

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-261-269>

Поступила 13.02.2026

Поступила после рецензирования 01.06.2026

Принята в печать 04.06.2026

© Посокина Н. Е., Захарова А. И., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Открытый доступ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Посокина Н. Е.*, Захарова А. И.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования,
Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

каприловая кислота,
лимонная кислота,
надуксусная кислота,
лизоцим, глюконо-
дельта-лактон,
натамицин, хитозан,
низин

В современной пищевой индустрии наблюдается тенденция к росту спроса на продукты с минимальной технологической обработкой. Покупатели все активнее выбирают минимально обработанные продукты питания, поскольку их употребление приносит значительную пользу для здоровья. Это явление обусловлено ростом потребительского интереса к здоровому питанию. Ключевая ценность таких продуктов определяется высоким содержанием пищевых волокон, макро- и микроэлементов, а также биологически активных соединений. Сохранение качества продуктов с минимальной обработкой в процессе хранения представляет собой серьезную задачу. Например, будучи скоропортящимися, фрукты и овощи в редких случаях способны сохранять качество при комнатной температуре, что вынуждает производителей разрабатывать эффективные методы сохранения их свежести и питательной ценности. При промышленной переработке даже минимальные технологические операции инициируют биохимические процессы, негативно влияющие на сохранность продукции. Эти процессы запускают нежелательные изменения: продукты начинают темнеть, активнее выделяют этилен, повышается интенсивность дыхания, возникает риск развития вредных микроорганизмов. Все эти процессы снижают товарный вид, пищевую ценность и срок годности продукции. Поскольку люди все чаще выбирают натуральную еду, становится особенно важно находить безопасные способы сохранения продуктов. В условиях ужесточения нормативных требований особую актуальность приобретает разработка органических консервантов и создание рецептур с маркировкой «чистая этикетка», предполагающей минимальный состав и отсутствие синтетических добавок. Оптимизация сохранности минимально обработанных пищевых продуктов представляет собой комплексную научно-технологическую задачу, требующую интеграции знаний из области пищевой химии, микробиологии и биотехнологии. В современных условиях наиболее перспективной стратегией выступает синергетическое комбинирование различных классов биологически активных соединений, включающих ферментные ингибиторы, антимикробные пептиды, природные эфирные масла, органические кислоты и синтезированные биоциды с установленным профилем безопасности. Такой подход базируется на принципе создания многоуровневых барьерных систем, где каждый компонент вносит вклад в подавление ключевых механизмов порчи, микробной контаминации, окислительных реакций и ферментативной деградации. Рациональное комбинирование биотехнологических веществ и природных соединений формирует методологическую основу для создания инновационных решений в области сохранности пищевых продуктов. Данный подход не только отвечает современным требованиям к натуральности и безопасности, но и открывает перспективы для разработки продуктов с увеличенными сроками годности при сохранении их пищевой ценности и потребительских свойств. Целью данного обзора являлось рассмотрение современных биотехнологических препаратов и методов их применения для улучшения качества и продления срока годности пищевых продуктов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования проводились в рамках государственного задания ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова».

Received 13.02.2026

Accepted in revised 01.06.2026

Accepted for publication 04.06.2026

© Posokina N. E., Zakharova A. I. 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

MODERN BIOTECHNOLOGICAL SUBSTANCES FOR FOOD SYSTEM PROCESSING

Natalia E. Posokina*, Anna I. Zakharova

All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology, Vidnoe, Moscow region, Russia

KEYWORDS:

caprylic acid, citric
acid, peracetic acid,
lysozyme, glucono-
delta-lactone,
natamycin, chitosan,
nisin

