaylova, 2019) или гликопротеины

Рисунок 4

Карта встречаемости ключевых слов



Примечание. Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях.

(Samtiya et al., 2020). Лектины имеют некаталитические участки связывания углеводов неиммунного происхождения (López-Moreno et al., 2022), а также обладают способностью связываться без модификации с углеводами и гликоконъюгатами (гликопротеинами, гликолипидами, полисахаридами) (Mishra et al., 2019; Porova & Mihaylova, 2019). Лектины имеют как положительное, так и отрицательное влияние на организм человека (Nath et al., 2022; Rasika et al., 2021). К отрицательному действию лектинов относят потенциальную возможность вызывать болезнь Крона и колит вследствие раз-

рушения поверхности тонкой кишки (Porova & Mihaylova, 2019). Лектины могут заставить клетки действовать подобно тому, если бы они были стимулированы инсулином, или вызвать высвобождение инсулина поджелудочной железой. Лектины также могут провоцировать аутоиммунные заболевания, вызывая образование неправильных кодов иммунной системы и стимулируя рост лейкоцитов (Porova & Mihaylova, 2019). Идею об отрицательном воздействии лектинов на кишечную проницаемость развивает более глубоко в своем исследовании (López-Moreno et al., 2022) и доказыва-

ет, что прием высоких доз изолированных лектинов (исследование проведено на животных) приводит к нарушению целостности слизистой оболочки кишечника, активации иммунной системы и изменению всасывания питательных веществ. То есть, автор подчеркивает вывод об отрицательном воздействии лектинов.

Отрицательное действие лектинов может быть уменьшено различными видами технологического воздействия. Нивелирование действия лектинов может быть произведено уже на этапе шелушения зернового сырья, потому что в большей части лектины содержатся во внешнем слое зерновой клетки (Popova & Mihaylova, 2019). Процессы замачивания и проращивания не оказывают видимого действия на уменьшение количества лектина (Popova & Mihaylova, 2019; Xiang et al., 2019). При этом, нивелирование действия лектинов возможно осуществить путем применения процесса экструзии (Hassan et al., 2021; Suneetha et al., 2019). Например, высокие температуры экструзии в экструдатах киноа вызвали окисление ненасыщенных жирных кислот, что приводило к снижению содержания ненасыщенных жирных кислот и инактивации лектина и ингибиторов антитрипсина, также повышалась усвояемость белка (Nikbakht Nasrabadi et al., 2021). Таким образом, различные варианты обработки зерна способны уменьшить количество лектина в зерновой клетке.

Лектины наряду с отрицательным действием, обладают рядом положительных свойств. Авторы (Popova & Mihaylova, 2019) и (López-Moreno et al., 2022) сообщают о потенциальной иммуномодулирующей активности лектинов, так как данные вещества проявляют антимикробные, антибактериальные, противогрибковые и противовирусные свойства. Исследователи (Mishra et al., 2019; Popova & Mihaylova, 2019) подтверждают положительные аспекты влияния лектинов на здоровье человека, так как данные вещества снижают уровень глюкозы в крови и/или уровень холестерина и триглицеролов в плазме крови. Данные вещества, очевидно, по мнению (Mishra et al., 2019) обладают противоопухолевыми свойствами, а также антиинсектицидным и антимикробным действием против ряда бактерий (как грамположительных, так и грамотрицательных), грибов и вирусов (Konozy et al., 2022; López-Moreno et al., 2022; Mishra et al., 2019). Таким образом, положительное действие лектинов достаточно обширно.

Фитаты, фитиновая кислота

Основные определения: фитаты и фитиновая кислота

Фитатам и фитиновой кислоте уделяется наибольшее внимание среди отобранных публикаций, что может быть объяснено большим содержанием данных антинутриентов и их разноплановой ролью. Фитаты и фитиновая кислота — неотъемлемые компоненты злаковых и зерновых культур (Rasika et al., 2021; Verduci et al., 2019), и признанные антипитательные факторы (Aydar et al., 2020; Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Егорова, 2019). Фитиновая кислота — химическое производное шестиатомного спирта инозитола, по гидроксильным радикалам которого связаны остатки шести молекул фосфорной кислоты (Grases et al., 2017; Hendek Ertop & Bektaş, 2018). Вариативность состава фитиновой кислоты зависит от определенных факторов, таких как условия выращивания, методы сбора и обработки, возраст собранного продовольственного зерна (Abdulwaliyu et al., 2019). Фитаты и фитиновая кислота содержатся только в продуктах растительного происхождения и существует преимущественно в форме соли — фитата (Abdulwaliyu et al., 2019).

Фитат (López-Moreno et al., 2022) представляет собой соединение мио-инозитол гексафосфат. Вариативно фитат может быть назван IP1, IP2, IP3, IP4, IP5 или IP6 в зависимости от положения мио-инозитольного кольца, который наравне с фитиновой кислотой является признанными антипитательным веществом зерновых культур (Rasika et al., 2021). Фитат состоит из инозитол-кольца с шестью фосфатно-эфирными группами и связанных с ним солей: фитата магния, кальция или калия (Aydar et al., 2020; Dahdouh et al., 2019). Однако существует пять других инозитол фосфатов, каждый из которых назван в соответствии с количеством фосфатных групп, присоединенных к инозитоловому кольцу. Способность мио-инозитолов связывать катионы зависит от количества фосфатных групп в инозитоловом кольце и их положения (Dahdouh et al., 2019).

Фитиновая кислоты и фитаты представляют собой основную форму хранения фосфора, содержащую 1–5 % массы в зерновых (Bonke et al., 2020). Кроме того, фитаты содержат 50–85 % общего фосфора в растениях. Фитаты и фитиновая кислота влияют на биодоступность основных минералов, таких как Ca, и микроэлементов, таких как Fe, Cu, Zn и Mn. Особенно подвержен связыванию цинк (Abdulwaliyu et al., 2019). Этот феномен связыва-

ния приводит к образованию нерастворимых солей с плохой биодоступностью минералов, поскольку фитат сильно отрицательно заряжен в физиологических условиях и обладает большим потенциалом для образования комплексов с положительно заряженными многовалентными катионами (Grases et al., 2017). Однако, авторы (Silva et al., 2020) проанализировали образцы рисового и овсяного растительных напитков и выявили незначительно содержание миоинозита фосфатов, практически не обнаруживаемое.

Отмечена непреложная значимость всестороннего исследования фитиновой кислоты и фитатов в продуктах и их влияния на человека. Об этом свидетельствует тот факт, что была создана Глобальная база данных по фитатам в составе пищевых продуктов PhyFoodComp (Dahdouh et al., 2019) на основе FAO/INFOODS/ IZiNCG. Глобальная создана для представления информации о содержании фитатов вместе с содержанием отдельных минералов (железо, цинк и кальций), воды и фитатов (Dahdouh et al., 2019). Также в статье (Dahdouh et al., 2019) авторами были проанализированы уровни содержания фитатов в зерновых. Было обнаружено, что зерновые являются лидерами по содержанию фитатов — 35 % против 27 % по сравнению, например, с бобовыми. Данные по сырым зерновым в PhyFoodComp показывают, что около 15 % от общего количества миоинозита фосфатов присутствуют в виде более низких форм, в основном IP5 (≈ 13 %), но также IP4 (≈ 2 %) и IP3 (≈ 1 %), а 85 % — в виде IP6 (Dahdouh et al., 2019; Grases et al., 2017). Стабильность и растворимость катионфитатных комплексов металлов фитатов зависит от индивидуального катиона, значения pH, молярного соотношения фитатов: катион и присутствие других соединений в растворе. Большинство фитатов, как правило, более растворимы при более низких значениях pH. Образование нерастворимых комплексов катион-фитат металлов при физиологических значениях pH рассматривается как основная причина плохой доступности минералов, поскольку эти комплексы практически не всасываются из желудочно-кишечного тракта (Abdulwaliyu et al., 2019; Bonke et al., 2020; Verni et al., 2020b). Фитаты и фитиновая кислота также ингибируют пищеварительные ферменты, такие как пепсин, трипсин и амилаза (Ророва & Mihaylova, 2019). Особенно культура вегетарианского питания в развивающихся странах способствует высокому уровню потребления зерновых, следовательно и фитиновой кислоты и фитатов (Samtiya et al., 2020).

Методы ингибирования фитатов и фитиновой кислоты

В большинстве публикаций, включенных в данный обзор предметного поля, рассматривается проблема ингибирования действия фитатов и фитиновой кислоты, что также указывает на значимость анализируемого вопроса. Для нивелирования данной проблемы возможно использование процессов измельчения (Samtiya et al., 2020), замачивания (Abdulwaliyu et al., 2019), пропаривания, в том числе соложения (Komarova & Khavkin, 2017; Nkhata et al., 2018; Popova & Mihaylova, 2019; Atuna et al., 2022; Nissar et al., 2017), ферментации с применением экзогенных и эндогенных фитаз (Budhwar et al., 2020; Olawoye & Gbadamosi, 2017; Popova & Mihaylova, 2019; Samtiya et al., 2020, 2021; Tanguy et al., 2019; Atuna et al., 2022; Nath et al., 2022), ультразвуковая обработка с применением гидратации (Yadav et al., 2021), экструзии (Joye, 2019), применением методов генной инженерии на основе трансформации генов (Karmakar et al., 2020). Для подбора корректного способа ингибирования антипитательного действия фитатов и фитиновой кислоты необходимо детально рассматривать строение зерновой клетки в разрезе содержания в ней фитатов и фитиновой кислоты.

В зерновых культурах, таких как пшеница и рис, фитат обычно содержится во фракции отрубей, такой как алейроновый слой и околоплодник, в кукурузе он обнаруживается в эндосперме (Samtiya et al., 2020). Сообщалось, что концентрация фитиновой кислоты в зародышах пшеницы и пшеничных отрубях составляет 1,1–3,9 % и 2,0–5,3 % соответственно (Samtiya et al., 2020). Содержание фитиновой кислоты в рисовых отрубях достигает 8,7 % (Graça et al., 2019; Hendek Ertop & Bektaş, 2018). При этом, применение этапа шелушения зерна уже снижает количество фитатов (Babiker et al., 2018; Samtiya et al., 2020). Также измельчение является наиболее часто используемым методом удаления слоя отрубей с зерен и считается, что это приводит к частичному снижению количества фитиновой кислоты (Hendek Ertop & Bektaş, 2018). Однако метод имеет недостатки, т.к. приводит к потере большей части минералов и пищевых волокон зерновых культур. Автор (Aderibigbe et al., 2020) утверждает, что измельчение и шелушение не оказывает влияния на удаление фитиновой кислоты. Фитиновая кислота равномерно распределена в зерне, поэтому ее нельзя уменьшить абразивным удалением внешних слоев зерна или экстракцией водой. Таким об-

разом, этап шелушения и измельчения не всегда являются успешным для нивелирования действия фитиновой кислоты и фитатов.

Отдельные авторы указывают, что возможно нивелировать действие фитатов и фитиновой кислоты путем замачивания (Hendek Ertop & Bektaş, 2018). В работе (Samtiya et al., 2020) подтверждается, что процесс замачивания усиливает высвобождение ферментов, особенно эндогенных фитаз. Например, во время замачивания данные фитазы могут повышать растворимость *in vitro* минералов, таких как цинк и железо, на 2–23 % (Samtiya et al., 2020). Но имеются и данные о том, что процесс замачивания не оказывает значимого влияния на снижение количества фитиновой кислоты (Aydar et al., 2020; Егорова, 2019).

Самым широко используемым методом снижения количества фитиновой кислоты и фитата считается процесс ферментации (Budhwar et al., 2020; Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Nissar et al., 2017; Silva et al., 2020). При ферментации растительной основы на основе процесса внесения ферментов чаще всего используются молочнокислые бактерии и дрожжи (например, *Saccharomyces*) (Manzoor et al., 2021), продуцирующие фитазу для разложения фитатов и фитиновой кислоты (Mäkelä et al., 2021; Ziarno & Cichońska, 2021). Процесс ферментации приводит к подкислению вместе с другими биохимическими изменениями в компонентах зерна, в том числе протеолизу (Komarova & Khavkin, 2017). Ферментативное разложение фитиновой кислоты требует оптимального значения pH (в среднем ниже pH 4,5), которое может быть обеспечено естественным брожением, вызванным эндогенными фитазами (Hendek Ertop & Bektaş, 2018), так и при помощи внесенных заквасочных культур (Samtiya et al., 2020). Разложение фитиновой кислоты может увеличить количество растворимых минералов, что подтверждает значимость ферментации зернового сырья для снижения фитиновой кислоты и фитатов.

Во многих отобранных публикациях сообщались детальные условия проведения процесса ферментации зернового сырья. В работе (Budhwar et al., 2020) отмечается, что при ферментации просо в течение 12 и 24 часов, количество различных антипитательных веществ — фитиновой кислоты и дубильных веществ, уменьшалось. В работе (Ziarno & Cichońska, 2021) более глубоко уточняют условия проведения ингибирования. В процессе использовали *L. brevis* и *L. fermentum* при 30 °C в течение 72 часов, снижение содержания фити-

новой кислоты происходило до 83–88 %. В исследовании (Budhwar et al., 2020), осуществляли ферментацию кукурузной муки консорциумом молочнокислых бактерий с 12-часовыми интервалами между ними. Результаты показали, что с увеличением времени ферментации в муке наблюдалось значительное снижение содержания антипитательных веществ. Ферментация сочетанием культур *L. casei* и *L. plantarum* показала ощутимую тенденцию к снижению содержания фитиновой кислоты примерно на 66 %. Однако при использовании комбинации таких культур, как *S. boulardii* и *L. plantarum*, для ферментации пищевой смеси наблюдалось полное удаление фитиновой кислоты (Budhwar et al., 2020). В работе (Popova & Mihaylova, 2019) отмечается, что через 120 часов ферментирования сорго культурой *L. plantarum* количество фитатов снизилось на 60 %, при использовании *L. brevis* — на 70 %. Штамм *L. plantarum* выявлен как значимый разрушитель фитатов в работе еще одного автора (Quattrini et al., 2018). И культура *Lactobacillus* spp. в исследовании (Samtiya et al., 2020) отмечена как высокоэффективная на примере исследования кукурузной муки и ее ферментации с интервалами в 12 часов. В работе (Ganguly et al., 2022) была составлена модельная система из сывороточно-обезжиренного молока (60:40 по объему), пророщенной муки из перлового проса (4,73 %) и жидкого экстракта ячменного солода (3,27 %) и ферментирована с использованием пробиотического штамма *L. acidophilus*. В результате получали согласующийся с вышеописанными работами результат по снижению количества фитиновой кислоты в неферментированном и ферментированном субстрате. Ферментация привела к значительному снижению содержания фитиновой кислоты на 78 % (Ganguly et al., 2022). Небольшое подкисление молочной кислотой дает аналогичные результаты для киноа и амаранта, *L. plantarum* снижает концентрацию фитатов на 12–14 % и 25–27 % соответственно (Petroski & Minich, 2020 & Ignat et al., 2020). Соответственно, все работы подтверждают значимость процесса ферментации в вопросе снижения количества фитиновой кислоты и фитатов.

Вторым по частоте встречаемости методом ингибирования фитиновой кислоты и фитатов является проращивание. Проращивание как высокоэффективный метод снижения содержания фитиновой кислоты отмечено в трудах многих исследователей (Budhwar et al., 2020; Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Oke et al., 2022; Popova & Mihaylova, 2019). В процессе проращивания по-

вышается активность эндогенных ферментов (do Nascimento et al., 2022; Nkhata et al., 2018; Samtiya et al., 2020), которые не находятся в активном состоянии в сырых семенах (Faba-Rodriguez et al., 2022). Все эти реакции в пророщенных зернах приводят к структурной модификации и образованию новых соединений, которые обладают биологической активностью и могут улучшить питательный профиль (Bunkar et al., 2021) и общую стабильность зерновых (Budhwar et al., 2020). Проращивание позволяет активировать эндогенную фитазу (Samtiya et al., 2020), что дополнительно снижает содержание фитата и фитиновой кислоты. Соответственно, проращивание влияет на физическую структуру, питательный состав и улучшает питательный профиль продукта.

Имеются работы с указанием количественных значений степени ингибирования в результате проращивания. В работе (Kaur et al., 2017) среднее содержание фитиновой кислоты в непроросших сортах коричневого риса составило 16,3–24,3 г/кг, а содержание фитиновой кислоты для всех пророщенных сортов было значительно снижено, варьируясь в диапазоне от 10,1 до 12,2 г/кг. Для просо максимальное снижение содержания антипитательных веществ было отмечено при проращивании по сравнению с другими методами, такими как замачивание, ферментация и измельчение (Nissar et al., 2017). Уровень фитатов в просе пальчиковом снижается с увеличением продолжительности проращивания. И в работе (Punniyamoorthy et al., 2020) были проведены исследования снижения количества фитиновой кислоты в разных вариантах проса с $241 \pm 0,05$ и $452 \pm 0,35$ мг/100 г до $18,18 \pm 0,76$ до $24,45 \pm 1,38$ мг/100 г соответственно. Также, в исследовании (Adeyeye, Olaleye et al., 2020) отмечено, что уровень фитатов в просе снизился эффективнее в пророщенном зерне, чем в ферментированном — 10,7 мг/100 г. Вопросам снижения содержания фитиновой кислоты в сорго посвящены работы (Budhwar et al., 2020; Samtiya et al., 2021). После проращивания образцов проса в течение 72 и 96 часов было обнаружено, что содержание фитиновой кислоты снизилось на 23,95 и 45,3 % соответственно (Samtiya et al., 2020). В работах (Gunawan et al., 2022; Rodríguez-España et al., 2022) детализировали процесс и уточнили лучшие виды культур для проведения ферментации. Было установлено, что содержание фитиновой кислоты в сорго в процессе ферментации с использованием *L. bulgaricus*, *L. casei* и *L. brevis* снижается с 11,9 % до 0,58 %. Снижение

содержания фитиновой кислоты происходит благодаря активности микроорганизмов, продуцирующих в среде фермент фитазу и гидролизующих фитиновую кислоту (Gunawan et al., 2022). Стоит отметить, что наряду с действием различных фитаз возможно ингибировать действие фитата органическими кислотами и комплексообразователями, аскорбиновой кислотой (Grases et al., 2017).

Противоречивые данные встречаются в отобранных публикациях по эффективности тепловой обработки для снижения количества фитиновой кислоты и фитатов. Например, есть мнение, что тепловая обработка мало влияет на снижение количества фитиновой кислоты (Budhwar et al., 2020; Joye, 2019; Popova & Mihaylova, 2019). Но также авторы (Samtiya et al., 2020) в работе приводят примеры успешного процесса нивелирования фитиновой кислоты и отмечают, что плохая усвояемость белка как в сорго, так и в просе связаны с несколькими факторами. К ним относят плотную внутреннюю структуру зерна, наличие полифенолов и фитиновой кислоты, образование дисульфидных и не-дисульфидных поперечных связей, гидрофобность белка и изменение вторичной структуры, которые были вызваны во время влажной варки (Gulati et al., 2017; Joye, 2019).