ABSTRACT

The modern food industry is seeing a growing demand for minimally processed foods. Consumers are increasingly choosing minimally processed foods because of their significant health benefits. This trend is driven by growing consumer interest in healthy eating. The key value of such products lies in their high content of dietary fiber, macro- and micronutrients, and bioactive compounds. Maintaining the quality of minimally processed foods during storage is a significant challenge. For example, fruits and vegetables, being perishable, rarely retain their quality at room temperature, forcing producers to develop effective methods for preserving their freshness and nutritional value. During industrial processing, even minimal technological operations initiate biochemical processes that negatively impact product shelf life. These processes trigger undesirable changes: products begin to darken, produce increased ethylene, respire more rapidly, and develop the risk of harmful micro-organism growth. All of these processes reduce the product's presentation, nutritional value, and shelf life. As people increasingly choose natural foods, finding safe ways to preserve food is becoming increasingly important. In the face of increasingly stringent regulatory requirements, the development of organic preservatives and clean-label formulations, which require minimal ingredients and the absence of synthetic additives, is becoming increasingly important. Optimizing the shelf life of minimally processed foods is a complex scientific and technological challenge that requires the integration of knowledge from food chemistry, microbiology, and biotechnology. Under current conditions, the most promising strategy is the synergistic

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Посокина, Н. Е., Захарова, А. И. (2026). Современные препараты биотехнологического происхождения для обработки пищевых систем. *Пищевые системы*, 9(2), 261–269. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-261-269>

FOR CITATION: Posokina, N. E., Zakharova, A. I. (2026). Modern biotechnological substances for food system processing. *Food Systems*, 9(2), 261–269. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-261-269>

combination of various classes of biologically active compounds, including enzyme inhibitors, antimicrobial peptides, natural essential oils, organic acids, and synthetic biocides with an established safety profile. This approach is based on the principle of creating multi-layered barrier systems, where each component contributes to the suppression of key spoilage mechanisms, microbial contamination, oxidative reactions, and enzymatic degradation. The rational combination of biotechnological substances and natural compounds forms a methodological basis for the development of innovative food preservation solutions. This approach not only meets modern requirements for naturalness and safety but also opens up prospects for developing products with extended shelf lives while maintaining their nutritional value and consumer properties. The purpose of this review was to examine modern biotechnological products and methods for their application to improve the quality and extend the shelf life of food products.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2024-0004 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Покупатели все чаще отказываются от переработанных товаров в пользу продуктов, прошедших минимальную обработку. Это обусловлено растущим запросом на сохранение нутриентов и нехваткой времени для самостоятельной кулинарной обработки сырья [1–3]. Потребители осознают, что щадящие технологии позволяют оставить в продукте витамины, клетчатку и биоактивные соединения, играющие важную роль в профилактике метаболических и сердечно-сосудистых заболеваний [4–7]. Параллельно многие традиционные синтетические добавки попадают под ограничения, а ритейлеры и покупатели требуют маркировки «clean label». В результате производители вынуждены заменять химические консерванты на соединения природного или биотехнологического происхождения [8]. Простое замещение редко обеспечивает нужный срок годности, поэтому индустрия переходит к комбинированным схемам: ферменты, бактериоцины и органические кислоты применяются вместе с физико-технологическими приемами (УФ-обработка, ультразвук, модифицированная атмосфера, мягкий нагрев). Главный технический барьер при масштабировании таких решений заключается не в подборе концентрации, а в предсказуемости взаимодействия активных веществ с белково-жировыми и углеводными матрицами продукта. В данном обзоре систематизированы актуальные данные по применению биотехнологических консервантов на этапе первичной переработки сырья. Проведен сравнительный анализ их технологической совместимости, производственного ограничения и соответствия нормативным требованиям. На основе собранной информации сформулированы рекомендации по адаптации этих решений в промышленных рецептурах и обозначены направления, требующие дальнейших экспериментальных исследований.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись нормативные документы и научные публикации отечественных и зарубежных авторов по теме современных биотехнологических методов обработки сырья. Данные собирались с помощью платформ eLibrary.ru, Scopus, ResearchGate, а также открытых интернет-ресурсов. При поиске публикаций применялись различные комбинации ключевых слов: *каприловая кислота*, *лимонная кислота*, *лизоцим*, *надуксусная кислота*, *глюконо-дельта-лактон*, *натамицин*, *хитозан*, *низин*. На этапе отбора исключались материалы без доступных полных текстов научных работ. Основная часть проанализированных публикаций охватывает периоды с 2021 по 2025 годы.