Существуют альтернативные варианты предотвращения накопления в растительном сырье фитиновой кислоты в период его роста. Это так называемый агропромышленный метод, о чем говорят авторы (Silva et al., 2020). Например, в условиях лесостепи Поволжья при отсутствии осадков и воздушной засухи в период формирования и налива зерна наблюдается пониженное содержание в семенах антипитательных веществ, что позволяет использовать их для получения функциональных продуктов, оказывающих благоприятное влияние на организм человека и способствующих укреплению его здоровья (Kaiser et al., 2020; Дулов, 2019). В генно-инженерном методе (Karmakar et al., 2020) авторами было осуществлено подавление основного ИТРК-гомолога, что привело к снижению содержания фитиновой кислоты в трансгенных семенах на 46,2 % с последующим 3-кратным повышением содержания неорганического фосфора.

Положительное и негативное действие фитатов и фитиновой кислоты

Многие авторы отмечают определенно разную роль фитиновой кислоты в воздействии на организм человека (Abdulwaliyu et al., 2019; Babiker et al., 2018; Dahdouh et al., 2019). Исследователь (Grases et al., 2017) постулирует, что при хорошо сбалансированном питании ингибирующее действие фитата на усвоение минералов очень низкое. Но в работе (Grases et al., 2017) отмечено, что недостаточно доказательств влияния фитата на уровень железа, цинка и кальция при нормальном потреблении питательных веществ. Однако при недостаточном или несбалансированном питании с низким содержанием минералов и необходимых микроэлементов, но высоким содержанием фитатов, ситуация совершенно иная (Grases et al., 2017). Это приводит к обеднению рациона.

Положительная роль фитиновой кислоты широко отмечена в исследованиях (Abdulwaliyu et al., 2019; Комарова, 2017). Фитиновая кислота наряду с фитатом оказывает положительное влияние на эпителий кишечника человека путем связывания с окислителями, которые вырабатываются кишечными бактериями (Комарова, 2017). Фитиновая кислота предположительно снижает риск рака толстой кишки и молочной железы, а также опосредованно снижает уровень глюкозы, инсулина и/или холестерина в плазме крови и уровень триглицеридов (Комарова, 2017). Хотя доказано, что фитаты оказывают очень сильное ингибирующее действие на всасывание железа, но фитат является не единственным способствующим снижению доступности железа у человека фактором (Nissar et al., 2017). Фитиновая кислота также считается очень сильным антиоксидантом *in vitro*. Благодаря способности фитиновой кислоты хелатировать свободное железо, она останавливает окислительные реакции, катализируемые железом (Abdulwaliyu et al., 2019; Babiker et al., 2018). Фитиновая кислота обладает способностью прекращать серию цепных реакций путем ингибирования катализируемых железом гидроксильных радикалов. Также, исследование (Abdulwaliyu et al., 2019) подтвердило и расширило данную гипотезу о положительной роли фитиновой кислоты. Данное вещество ингибирует окисление линолевой кислоты и индуцированное аскорбатом перекисное окисление липидов в эпителиальных клетках толстой кишки человека (Abdulwaliyu et al., 2019). Автор (Popova & Mihaylova, 2019) поддерживает данное направление

и в своем исследовании отмечает, что фитиновая кислота снижает уровень глюкозы, холестерина и триглицеридов в плазме крови (Nissar et al., 2017). Исследование на мышах подтвердило, что фитиновая кислота может уменьшить гиперлипидемию и окислительный стресс (Nath et al., 2022). И фитиновая кислота может служить компонентом фармакологических препаратов, чье действие направлено на снижение окислительного стресса, вызывающего нейродегенеративные заболевания. Следовательно, очевидно, что существует как положительная, так и отрицательная роль фитиновой кислоты и фитатов, которые зависят от множества факторов исходного сырья и дальнейшей технологической обработки.

Танины

Танины относятся к категории значимых антинутриентов зерновых (Budhwar et al., 2020). Они представляют собой крупные биомолекулы полифенольной природы (Tanguy et al., 2019; Das et al., 2020). Танины в значительной степени сосредоточены в таких злаковых культурах, как сорго и ячмень (Samtiya et al., 2020). Основным свойством танинов является то, что они могут осаждать белки (Mohapatra et al., 2019). Вследствие образования танинами обратимых и постоянных комплексов танин-белок между гидроксильной группой танинов и карбонильной группой белков, может быть снижена усвояемость белков (Budhwar et al., 2020; Tsafrakidou et al., 2020). Образование комплексов танин-белок может вызывать ингибирование активности многих пищеварительных ферментов (Joye, 2019). Дополнительно танины влияют на снижение питательной ценности пищевых продуктов за счет хелатирования металлов, железа и цинка (Mohapatra et al., 2019; Olawoye B. T. & Gbadamosi, 2017). И в работах (Petroski & Minich, 2020; Tsafrakidou et al., 2020) подтверждена гипотеза (Mohapatra et al., 2019) в части хелатирования металлов, что приводит к возможности развития железодефицитной анемии у человека. Однако, в малом количестве танины оказывают положительное влияние на организм человека путем возникновения антиоксидантного и противомикробного действия (Серебренникова, 2019). Были отмечены многие антиканцерогенные свойства танинов, антиоксидантный и противовоспалительный эффекты, антимутагенное и противоопухолевое действие (Nath et al., 2022). Таким образом, танины обладают как положительным действием на организм человека, так и отрицательным.

Существуют несколько способов нивелирования действия танинов. Авторы (Ajayi et al., 2021; Mohapatra et al., 2019) установили, что содержание танина снижается на 17–40 % при разных условиях обработки. Содержание танина значительно уменьшилось при варке (17 %), ферментации (30 %), пропаривании (35 %) и плющении (39 %). И термическая обработка амаранта показала подобный результат, автоклавирование и бланширование были особенно эффективными в снижении содержания танина (Olawoye & Gbadamosi, 2017). Но в публикациях (Ajayi et al., 2021; Budhwar et al., 2020) отмечено, что термическая обработка не влияет на концентрацию танина, что подтверждается и в работе (Oke et al., 2022). Альтернативные технологические обработки для снижения содержания танинов включают очистку от шелухи, замачивание, добавление химикатов и проращивание (Aderibigbe et al., 2020; Budhwar et al., 2020; Joye, 2019). Так, в работе (Kaur et al., 2017) доказано, что проращивание риса снижает содержание танинов в рисе примерно в 5 раз. Также, весьма эффективен инновационный способ ультразвука, примененный в работе (Yadav et al., 2021). Процесс гидратации с помощью ультразвука показал оптимальный результат при обработке 26 мин и соотношении зерна и воды 1:3, танин был снижен на 62,83 %. В работе (Manzoor et al., 2021) были определены лучшие виды среди молочно-кислых бактерий в качестве использования закваски для снижения уровня таннинов: *L. plantarum*, *L. paraplantarum* и *L. pentosus*, которые гидролизуют танины посредством активности фермента танназы. Танназа нарушает границы сложного эфира из дубильной кислоты, высвобождая таким образом глюкозу и галловую кислоту. Также, и (Adebo & Medina-Meza, 2020) говорят о возможности ферментации сорго с целью уменьшения количества танинов. Ферментация успешно применяется и при снижении количества таннинов путем воздействия молочнокислых бактерий на кукурузу, сорго, пшеницу (Achi & Asamudo, 2019). Соответственно, тепловые, механические и биохимические способы показали разные степени эффективности снижения количества танинов.

Сапонины

Сапонины не самые распространенные антинутриенты среди зернового сырья в производстве напитков на растительном сырье, но их воздействие на организм человека очевидно ощутимо. Сапонины — это вторичные соединения растительного происхождения, глико-

зиды, содержащиеся в некоторых видах зернового сырья, например, в пшенице (Samtiya et al., 2020), овсе (Raguindin et al., 2021). Авторы (Samtiya et al., 2021) показали в своей работе, что сапонины проявляли ингибирующую активность пищеварительных ферментов, таких как амилаза, глюкозидаза, трипсин, химотрипсин и липаза, которые могут вызывать расстройства желудка (Samtiya et al., 2020), т.к. создают нерастворимые комплексы сапонин-белок (Escobar-Sáez et al., 2022). Сапонины могут изменить целостность эпителиальных клеток кишечника и изменить проницаемость эпителиального слоя кишечника, что может позволить токсичным веществам, присутствующим в кишечнике, легко проникать в систему кровообращения и вызывать токсичность (Nath et al., 2022), но автор отмечает, что в целом, воздействие сапонинов не является чрезвычайно вредным для людей.

Сапонины обладают рядом положительных свойств. В работе (Комарова, 2017) отмечено, что сапонины предположительно снижают риск рака толстой кишки и молочной железы. Сапонины снижают уровень глюкозы, инсулина и холестерина в плазме крови и уровень триглицеридов (Nath et al., 2022). Данное вещество может влиять на предотвращение сердечно-сосудистых заболеваний, рака, повреждения печени и гипергликемии (Raguindin et al., 2021). Результаты также свидетельствуют о многих других полезных эффектах, включая иммуномодуляцию, защиту нейронов и противовоспалительный эффект (Nath et al., 2022). Сапонины могут быть ингибированы путем термической обработки (Escobar-Sáez et al., 2022).

Оксалаты

Оксалаты, как и танины, не самые распространенные антинутриенты зернового сырья. Щавелевая кислота может образовывать растворимые (калий и натрий) или нерастворимые (кальций, магний, железо) соли или сложные эфиры. Оксалаты встречаются в растениях, или синтезируются в организме (Borin et al., 2022; Porova & Mihaylova, 2019). Оксалат является конечным метаболитическим продуктом метаболизма аскорбата, глиоксилата и глицина в организме человека (Alemayehu et al., 2021; Munekata et al., 2020). Среди зерновых с высоким содержанием оксалатов отличаются амарант, кукуруза, пшеничные отруби, овес, гречка. Оксалат и фитат, считаются антинутриентными веществами вследствие их сильного сродства к физиологически

насыщенным ионам двухвалентных металлов, таким как кальций, цинк, медь и магний (Dey et al., 2018).

Исследователи отмечают, что большинство людей могут потреблять определенное количество продуктов, богатых оксалатами (Alemayehu et al., 2021). При этом, людям с определенными состояниями, такими как кишечная и первичная гипероксалурия, необходимо снизить потребление оксалатов (Ferruzzi et al., 2020). Отмечается, что существует несколько способов понижения содержания растворимых оксалатов в зерновых (Grundy et al., 2020), которые включают генноинженерный, предусматривающий, например, выведение сортов с повышенным пулом оксалаксоксидазы, агрохимический, на основании знаний азотного питания амаранта, технологический, предусматривающий соответствующую подготовку биомассы амаранта перед использованием (Munekata et al., 2020).

Возможно применение технологических методов воздействия на снижение количества оксалатов. Кипячение снижает концентрацию оксалатов в растительных продуктах из-за комбинированного воздействия выщелачивания и термического разложения (Huynh et al., 2022). Процесс варки амарантового зерна уменьшает количество оксалата на 93 % (Huynh et al., 2022). В работе (Abdulwaliyu et al., 2019) отмечается интересный факт взаимодействия оксалатов и фитиновой кислоты. Фитиновая кислота обладает гораздо большим сродством к Са, чем оксалат, поэтому его присутствие предотвращает кристаллизацию Са. Все это приводит к тому, что и оксалат меньше связывается с Са и минимизируется образование камней (Abdulwaliyu et al., 2019) в почках. Таким образом, некоторые способы тепловой обработки способны привести к снижению количества оксалатов.

Ингибиторы ферментов

Различные злаки также содержат вариативные ингибиторы ферментов. К ним относят ингибиторы протеаз (Samtiya et al., 2020), которые подавляют действие трипсина и химо трипсина, ингибиторы амилазы (Budhwar et al., 2020). Ингибиторы трипсина содержатся в рисе, овсе (Bocker & Silva, 2022). Данные ингибиторы приводят к потере трипсина и химо трипсина в кишечнике, тем самым влияя на снижение скорости переваривания белков и снижая биологическую ценность (Bocker & Silva, 2022; Porova & Mihaylova, 2019; Sarangapani et al., 2022). На-

личие ингибиторов трипсина и химо трипсина может привести к проблемам с поджелудочной железой (Budhwar et al., 2020; Samtiya et al., 2020). Однако в нескольких исследованиях сообщалось, что ингибирование ферментов альфа-амилазы, альфа-глюкозидазы, липазы может также принести пользу здоровью, связанную с профилактикой диабета 2 типа и ожирения, как отмечается (Samtiya et al., 2020). Авторы (Porova & Mihaylova, 2019) подтверждают данную высказанную идею и постулируют, что действие ингибиторов амилаз находят положительное применение для контроля диабета второго типа путем регулирования уровня инсулина.

Существует несколько способов инактивации ингибиторов ферментов. Трипсиновый ингибитор присутствует в небольших количествах в амаранте и инактивируется при влаготепловой обработке (Sarangapani et al., 2022; Джураева, 2020). Авторы сообщают (Budhwar et al., 2020), что при температуре кипения в течение 15 минут в зерновых значительно снижается количество ингибиторов протеаз (Manzoor et al., 2021). В исследовании (Porova & Mihaylova, 2019) отмечается, что для дезактивации возможно применять замачивание и проращивание зерен. Также, авторы (Porova & Mihaylova, 2019) постулируют об установлении корреляции между временем ферментации и степенью инактивации ингибиторов. Например, в сорго наблюдалось значительное снижение ингибитора трипсина (69 %), ингибитора протеазы (30 %) через 120 ч при использовании *L. plantarum* в качестве заквасочной культуры. С другой стороны, *L. brevis* в качестве закваски оказалась эффективной через 120 часов с уменьшением ингибитора трипсина на 58 % и на 40 % ингибитора протеазы. В работе (Suneetha et al., 2019) отмечено, что применение высоких температур экструзии в экструдатах киноа приводило к инактивации ингибиторов антитрипсина и повышало усвояемость белка. Соответственно, применение тепловых, механических и биотехнологических методов воздействия могут быть полезны для уменьшения количества ингибиторов ферментов зерновых.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проблема несбалансированности рациона и потребления малого количества необходимых организму человека витаминов распространена повсеместно. В разрезе наметившегося тренда на увеличение потребления напитков на растительном сырье этот вопрос еще более актуализируется. В растительных напитках

присутствуют присущие исходному растительному сырью антипитательные вещества — антинутриенты, препятствующие усвоению как витаминов, так и иных макронутриентов. Цель данного исследования состояла в том, чтобы проанализировать вариативные антипитательные факторы в растительных напитках из зернового сырья и оценить методы и условия их ингибирования. Автором было проанализировано 4432 работы и в результате отбора было включено 77 статей, соответствующих цели настоящего обзора предметного поля.

Интерес к теме растительных напитков на зерновой основе в научном сообществе растет. Первые работы по растительным напиткам были опубликованы в период, начиная с 1999 г. В период 2015–2016 гг. количество научных трудов, посвященных данной теме, значительно увеличилось (Mäkinen et al., 2015; Pineli et al., 2015; Youssef et al., 2016). Однако, в данных работах в большей части рассматривался технологический аспект производства растительных напитков.

Вопрос непосредственно антинутриентов в растительных зерновых напитках в научных публикациях исследовался ранее в работах (Bahwere et al. 2016; Ray et al. 2016; Santa María et al. 2016). Но в данных публикациях отмечался только негативный эффект антипитательных веществ без углубленного изучения проблемы негативного воздействия на организм человека, а также была высказана мысль о необходимости ингибирования антинутриентов. Методы и подходы ингибирования не были представлены в отмеченных публикациях в лонгтюдном формате. Гипотезу о положительном влиянии высказывали в своих трудах несколько авторов (Raes et al. 2014; Ray et al. 2016). Соответственно, общим ограничением настоящего обзора являлось то, что ранее магистральных работ по данной теме не было. Глубоко тема антинутриентов ранее изучалась только в смежных областях, для бобовых культур в частности (Dhakal et al. 2014; Faris, Takturi, and Issa 2013; Sreerama et al. 2012).

В данном обзоре предметного поля выделено несколько трендов. Первый тренд представлен пулом публикаций о возможности негативного эффекта антинутриентов и этот тренд ожидаемо был широко подтвержден. В подтренде данного направления по изучению негативного влияния лектинов авторами (López-Moreno, Garcés-Rimón, and Miguel 2022; Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Popova and Mihaylova 2019; Rasika et al. 2021) подтвержден их негативный эффект. Но часть авторов подтвердила также их положительное действие в своих

работах (López-Moreno, Garcés-Rimón, and Miguel 2022; Popova and Mihaylova 2019), что я объясняю возможностью разностороннего воздействия лектинов на организм человека.

В подтренде негативного действия фитатов и фитиновой кислоты также была подтверждена гипотеза о негативном действии антипитательных веществ. Авторы (Abdulwaliyu et al. 2019; Atuna et al. 2022; Aydar, Tutuncu, and Ozelik 2020; Bonke, Sieuwerts, and Petersen 2020; Hendek Ertop and Bektaş 2018; Nissar et al. 2017; Nkhata et al. 2018; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020; Verni et al. 2020; Егорова 2019) сообщают об отрицательном действии фитатов и фитиновой кислоты. Положительная роль фитиновой кислот широко отмечена в исследованиях (Abdulwaliyu et al. 2019; Babiker et al. 2018; Комарова, Хавкин 2017). Я полагаю, что и положительная, и отрицательная роль фитиновой кислоты и фитатов зависят от множества таких факторов, как качество исходного сырья, степень обработки исходного сырья и его вида, а также от параметров технологических процессов производства растительных напитков из зернового сырья.

В подтренде танинов подтверждены обе роли данного антипитательного вещества (Budhwar, Sethi, and Chakraborty 2020; Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Tsafakidou, Michaelidou, and G. Biliaderis 2020; Серебренникова et al. 2019). Положительную роль отметили авторы (Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Серебренникова et al. 2019). В подтренде сапонинов был обнажен аналогичный фитиновой кислоте и фитатам механизм негативного воздействия на организм человека (Escobar-Sáez et al. 2022; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020). Однако для сапонинов разделились мнения исследователей насчет иных вариантов проявления негативного действия или доказательств обратного. Автор (Raguindin et al. 2021) сообщал о возможности проявления таких полезных эффектов, как иммуномодуляция, защита нейронов и противовоспалительный эффект, а в работе (Nath, Samtiya, and Dhewa 2022) имелись выводы о токсичном действии сапонинов через проникновение в кровь непосредственно. Я полагаю, что потребление сапонинов с зерновыми продуктами и зерновыми растительными напитками достаточно мало и не приводит к возникновению отрицательного эффекта.