3. Каприловая кислота

Каприловая кислота (октановая кислота) — натуральная насыщенная жирная кислота, которая встречается в кокосовом и пальмовом маслах, а также в молоке некоторых млекопитающих. В пищевой промышленности она используется как безопасный консервант (Е 295). Каприловая кислота помогает продлевать срок годности продуктов, препятствуя росту вредных микроорганизмов (бактерий, грибов и плесеней). Антимикробные свойства кислоты нарушают целостность клеточных мембран патогенных микроорганизмов, замедляя их размножение. В отличие от синтетических консервантов каприловая кислота не придает постороннего привкуса и не меняет основные органолептические показатели продуктов. Кроме того, она устойчива при умеренном нагревании и хорошо совмещается с другими натуральными ингредиентами. Таким образом, каприловая кислота выступает эффективной и безопасной альтернативой химическим консервантам, она позволяет увеличить срок хранения пищевых продуктов, сохраняя их качество. В пищевой отрасли каприловую кислоту чаще всего применяют при производстве молочной продукции и кондитерских изделий [9,10]. В исследовании [11] изучалась эффективность покрытий на основе пектина с добавле-

нием каприловой кислоты и других фитохимических веществ для снижения содержания сальмонеллы в куриных яйцах. Было обнаружено, что комбинация пектина с каприловой и капроновой кислотами и куминальдегидом (каждый по 0,5 %) наиболее эффективна для снижения количества бактерий. Бактерицидный эффект обусловлен липофильностью молекулы. В недиссоциированной форме кислота проникает через цитоплазматическую мембрану, вызывая внутриклеточный ацидоз и нарушая метаболизм патогенов. Оптимальная антимикробная активность достигается при $\text{pH} < 5,5$, когда преобладает неионизированная фракция, способная диффундировать в клетку [12–15]. В отличие от сильных синтетических консервантов, каприловая кислота не искажает органолептический профиль продукта, термостабильна в диапазоне пастеризационных температур и совместима с гидроколлоидными системами. В исследовании [16] изучали бактерицидную активность каприловой и лимонной кислот в отношении патогенного штамма *Escherichia coli* O157: H7 и естественной микробиоты свежего непастеризованного морковного сока. Экспериментальная обработка продукта осуществлялась посредством комбинированного применения каприловой и лимонной кислот при умеренно повышенной температуре. В ходе эксперимента тестировались растворы кислот в концентрации 5,0 мМ каждой при экспозиции 5 мин и температуре 50 °С. Полученные результаты продемонстрировали эффективность предложенного метода, который привел к снижению популяции *E. coli* O157: H7 и к уменьшению численности эндогенной микрофлоры. Помимо микробиологического эффекта, обработка оказала положительное влияние на органолептические показатели продукта. Также было отмечено улучшение цветовой характеристики сока. Результаты исследования показали перспективность применения низких концентраций каприловой и лимонной кислот в технологии обработки непастеризованного морковного сока. Данный подход обеспечивает эффективное снижение микробной обсемененности продукта при сохранении его качественных характеристик.

4. Лимонная кислота

Лимонная кислота представляет собой природную органическую кислоту, широко распространенную в растительном мире. Она содержится в значительных количествах в цитрусовых, а также в ананасах, клюкве, гранатах, табачных и хвойных растениях. В пищевой промышленности лимонная кислота зарегистрирована под кодом Е 330 и широко используется в качестве пищевой добавки при производстве разнообразной продукции. Например, ее применяют в процессе изготовления безалкогольных напитков, кондитерских изделий, консервированных продуктов, а также сухих пищевых смесей [17,18]. Благодаря своим химическим свойствам лимонная кислота в составе пищевых продуктов выполняет ряд значимых технологических функций. Прежде всего, она выступает эффективным регулятором кислотности. Понижая pH среды, она помогает сбалансировать вкусовой профиль продукта, что представляет особую ценность при производстве газированных и фруктовых напитков, кондитерских изделий (джемов, мармеладов, конфитюров), майонезов и соусов. Также лимонная кислота проявляет свойства хелатирующего агента. Она образует стабильные координационные соединения с ионами металлов, катализирующих окислительные реакции. Подавляя процессы окисления жиров и пигментов, она способствует сохранению органолептических характеристик и пищевой ценности продуктов [19,20]. Одновременно с этим лимонная кислота действует как консервант. Снижение pH ингибирует пролиферацию широкого спектра патогенных микроорганизмов, включая бактериальные клетки, дрожжевые культуры и плесневые грибы, что объективно способствует увеличению сроков годности пищевой продукции. Исследования подтверждают, что в кислой среде замедляется активность ферментов, ответственных за порчу продуктов [21,22].

Процесс закисления, индуцируемый введением лимонной кислоты, имеет принципиальное значение для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции, в особенности скоропортящейся, к которой относятся фрукты, фруктовые соки и молочная продукция [23]. Кроме того, лимонная кислота проявляет синергический эффект в сочетании с другими консервантами, например, с бензоатами и сорбатами. Она усиливает их антимикробное действие, что позволяет снизить дозировки синтетических добавок [24]. Для применения в пищевой промышленности лимонная кислота как пищевая добавка прошла всестороннюю оценку безопасности (GRAS). Также для лимонной кислоты не установлено ограничений по величине допустимой суточной дозы, что свидетельствует о ее благоприятном профиле безопасности при использовании в регламентированных технологических дозировках [25,26]. Аналогичный статус GRAS присвоен и ряду производных соединений лимонной кислоты, разрешенных к применению в пищевой индустрии. В перечень таких соединений входят: цитрат кальция, цитрат железа, цитрат марганца, цитрат натрия, цитрат диаммония, изопропилцитрат калия и стеарилцитрат. Данный факт демонстрирует расширенные возможности применения химических модификаций лимонной кислоты в качестве пищевых добавок, подходящих с точки зрения безопасности для здоровья человека [27]. Обработка свежесрезанного ломтиков китайского водяного ореха, популярного азиатского продукта, 1%-ным раствором хитозана в сочетании с лимонной кислотой привела к существенному снижению потери цветности. При применении раствора лимонной кислоты с молярной концентрацией 0,1 М зафиксировано увеличение срока годности продукта и сохранение его органолептических характеристик. Кроме того, отмечено ингибирование ферментативной активности полифенолоксидазы, ответственной за окислительные процессы, приводящие к потемнению растительной ткани [28]. Послеуборочное хранение черимой (*Annona cherimola*) сопряжено с быстрым ухудшением качества: мякоть стремительно темнеет, теряет упругость и переходит в стадию перезревания. Исследования показали, что нанесение хитозанового покрытия с добавлением лимонной кислоты замедляет эти процессы. В течение минимум шести суток уровень микробиологической порчи в обработанных партиях оставался значительно ниже, чем в контрольной группе, а визуальный и органолептический анализ подтвердил сохранение товарного вида плодов [29]. Альтернативный подход заключается во встраивании лимонной кислоты в активную упаковку. За счет дозированной миграции соединения в поверхностный слой формируется локальная кислая среда, которая подавляет размножение патогенов и продлевает срок хранения без прямого контакта кислоты с продуктом [30]. В эксперименте [31] получили композитные пленки на основе хитозан-желатиновой смеси, обогащенные лимонной и аскорбиновой кислотами. Такое сочетание позволило совместить барьерные свойства полимера с усиленным антиоксидантным и антимикробным действием, что перспективно для упаковки скоропортящегося растительного сырья. Пленки продемонстрировали антимикробную активность против *S. aureus* при содержании 2% лимонной кислоты и 2% аскорбиновой кислоты. Таким образом, пленки с 2% лимонной кислоты оказались перспективны для упаковки продуктов, подверженных заражению *S. aureus*. По сравнению с синтетическими аналогами лимонная кислота обладает рядом преимуществ. Она термостабильна и сохраняет свои свойства при нагревании до 175 °С, при этом, будучи биоразлагаемой, она не накапливается в окружающей среде. Лимонная кислота может быть получена биотехнологическим путем, например, посредством ферментации сахаросодержащих субстратов грибом *Aspergillus niger*, а при рекомендованных дозировках не искажает органолептические свойства продуктов [32]. Интеграция лимонной кислоты в рецептуры пищевых систем позволяет формировать локализованный кислотно-консервирующий барьер, минимизируя прямое внесение синтетических добавок. Сочетание хелатирующей активности, регуляции pH и ингибирования ферментативной деградации обеспечивает пролонгацию сроков годности. Применение лимонной кислоты позволяет улучшить органолептические характеристики продуктов, снизить потребность в синтетических консервантах, а также сохранить питательные свойства продуктов. Таким образом, лимонная кислота выступает многофункциональной пищевой добавкой, сочетающей эффективность, безопасность и натуральность.