В подтренде оксалатов негативный механизм воздействия был аналогичен предыдущим пунктам. Я отмечаю, что в данном подтренде исследователи сошлись во едином мнении о том, что большинство людей могут

потреблять определенное количество продуктов, богатых оксалатами, без вреда для здоровья (Escobar-Sáez et al. 2022; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020). В подтренде ингибиторов ферментов ожидаемое негативное действие подтвердилось (Bocker and Silva 2022; Popova and Mihaylova 2019; Sarangapany et al. 2022). Гипотеза о положительном воздействии также подтверждена при работе над настоящим обзором (Popova and Mihaylova 2019; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020; Sarangapany et al. 2022). Я полагаю, что данные выводы связаны с тем, что варианты положительного действия оксалатов и ингибиторов ферментов на организм человека рассматривались в большинстве случаев достаточно изолированно, зачастую *in vitro*. Это обуславливает необходимость дальнейшего расширения круга исследовательских задач до оценки положительного действия антинутриентов на организм человека с учетом влияния технологических этапов производства растительных напитков.

Следующим выявленным трендом была оценка методов ингибирования антинутриентов, которая присутствовала в большей части всех отобранных для обзора публикаций. В данных выбранных работах методы ингибирования были представлены технологическими способами воздействия, при этом представлены довольно противоречиво. В подтренде лектинов в ранних работах имелась только информация о необходимости его ингибирования. Но в ходе работы над настоящим обзором это направление было значительно расширено, что подтверждает анализ отобранных публикаций. Было установлено, что процессы замачивания и проращивания не оказывают видимого действия на уменьшение количества лектина (Popova and Mihaylova 2019; Xiang et al. 2019). На мой взгляд расширение и углубление подтренда исследований необходимо для более точного и выполненного на более широкой выборке анализа вопроса.

Самое большое количество противоречивых мнений было найдено среди выводов авторов в подтренде ингибирования фитиновой кислоты и фитатов. Большая часть научного сообщества доказала, что методы теплового воздействия на фитаты и фитиновую кислоту не являются успешными (Atuna et al. 2022; Budhwar, Sethi, and Chakraborty 2020; Hendek Ertop and Bektaş 2018; Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Olawoye and Gbadamosi 2017; Popova and Mihaylova 2019; Tangyu et al. 2019; Yadav, Mishra, and Pradhan 2021). Только в одном исследовании (Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020) сообщается о ре-

зультативном тепловом ингибировании фитиновой кислоты. Я согласна с тем, что невозможность ингибирования фитиновой кислоты и фитатов тепловым воздействием имеет большее научное обоснование, и его нужно учитывать в технологии производства напитков. Новым в данном подтренде является то, что были подробно описаны в части работ технологические условия проведения многих способов ингибирования с помощью соложения, шелушения, измельчения (Atuna et al. 2022; Joye 2019; Nissar et al. 2017; Yadav, Mishra, and Pradhan 2021). По моему мнению, наличие противоречий по методам ингибирования связано с невероятно обширным исходным полем для исследования. Необходимо применять в будущем более сходимые исходные условия исследования, в том числе сходную приборную базу.

Ингибирование танинов, оксалатов, сапонинов производится разными методами. В подтренде ингибирования танинов выявлены противоречия по одному из способов нивелирования их негативного действия. Ранее было высказано мнение о возможности ингибирования танинов нагреванием (Mäkinen et al. 2015; Pineli et al. 2015; Youssef et al. 2016). И это подтвердили авторы из выбранных публикаций настоящего обзора (Olawoye & Gbadamosi, 2017). Но в публикациях (Ajayi et al. 2021; Budhwar, Sethi, and Chakraborty 2020; Oke, Olalekan Adeyeye, and Olorode 2022) отмечено, что термическая обработка не влияет на концентрацию танина. В подтрендах оксалатов, сапонинов, ингибиторов найдено незначительное количество работ по каждому из антинутриентов по методам ингибирования. Но авторы сходимы в мнении о том, что применение тепловой обработки будет способствовать нивелированию отрицательного действия антипитательных веществ (Abdulwaliyu et al., 2019; Budhwar et al., 2020; Escobar-Sáez et al., 2022; Grundy et al., 2020; Huynh et al., 2022; Manzoor et al., 2021; Popova & Mihaylova, 2019; Sarangapany et al., 2022; Джураева, Исабаев, 2020).

Полученные результаты позволили выделить в отдельное новое направление нетрадиционные методы ингибирования антинутриентов, которые ранее не были зафиксированы. К ним относят способ ингибирования фитата органическими кислотами и комплексообразователями и аскорбиновой кислотой (Grases et al., 2017). Нивелирование действия антинутриентов путем применения процесса экструзии для лектинов (Hassan, Sebola, and Mabelebele 2021; Suneetha et al. 2019), фитатов (Joye 2019), ингибиторов ферментов (Suneetha

et al., 2019) и ультразвуковой обработки для танинов (Yadav, Mishra, and Pradhan 2021). Также существуют генноинженерные способы предотвращения накопления в растительном сырье фитиновой кислоты и оксалатов в период роста зерновых культур (Silva, Silva, and Ribeiro 2020). Расширение области, я полагаю, является естественным следствием усиления исследовательской активности в данной области.

Несмотря на имеющиеся данные о нетрадиционных способах обработки антинутриентов, очевиден еще имеющийся пробел в знаниях. В отобранных публикациях применительно к нетрадиционным методам обработки не все виды антинутриентов были исследованы. С учетом неоспоримой значимости контроля уровня антинутриентов в растительных напитках на зерновом сырьеведальнейшемнеобходимыисследованияпооценке различных методов ингибирования антинутриентов для всех видов зернового сырья. Для построения эффективной технологической схемы производства напитков из зернового сырья необходимо расширить область исследований и провести более глубокие исследования. Ожидаемым результатом станет расширение научно-технической базы об эффективности воздействия того или иного способа, как традиционного, так и инновационного, на все виды антинутриентов, имеющих в зерновом сырье.

ВЫВОДЫ

Целью обзора предметного поля являлся комплексный анализ вариативных антипитательных факторов в растительных напитках из зернового сырья с оценкой

методов и условий их ингибирования. В ходе анализа выбранной литературы было отмечено, что интерес исследователей к растительным напиткам-аналогам молока и анализу биологической ценности растительных напитков только растет. Высказанное во введении предположение о негативной роли антинутриентов было расширено и подтверждено результатами исследований как эмпирических, так и обзорных статей. Но были установлены и позитивные аспекты влияния антинутриентов и условия, при которых их возникновение возможно. При применении различных способов технологической обработки при производстве растительных напитков из зернового сырья концентрация антинутриентов снижается или обнаруживается синергия с другими полезными для здоровья соединениями. В работе проанализированы совокупно все виды антинутриентов, присутствующих в зерновом сырье, отрицательная и положительная роль данных веществ и методы их ингибирования. Объективная оценка методов и подходов их ингибирования в данном лонг-тюдном обзоре предметного поля позволит расширить научно-практическую базу данных об антипитательных веществах. Практическое внедрение предложенных рекомендаций в производственный цикл способствует значительному повышению биологической ценности напитков на зерновом сырье. Большой потенциал дальнейшего изучения антинутриентов и выделения их в чистом виде заключается в том, чтобы глубже исследовать не только *in vitro*, но и *in vivo* воздействие антинутриентов при различных патологических состояниях организма человека.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бабикиер, Э., Абдельсид, Б., Хассан, Х., & Адiamo, О. (2018). Effect of decortication methods on the chemical composition, antinutrients, Ca, P and Fe contents of two pearl millet cultivars during storage. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 278–286. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01–2018-0005>
- Babiker, E., Abdelsid, B., Hassan, H., & Adiamo, O. (2018). Effect of decortication methods on the chemical composition, antinutrients, Ca, P and Fe contents of two pearl millet cultivars during storage. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 278–286. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01–2018-0005>
- Галстян, А. Г., Аксёнова, Л. М., Лисицын, А. Б., Оганесянц, Л. А., & Петров, А. Н. (2019). Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов. *Вестник Российской Академии Наук*, 89(5). <https://doi.org/10.31857/S0869–5873895539-542>
- Galstyan, A. G., Aksenova, L. M., Lisitsyn, A. B., Oganesyants, L. A., & Petrov, A. N. (2019). Modern approaches to the