5. Надуксусная кислота

Надуксусная кислота (НУК) применяется в пищевой промышленности в качестве высокоэффективного дезинфицирующего средства для обработки сырья и упаковочных материалов [33,34]. Противомик-

робное действие обусловлено окислением липидов и белков клеточных мембран, что обеспечивает инактивацию широкого спектра патогенов, включая грамположительные и грамотрицательные бактерии, в том числе *Listeria*, *Salmonella*, *E. coli*, дрожжи, грибы и споры. При этом НУК сохраняет активность в широком диапазоне температур (0–40 °С) и pH (3,0–7,5) [35,36]. Важным преимуществом НУК является ее способность разлагаться на безопасные компоненты (уксусную кислоту, воду и кислород), что обеспечивает отсутствие токсичных остатков на поверхности продукта. В промышленности НУК применяется для снижения микробной обсемененности тушек птицы, подавления образования биопленок, дезинфекции воды и санитарной обработки упаковки [37–39]. В исследовании [40] капусту кале обрабатывали НУК в концентрации 20 мг/л в комбинации с ультразвуком (50 кГц). Комбинированное воздействие ультразвука и НУК при температуре 35 °С обеспечило снижение аэробных мезофильных микроорганизмов на 2,4 log КОЕ/г, количество колиформных бактерий снизилось на 2,6 log КОЕ/г, плесневых грибов и дрожжей — на 2,4 log КОЕ/г. При этом достигнутый уровень микробной обсемененности оставался стабильным в течение всего срока хранения. Важным преимуществом НУК является отсутствие негативного влияния на ключевые качественные характеристики продукта, такие как титруемая кислотность, потеря массы, содержание витамина С и фенольных соединений. НУК, особенно в сочетании с ультразвуком, выступает перспективной альтернативой, обеспечивая эффективное подавление патогенной микрофлоры без ущерба для пищевой ценности и органолептических свойств капусты кале.

Для готовых к употреблению овощных салатов, не подлежащих термообработке, эффективность НУК сравнивали с традиционной обработкой гипохлоритом натрия (ГН) [41–43]. Органолептический анализ показал, что уже к 15-м суткам хранения образцы, обработанные НУК, превосходили образцы, обработанные ГН, по сохранению товарного вида и отсутствию посторонних запахов. Это подтверждает целесообразность замены хлорсодержащих реагентов на НУК. В исследовании [44] оценивали антимикробную активность НУК и ее комбинацию с сернокислотным поверхностно-активным веществом (СПАВ) против *L. monocytogenes* на поверхности целых дынь. Все варианты обработки с НУК и НУК-СПАВ обеспечивали статистически значимое ($P < 0,05$) снижение численности *L. monocytogenes* по сравнению с обработкой проточной водой. Антимикробная активность комплекса НУК-СПАВ в целом соответствовала эффективности чистой НУК той же концентрации, однако в отдельных образцах наблюдалось полное подавление патогена.