- storage and effective processing of agricultural products for the production of high-quality food products. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 89(5). <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>
- Джураева, Н. Р., Исабаев И. Б. (2020). Анализ технологического эффекта и функциональной направленности натурального сырья для производства кондитерских изделий. *Материалы XIII Международной Научно-Технической Конференции* (с. 220–221). МГУПП.
- Djuraeva, N. R., & Isabaev, I. B. (2020). Analysis of the technological effect and functional orientation of natural raw materials for the production of confectionery products. *Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference* (pp. 220–221). MGUP.
- Дулов М.И. (2019). Минеральный состав зерна сортов и линий овса голозерного в лесостепи Поволжья. *Инновационное развитие науки и образования* (с. 61–68). Самарский государственный аграрный университет.
- Dulov, M.I. (2019). Mineral composition of grain of varieties and lines of naked oats in the forest-steppe of the Volga region. *Innovative Development of Science and Education* (pp. 61–68). Samara State Agricultural University.
- Егорова, Е. Ю. (2019). «Немолочное молоко»: Обзор сырья и технологий. *Ползуновский Вестник*, 18(3), 25–34. <https://doi.org/10.17816/clinutr33034>
- Egorova, E. Y. (2019). "Non-dairy milk": A review of raw materials and technologies. *Polzunovsky Bulletin*, 18(3), 25–34. <https://doi.org/10.17816/clinutr33034>
- Комарова, О. Н., Хавкин А. И. (2017). The role of cereals in human nutrition. *Вопросы детской диетологии*, 15(4), 45–51. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-4-45-51>
- Komarova, O. N., & Khavkin, A. I. (2017). The role of cereals in human nutrition. *Questions of Pediatric Dietetics*, 15(4), 45–51. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-4-45-51>
- Крысанова, Ю. И. (2022). К вопросу о методах оценки концентрации молочного сахара в низко- и безлактозной продукции. *Пищевая промышленность*, 8. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.8.8.017>
- Krysanova, Y. I. (2022). On the methods of evaluating the concentration of milk sugar in low-lactose and lactose-free products. *Food Industry*, 8. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.8.8.017>
- Серебренникова, Е.С., Анисимова, Л. В., Попов Е. В., Земеров А. Е. (2019). Качество зернового сорго. *Современные проблемы и технологии пищевых производств: Сборник трудов конференции* (с. 308–310). Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.
- Serebrennikova, E.S., Anisimova, L.V., Popov, E.V., & Zemerov, A. E. (2019). The quality of grain sorghum. *Modern Problems and Technologies of Food Production: Conference Proceedings* (pp. 308–310). Altai State Technical University named after I.I. Polzunov.
- Харитонов, В. Д., Агаркова, Е. Ю., Кручинин, А. Г., Рязанцева, К. А., Королева, О. В., Федорова, Т. В., Зверева, Е. А., Тяжелова, Т. В., Малошенок, Л. Г., Ревякина, В. А., Георгиева, О. В., Пономарева, Н. В., Мельникова, Е. И., Лаптев, Г. Ю., Ильина, Л. А. (2015). Влияние нового кисломолочного продукта с гидролизатом сывороточных белков на переносимость и динамику проявлений атопического дерматита у детей с аллергией на белки коровьего молока. *Вопросы питания*, 84(5).
- Kharitonov, V. D., Agarkova, E. Y., Kruchinin, A. G., Ryazantseva, K. A., Koroleva, O. V., Fedorova, T. V., Zvereva, E. A., Tyazhelova, T. V., Maloshenok, L. G., Revyakina, V. A., Georgieva, O. V., Ponomareva, N. V., Melnikova, E. I., Laptev, G. Y., & Ilina, L. A. (2015). The influence of a new sour milk product with whey protein hydrolysate on the tolerance and dynamics of atopic dermatitis manifestations in children with an allergy to cow's milk proteins. *Questions of Nutrition*, 84(5).
- Харитонов, В. Д., Будрик, В. Г., Агаркова, Е. Ю., Ботина, С. Г., Березкина, К. А., Кручинин, А.Г., Пономарев, А.Н., Мельникова, Е. И. (2012). К вопросу о перспективных направлениях борьбы с аллергией. *Техника и технология пищевых производств*, 4 (27).
- Kharitonov, V. D., Budrik, V. G., Agarkova, E. Y., Botina, S. G., Berezkina, K. A., Kruchinin, A.G., Ponomarev, A.N., Melnikova, E. I. (2012). On the question of prospective directions in the fight against allergies. *Technique and Technology of Food Production*, 4(27).
- Хуршудян, С.А., & Семенов, Н.Т. (2013). Ресурсосберегающие технологии и инновационные задачи в производстве напитков. *Пищевая промышленность*, 7, 16–17.
- Khurshudyan, S. A., & Semenenko, N. T. (2013). Resource-saving technologies and innovative tasks in beverage production. *Food Industry*, 7, 16–17.
- Abdulwaliyu, I., Arekemase, S. O., Adudu, J. A., Batari, M. L., Eg-bule, M. N., & Okoduwa, S. I. R. (2019). Investigation of the medicinal significance of phytic acid as an indispensable anti-nutrient in diseases. *Clinical Nutrition Experimental*, 28, 42–61. <https://doi.org/10.1016/j.clnex.2019.10.002>
- Achi, O. K., & Asamudo, N. U. (2019). Cereal-Based fermented foods of africa as functional foods. In J.-M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 1527–1558). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_31

- Adebo, O. A., & Medina-Meza, I. G. (2020). Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review. *Molecules*, 25(4), 927. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25040927>
- Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Owolade, S. O., Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2020). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3), 656–669. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1825323>
- Adise, S., Gavdanovich, I., & Zellner, D. A. (2015). Looks like chicken: Exploring the law of similarity in evaluation of foods of animal origin and their vegan substitutes. *Food Quality and Preference*, 41, 52–59. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2014.10.007>
- Ahangaran, M., Afanasev, D. A., Chernukha, I. M., Mashentseva, N. G., & Gharaviri, M. (2022). Bioactive peptides and antinutrients in chickpea: Description and properties (a review). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 183(1), 214–223. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-214-223>
- Ajayi, I. O., Otemuyiwa, I. O., Adeyanju, A. A., & Falade, O. S. (2021). Vegetable polyphenols inhibit starch digestibility and phenolic availability from composite carbohydrate foods in-vitro. *Journal of Agriculture and Food Research*, 3, 100116. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100116>
- Alemayehu, G. F., Forsido, S. F., Tola, Y. B., Teshager, M. A., Assegie, A. A., & Amare, E. (2021). Proximate, mineral and anti-nutrient compositions of oat grains (*Avena sativa*) cultivated in Ethiopia: Implications for nutrition and mineral bioavailability. *Heliyon*, 7(8), e07722. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07722>
- Astley, S., & Finglas, P. (2016). Nutrition and health. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03425-9>
- Atuna, R. A., Ametei, P. N., Bawa, A.-A., & Amagloh, F. K. (2022). Traditional processing methods reduced phytate in cereal flour, improved nutritional, functional and rheological properties. *Scientific African*, 15, e01063. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01063>
- Awulachew, M. T. (2022). A Review of anti-nutritional factors in plant based foods. *Food Science & Nutrition Research, Ethiopian Institute of Agricultural Research*, 7(3), 223–236.
- Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.103975>
- Babiker, E., Abdelseed, B., Hassan, H., & Adiamo, O. (2018). Effect of decortication methods on the chemical composition, antinutrients, Ca, P and Fe contents of two pearl millet cultivars during storage. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 278–286. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01-2018-0005>
- Bahwere, P., Balaluka, B., Wells, J. C., Mbiribindi, C. N., Sadler, K., Akomo, P., Dramaix-Wilmet, M., & Collins, S. (2016). Cereals and pulse-based ready-to-use therapeutic food as an alternative to the standard milk- and peanut paste-based formulation for treating severe acute malnutrition: A noninferiority, individually randomized controlled efficacy clinical trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 103(4), 1145–1161. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.119537>
- Bayless, T. M., Brown, E., & Paige, D. M. (2017). Lactase non-persistence and lactose intolerance. *Current Gastroenterology Reports*, 19(5), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S11894-017-0558-9/FIGURES/1>
- Bekiroglu, H., Goktas, H., Karaibrahim, D., Bozkurt, F., & Sagdic, O. (2022). Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of vegan ice cream produced with fresh and dried walnut milk. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100521. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2022.100521>
- Bocker, R., & Silva, E. K. (2022). Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5, 100098. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100098>
- Bonke, A., Sieuwerts, S., & Petersen, I. L. (2020). Amino acid composition of novel plant drinks from oat, Lentil and pea. *Foods*, 9(4), 429. <https://doi.org/10.3390/FOODS9040429>
- Borin, J. F., Knight, J., Holmes, R. P., Joshi, S., Goldfarb, D. S., & Loeb, S. (2022). Plant-based milk alternatives and risk factors for kidney stones and chronic kidney disease. *Journal of Renal Nutrition*, 32(3), 363–365. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2021.03.011>
- Budhwar, S., Sethi, K., & Chakraborty, M. (2020). Efficacy of germination and probiotic fermentation on underutilized cereal and millet grains. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S43014-020-00026-W/FIGURES/2>
- Bunkar, D., Goyal, S., Meena, K. K., & Kamalvanshi, V. (2021). Nutritional, functional role of Kodo Millet and its processing: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10, 1972–1985.
- Cardello, A. V., Llobell, F., Giacalone, D., Roigard, C. M., & Jaeger, S. R. (2022). Plant-based alternatives vs dairy milk: Consumer segments and their sensory, emo-