Несколько исследований были посвящены вопросу воздействия НУК на *L. monocytogenes* на примере яблок. Было установлено, что антимикробная эффективность комбинации НУК + ЛАЭ возросла с повышением концентрации компонентов и температуры обработки. Сочетание НУК (80 мг/кг) с лауриновой кислотой (ЛАЭ) (0,05%) при температуре 46 °С оказалось наиболее эффективным и обеспечивало синергетический бактерицидный эффект. Так, 30- и 120-секундная экспозиция снижали популяцию патогена на 2,10 и на 2,58 log₁₀ КОЕ/яблоко соответственно [45]. В другом исследовании [46] изучали обработку яблок НУК в комбинации с ультрафиолетовым излучением. Обработку проводили в течение 5 мин, это инактивировало *L. monocytogenes* до пределов обнаружения (3,30 log КОЕ/2000 мл и 2,0 log КОЕ/яблоко). После обработки НУК/УФ-излучением сохранялись цвет или твердость яблок ($p > 0,05$). Суммируя экспериментальные данные, можно утверждать, что НУК представляет собой технологически гибкий препарат для щадящей дезинфекции растительного сырья. Ее интеграция в физико-химические комбинированные протоколы позволит достигать заданных уровней микробиологической безопасности без деградации нутритивного и органолептического профиля, что соответствует современным требованиям к переработке.

6. Лизоцим

Лизоцим — природный фермент, обладающий выраженной бактерицидной активностью, который получил широкое распространение в пищевой промышленности в качестве натурального консерванта [47–49]. Этот фермент, широко распространенный в природе, особенно эффективен против грамположительных бактерий. Его консервирующее действие связано со способностью подавлять рост патогенных микроорганизмов, что позволяет существенно продлевать сроки годности пищевой продукции. Лизоцим применяется при производстве и хранении свежих овощей и фруктов, мясных изделий, морепродуктов, колбас, а также ряда полутвердых сыров. Активность фермента зависит от ряда факторов: pH, температуры, содержания солей и присутствия усиливающих веществ [50]. Хотя лизоцим изначально менее эффективен против грамотрицательных

бактерий, их чувствительность можно повысить с помощью специальных методов обработки [51,52]. Для усиления его действия в отношении данной группы микроорганизмов предложена комбинация с лактоферрином. В рамках эксперимента оба белка были включены в бумагу, содержащую карбоксиметилцеллюлозу, что обеспечило нековалентное связывание положительно заряженных белков. В процессе эксплуатации происходило контролируемое высвобождение белков, при этом они сохраняли исходные структурные и функциональные характеристики, включая антимикробную активность против ключевых пищевых патогенов.

Эксперименты с использованием бумаги, содержащей оба белка, выявили синергетический эффект при воздействии на листерии. Аналогичные исследования с тонкими ломтиками мяса, размещенными на бумаге с антимикробными белками, подтвердили высокую эффективность лизоцима против данных микроорганизмов [51]. Перспективным направлением является создание съедобных антимикробных покрытий на основе комплексов лизоцима с альгинатом натрия. Такие пленки демонстрируют избирательную активность в отношении микроорганизмов, чувствительных к лизоциму [53]. Усиление бактерицидной активности лизоцима сегодня достигается не за счет увеличения концентраций, а через направленную молекулярную настройку. Изменение поверхностного заряда, коррекция ионных характеристик и точечная модификация каталитических аминокислотных остатков позволяют ферменту эффективнее связываться с пептидогликановым слоем и липидными мембранами бактерий, ускоряя их лизис. Такие подходы формируют базу для новых антибактериальных систем с расширенным спектром действия, способных работать в сложных пищевых системах [54].