- tional, cognitive and situational use responses to tasted products. *Food Quality and Preference*, 100, 104599. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2022.104599>
- Chalupa-Krebsdack, S., Long, C. J., & Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.07.018>
- Clark, B. E., Pope, L., & Belarmino, E. H. (2022). Personal bias in nutrition advice: A survey of health professionals' recommendations regarding dairy and plant-based dairy alternatives. *PEC Innovation*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/J.PECINN.2021.100005>
- Dahdouh, S., Grande, F., Espinosa, S. N., Vincent, A., Gibson, R., Bailey, K., King, J., Rittenschober, D., & Charrondière, U. R. (2019). Development of the FAO/INFOODS/IZ-INCG global food composition database for phytate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 78, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.023>
- Das, A. K., Islam, Md. N., Faruk, Md. O., Ashaduzzaman, Md., & Dungani, R. (2020). Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*, 135, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- de Boer, J., & Aiking, H. (2019). Strategies towards healthy and sustainable protein consumption: A transition framework at the levels of diets, dishes, and dish ingredients. *Food Quality and Preference*, 73, 171–181. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2018.11.012>
- Dey, N., Kumari, N., Bhagat, D., & Bhattacharya, S. (2018). Smart optical probe for 'equipment-free' detection of oxalate in biological fluids and plant-derived food items. *Tetrahedron*, 74(34), 4457–4465. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2018.06.052>
- Dhakal, S., Liu, C., Zhang, Y., Roux, K. H., Sathe, S. K., Balasubramaniam, V. M. (2014). Effect of high pressure processing on the immunoreactivity of almond milk. *Food Research International*, 62, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.021>
- Dhesi, A., Ashton, G., Raptaki, M., & Makwana, N. (2020). Cow's milk protein allergy. *Paediatrics and Child Health*, 30(7), 255–260. <https://doi.org/10.1016/J.PAED.2020.04.003>
- do Nascimento, L. Á., Abhilasha, A., Singh, J., Elias, M. C., & Colussi, R. (2022). Rice germination and its impact on technological and nutritional properties: A review. *Rice Science*, 29(3), 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.01.009>
- Adeyeye, E. I., Olaleye, A. A., Aremu, M. O., Atere, J. O., & Idowu, O. T. (2020). Sugar, antinutrient and food properties levels in raw, fermented and germinated pearl millet grains. *FUW Trends in Science and Technology*, 5(3), 745–758.
- Escobar-Sáez, D., Montero-Jiménez, L., García-Herrera, P., & Sánchez-Mata, M. C. (2022). Plant-based drinks for vegetarian or vegan toddlers: Nutritional evaluation of commercial products, and review of health benefits and potential concerns. *Food Research International*, 160, 111646. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111646>
- Faba-Rodriguez, R., Gu, Y., Salmon, M., Dionisio, G., Brinch-Pedersen, H., Brearley, C. A., & Hemmings, A. M. (2022). Structure of a cereal purple acid phytase provides new insights to phytate degradation in plants. *Plant Communications*, 3(2), 100305. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100305>
- Faris, M. A.-I. E., Takruri, H. R., & Issa, A. Y. (2013). Role of lentils (*Lens culinaris* L.) in human health and nutrition: A review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(1), 3–16. <https://doi.org/10.3233/s12349-012-0109-8>
- Ferruzzi, M. G., Kruger, J., Mohamedshah, Z., Debelo, H., & Taylor, J. R. N. (2020). Insights from in vitro exploration of factors influencing iron, zinc and provitamin A carotenoid bioaccessibility and intestinal absorption from cereals. *Journal of Cereal Science*, 96, 103126. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103126>
- Ganguly, S., Sabikhi, L., & Singh, A. K. (2022). Effect of probiotic fermentation on physico-chemical and nutritional parameters of milk-cereal based composite substrate. *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 3073–3085. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05350-8>
- Graça, J., Truninger, M., Junqueira, L., & Schmidt, L. (2019). Consumption orientations may support (or hinder) transitions to more plant-based diets. *Appetite*, 140, 19–26. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2019.04.027>
- Grases, F., Prieto, R. M., & Costa-Bauza, A. (2017). Dietary Phytate and Interactions with Mineral Nutrients. In O. Gutiérrez, K. Kalantar-Zadeh, & R. Mehrotra (Eds.), *Clinical Aspects of Natural and Added Phosphorus in Foods* (pp. 175–183). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6566-3_12
- Grundy, M. M. L., Momanyi, D. K., Holland, C., Kawaka, F., Tan, S., Salim, M., Boyd, B. J., Bajka, B., Mulet-Cabero, A.-I., Bishop, J., & Owino, W. O. (2020). Effects of grain source and processing methods on the nutritional profile and digestibility of grain amaranth. *Journal of Functional Foods*, 72, 104065. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104065>
- Gulati, P., Li, A., Holding, D., Santra, D., Zhang, Y., & Rose, D. J. (2017). Heating reduces proso millet protein digestibility via formation of hydrophobic aggregates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(9), 1952–1959. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05574>
- Gunawan, S., Dwitasari, I., Rahmawati, N., Darmawan, R., Wirawasista Aparamarta, H., & Widjaja, T. (2022). Effect of process production on antinutritional, nutri-

- tion, and physicochemical properties of modified sorghum flour. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), 104134. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104134>
- Hassan, Z. M., Sebola, N. A., & Mabelebele, M. (2021). The nutritional use of millet grain for food and feed: A review. *Agriculture & Food Security*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>
- Hendek Ertop, M., & Bektaş, M. (2018). Enhancement of bioavailable micronutrients and reduction of antinutrients in foods with some processes. *Food and Health*, 4(3), 159–165. <https://doi.org/10.3153/FH18016>
- Huynh, N. K., Nguyen, D. H. M., & Nguyen, H. V. H. (2022). Effects of processing on oxalate contents in plant foods: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 112, 104685. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104685>
- Ibragimova, Z. A., & Kuluev, B. R. (2020). Molecular basis of food and feed qualities of rye (*Secale cereale*) grain. *Biomics*, 12(1), 8–26. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-2>
- Ignat, M. V., Salanță, L. C., Pop, O. L., Pop, C. R., Tofană, M., Mudura, E., Coldea, T. E., Borșa, A., & Pasqualone, A. (2020). Current functionality and potential improvements of non-alcoholic fermented cereal beverages. *Foods*, 9(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/foods9081031>
- Jaeger, S. R., & Giacalone, D. (2021). Barriers to consumption of plant-based beverages: A comparison of product users and non-users on emotional, conceptual, situational, conative and psychographic variables. *Food Research International*, 144, 110363. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110363>
- Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 26–33. <https://doi.org/10.1007/S11130-016-0583-0>
- Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2018). Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, 110, 42–51. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.03.045>
- Joye, I. (2019). Protein digestibility of cereal products. *Foods*, 8(6), 199. <https://doi.org/10.3390/FOODS8060199>
- Kaiser, N., Douches, D., Dhingra, A., Glenn, K. C., Herzig, P. R., Stowe, E. C., & Swarup, S. (2020). The role of conventional plant breeding in ensuring safe levels of naturally occurring toxins in food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.042>
- Karmakar, A., Bhattacharya, S., Sengupta, S., Ali, N., Sarkar, S. N., Datta, K., & Datta, S. K. (2020). RNAi-Mediated silencing of ITPK gene reduces phytic acid content, alters transcripts of phytic acid biosynthetic genes, and modulates mineral distribution in rice seeds. *Rice Science*, 27(4), 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2020.05.007>
- Kaur, M., Asthir, B., & Mahajan, G. (2017). Variation in antioxidants, bioactive compounds and antioxidant capacity in germinated and ungerminated grains of ten rice cultivars. *Rice Science*, 24(6), 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.08.002>
- Kaur, P., Purewal, S. S., Sandhu, K. S., Kaur, M., & Salar, R. K. (2019). Millets: A cereal grain with potent antioxidants and health benefits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 793–806. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9992-0>
- Komarova, O. N., & Khavkin, A. (2017). The role of cereals in human nutrition. *Voprosy Detskoi Dietologii*, 15, 45–51. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-4-45-51>
- Konozy, E., Osman, M., & Dirar, A. (2022). Plant lectins as potent anti-coronaviruses, anti-inflammatory, antinociceptive and antiulcer agents. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 103301. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103301>
- López-Moreno, M., Garcés-Rimón, M., & Miguel, M. (2022). Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe? *Journal of Functional Foods*, 89, 104938. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2022.104938>
- Mäkelä, N., Rosa-Sibakov, N., Wang, Y.-J., Mattila, O., Nordlund, E., & Sontag-Strohm, T. (2021). Role of β -glucan content, molecular weight and phytate in the bile acid binding of oat β -glucan. *Food Chemistry*, 358, 129917. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129917>
- Mäkinen, O. E., Uniacke-Lowe, T., O'Mahony, J. A., & Arendt, E. K. (2015). Physicochemical and acid gelation properties of commercial UHT-treated plant-based milk substitutes and lactose free bovine milk. *Food Chemistry*, 168, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.036>
- Manzoor, M. F., Siddique, R., Hussain, A., Ahmad, N., Rehman, A., Siddeeg, A., Alfarga, A., Alshammari, G. M., & Yahya, M. A. (2021). Thermosonication effect on bioactive compounds, enzymes activity, particle size, microbial load, and sensory properties of almond (*Prunus dulcis*) milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105705. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105705>
- Manzoor, M., Singh, D., Kumar Aseri, G., Sohal, J. S., Vij, S., & Sharma, D. (2021). Role of lacto-fermentations in reduction of antinutrients in plant-based foods. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 9(3). <https://doi.org/10.7324/JABB.2021.9302>
- Martemucci, G., Portincasa, P., Di Ciaula, A., Mariano, M., Centonze, V., & D'Alessandro, A. G. (2022). Oxidative stress, aging, antioxidant supplementation and their impact on human health: An overview. *Mech-*

- isms of Ageing and Development, 206, 111707. <https://doi.org/10.1016/J.MAD.2022.111707>
- Masisi, K., Beta, T., & Moghadasian, M. H. (2016). Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies. *Food Chemistry*, 196, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>
- Mishra, A., Behura, A., Mawatwal, S., Kumar, A., Naik, L., Mohanty, S. S., Manna, D., Dokania, P., Mishra, A., Patra, S. K., & Dhiman, R. (2019). Structure-function and application of plant lectins in disease biology and immunity. *Food and Chemical Toxicology*, 134, 110827. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2019.110827>
- Mohapatra, D., Patel, A. S., Kar, A., Deshpande, S. S., & Tripathi, M. K. (2019). Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum. *Food Chemistry*, 271, 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.196>
- Munekata, P. E. S., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Mallikarjunan, K., Roohinejad, S., & Lorenzo, J. M. (2020). Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/foods9030288>
- Mylan, J., Morris, C., Beech, E., & Geels, F. W. (2019). Rage against the regime: Niche-regime interactions in the societal embedding of plant-based milk. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 233–247. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2018.11.001>
- Nath, H., Samtiya, M., & Dhewa, T. (2022). Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition & Metabolism*, 28, 200147. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2022.200147>
- Nikbakht Nasrabadi, M., Sedaghat Doost, A., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
- Nissar, J., Ahad, T., & Rashid Naik, H. (2017). A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical Design and development of hand operated and power operated walnut cracker View project Post Harvest Technology View project. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 1554–1560.
- Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J. B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2446–2458. <https://doi.org/10.1002/FSN3.846>
- Oke, E. K., Ayofemi, S., Adeyeye, O., & Olorode, O. O. (2022). Complementary Foods and Its Processing Methods: A Review. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 14(1), 5. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2022.14.1.05>
- Olawaye, B. T., & Gbadamosi, S. O. (2017). Effect of different treatments on in vitro protein digestibility, antinutrients, antioxidant properties and mineral composition of *Amaranthus viridis* seed. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1296402>
- Patra, T., Rinnan, Å., & Olsen, K. (2021). The physical stability of plant-based drinks and the analysis methods thereof. *Food Hydrocolloids*, 118, 106770. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.106770>
- Pei, R., Liu, X., & Bolling, B. (2020). Flavonoids and gut health. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 153–159. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2019.12.018>
- Penha, C. B., Santos, V. D. P., Speranza, P., & Kurozawa, L. E. (2021). Plant-based beverages: Ecofriendly technologies in the production process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 72, 102760. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102760>
- Petroski, W., & Minich, D. M. (2020). Is there such a thing as “anti-nutrients”? A narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*, 12(10), 2929. <https://doi.org/10.3390/NU12102929>
- Pineli, L. de L. de O., Botelho, R. B. A., Zandonadi, R. P., Solorzano, J. L., de Oliveira, G. T., Reis, C. E. G., & Teixeira, D. da S. (2015). Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT — Food Science and Technology*, 63(2), 1261–1267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094>
- Popova, A., & Mihaylova, D. (2019). Antinutrients in plant-based foods: A review. *The Open Biotechnology Journal*, 13(1), 68–76. <https://doi.org/10.2174/1874070701913010068>
- Poutanen, K. S., Kårlund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M., Eriksen, A. K., Silventoinen, P. C., Nordlund, E., Sozer, N., Hanhineva, K. J., Kolehmainen, M., & Landberg, R. (2022). Grains — a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1648–1663. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab084>
- Punniyamoorthy, S., Kanchana, S., Maheswari, U., & Ganapathy-swamy, H. (2020). Optimization of parameters for the extraction of millet milk for product development. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9(6), 1345–1349.
- Quattrini, M., Bernardi, C., Stuknytė, M., Masotti, F., Passera, A., Ricci, G., Vallone, L., De Noni, I., Brasca, M., & Fortina, M. G. (2018). Functional characterization of *Lactobacillus plantarum* ITEM 17215: A potential biocontrol agent of fungi with plant growth promoting traits, able to enhance the nutritional value of cereal products. *Food Research International*, 106, 936–944. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.01.074>

- Raes, Katleen, Dries Knockaert, Karin Struijs, and John Van Camp. 2014. 'Role of processing on bioaccessibility of minerals: Influence of localization of minerals and anti-nutritional factors in the plant'. *Trends in Food Science & Technology*, 37(1), 32–41.
- Raguindin, P. F., Adam Itodo, O., Stoyanov, J., Dejanovic, G. M., Gamba, M., Asllanaj, E., Inder, B., Bussler, W., Metzger, B., Muka, T., Glisic, M., & Kern, H. (2021). A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food Chemistry*, 338, 127982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127982>
- Rasika, D. M., Vidanarachchi, J. K., Rocha, R. S., Balthazar, C. F., Cruz, A. G., Sant'Ana, A. S., & Ranadheera, C. S. (2021). Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Current Opinion in Food Science*, 38, 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.025>
- Ray, M., Ghosh, K., Singh, S., & Chandra Mondal, K. (2016). Folk to functional: An explorative overview of rice-based fermented foods and beverages in India. *Journal of Ethnic Foods*, 3(1), 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2016.02.002>
- Rincon, L., Braz Assunção Botelho, R., & de Alencar, E. R. (2020). Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *LWT — Food Science and Technology*, 128, 109479. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109479>
- Rodríguez-España, M., Figueroa-Hernández, C. Y., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Rayas-Duarte, P., & Hernández-Estrada, Z. J. (2022). Effects of germination and lactic acid fermentation on nutritional and rheological properties of sorghum: A graphical review. *Current Research in Food Science*, 5, 807–812. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.04.014>
- Ruby, M. B. (2012). Vegetarianism. A blossoming field of study. *Appetite*, 58(1), 141–150. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2011.09.019>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S43014-020-0020-5>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Puniya, A. K., & Dhewa, T. (2021). Enhancing micronutrients bioavailability through fermentation of plant-based foods: A concise review. *Fermentation*, 7(2), 63. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION7020063>
- Santa María, C., Revilla, E., Rodríguez-Morgado, B., Castaño, A., Carbonero, P., Gordillo, B., Cert, R., & Parrado, J. (2016). Effect of rice parboiling on the functional properties of an enzymatic extract from rice bran. *Journal of Cereal Science*, 72, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.010>
- Sarangapany, A. K., Murugesan, A., Annamalai, A. S., Balasubramanian, A., & Shanmugam, A. (2022). An overview on ultrasonically treated plant-based milk and its properties — A review. *Applied Food Research*, 2(2), 100130. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100130>
- Schiano, A. N., Nishku, S., Racette, C. M., & Drake, M. A. (2022). Parents' implicit perceptions of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 4946–4960. <https://doi.org/10.3168/JDS.2021-21626>
- Sharp, E., D'Cunha, N. M., Ranadheera, C. S., Vasiljevic, T., Panagiotakos, D. B., & Naumovski, N. (2021). Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic review. *International Dairy Journal*, 114, 104936. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2020.104936>
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y., & Bao, J. (2009). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.010>
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>
- Silva, B. Q., & Sergiy, S. (2022). Review on milk substitutes from an environmental and nutritional point of view. *Applied Food Research*, 100105. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100105>
- Silva, J. G. S., Rebellato, A. P., Caramês, E. T. dos S., Greiner, R., & Pallone, J. A. L. (2020). In vitro digestion effect on mineral bioaccessibility and antioxidant bioactive compounds of plant-based beverages. *Food Research International*, 130, 108993. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.108993>
- Singhal, S., Baker, R. D., & Baker, S. S. (2017). A comparison of the nutritional value of cow's milk and nondairy beverages. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 64(5), 799–805. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001380>
- Stewart, H., Kuchler, F., Cessna, J., & Hahn, W. (2020). Are plant-based analogues replacing cow's milk in the American diet? *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 52(4), 562–579. <https://doi.org/10.1017/AEE.2020.16>
- Suneetha, J., Naga, M., Srujana, S., Kumari, A., & Prathyusha, P. (2019). Processing technologies and health benefits of quinoa. *The Pharma Innovation Journal*, 8(5), 155–160.
- Tangyu, M., Muller, J., Bolten, C. J., & Wittmann, C. (2019). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23), 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
- Tello, A., Aganovic, K., Parniakov, O., Carter, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2021). Product development and environmental impact of an insect-based milk alternative. *Future Foods*, 4, 100080. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100080>

- Tsarakidou, P., Michaelidou, A.-M., & G. Biliaderis, C. (2020). Fermented cereal-based products: Nutritional aspects, possible impact on gut microbiota and health implications. *Foods*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/foods9060734>
- Vaikma, H., Kaleda, A., Rosend, J., & Rosenvall, S. (2021). Market mapping of plant-based milk alternatives by using sensory (RATA) and GC analysis. *Future Foods*, 4, 100049. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100049>
- Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
- Verduci, E., D'Elios, S., Cerrato, L., Comberiati, P., Calvani, M., Palazzo, S., Martelli, A., Landi, M., Trikamjee, T., & Peroni, D. G. (2019). Cow's milk substitutes for children: Nutritional aspects of milk from different mammalian species, special formula and plant-based beverages. *Nutrients*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/nu11081739>
- Verni, M., Demarinis, C., Rizzello, C. G., & Baruzzi, F. (2020). Design and characterization of a novel fermented beverage from lentil grains. *Foods*, 9(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods9070893>
- Wang, H., Huang, X., Tan, H., Chen, X., Chen, C., & Nie, S. (2022). Interaction between dietary fiber and bifidobacteria in promoting intestinal health. *Food Chemistry*, 393, 133407. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133407>
- Wilson, J. (2005). Milk intolerance: Lactose Intolerance and cow's milk protein allergy. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 5(4), 203–207. <https://doi.org/10.1053/J.NAINR.2005.08.004>
- Xiang, H., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I. N., Cui, C., & Ruan, Z. (2019). Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 203–243. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.003>
- Yadav, S., Mishra, S., & Pradhan, R. C. (2021). Ultrasound-assisted hydration of finger millet (Eleusine Coracana) and its effects on starch isolates and antinutrients. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105542. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105542>
- Youssef, M., Lafarge, C., Valentin, D., Lubbers, S., & Husson, F. (2016). Fermentation of cow milk and/or pea milk mixtures by different starter cultures: Physico-chemical and sensorial properties. *LWT — Food Science and Technology*, 69, 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.060>
- Ziarno, M., & Cichońska, P. (2021). Lactic Acid Bacteria-Fermentable Cereal- and Pseudocereal-Based Beverages. *Microorganisms*, 9(12), 2532. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9122532>