Одним из практических результатов стала разработка активной упаковки с интегрированным лизоцимом. В работе [55] описана нанозимная гидрогелевая пленка, объединяющая механическую защиту, антиоксидантные и антимикробные функции. Высокая прочность материала минимизирует микроповреждения фруктов при логистике, а встроенные УФ-фильтры и кислородный барьер тормозят окислительные реакции. Лабораторные испытания подтвердили подавление роста *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, при этом комплексное действие пленки замедляло микробную контаминацию и сохраняло свежесть фруктов за счет регулируемого газообмена. Лизоцим проявляет противомикробную активность, воздействуя на ограниченный спектр бактерий и грибов. При этом установлено, что активность данного фермента может существенно усиливаться в присутствии определенных химических соединений, в частности этилендиаминтетрауксусной кислоты и триполифосфата [56]. В исследовании [57] препарат лизоцимных пептидов, разработанный для расширения антимикробного спектра действия лизоцима, продемонстрировал выраженную антибактериальную эффективность в отношении ряда патогенных бактерий (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* и видов *Pseudomonas*, при этом *Salmonella typhi* и *Aeromonas hydrophila*). Его синергетическая комбинация с глицином и лимонной кислотой обеспечила ингибирование роста *E. coli* на уровне 6 log₁₀ КОЕ/мл. Таким образом, препарат лизоцимных пептидов представляет собой перспективный натуральный нутрицевтический консервант пищевого происхождения, способный эффективно контролировать рост патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов, что открывает возможности для его применения в качестве безопасной альтернативы химическим консервантам в пищевой промышленности.

7. Глюконо-дельта-лактон

Глюконо-дельта-лактон (ГДЛ) — мелкий белый кристаллический порошок, получаемый путем ферментативного окисления D-глюкозы, представляет собой нейтральный циклический эфир глюконовой кислоты. ГДЛ признан безопасным для здоровья (GRAS) и широко применяется в пищевой промышленности в качестве многофункциональной добавки к мясным, молочным, хлебобулочным, макаронным изделиям и сырам [58–61]. Обладая высокой растворимостью в воде, ГДЛ характеризуется способностью к медленному подкислению среды. Так, 1 г вещества способен снизить pH на 0,07–0,09 единицы, при этом в водном растворе он постепенно гидролизует до глюконовой кислоты, обеспечивая плавное снижение уровня pH [62–64]. ГДЛ также используют в качестве консерванта и влагоудерживающего агента [65–68]. Антиоксидантная активность ГДЛ обусловлена способностью нейтрализовать свободные радикалы [69]. Также ГДЛ показал себя как эффективный коагулянт при производстве сыра и надежный консервант для широкого спектра пищевых продуктов [63]. В исследованиях [70] изучали оптимальную дозу внесения ГДЛ в восстановленное молоко для получения мягкого кислотно-сычужного сыра. Количество ГДЛ составило 4 г/л,

при этом получали конечный продукт, характеризующийся повышенным выходом и высокими органолептическими показателями. ГДЛ также используется в продуктах на основе сои, таких как темпе и тофу. В производстве темпе ГДЛ выступает в качестве подкислителя, сокращая длительность ферментации с 24–48 часов до 2–3 часов и снижая расход воды на подготовительных этапах. При изготовлении тофу ГДЛ выполняет функцию коагулянта, обеспечивающего равномерную текстуру, улучшенные органолептические характеристики и повышенный выход продукта за счет мягкого и контролируемого подкисления [71].

8. Натамицин

Натамицин применяется в пищевой промышленности в качестве противогрибкового консерванта широкого спектра. Основными микроорганизмами-продуцентами натамицина выступают штаммы *Streptomyces natalensis* и *Streptomyces chatanoogensis*. На стабильность натамицина влияет множество факторов, среди которых ключевую роль играют тип растворителя и pH среды, а также давление и температура. Низкая растворимость натамицина в водной среде обуславливает его преимущественную локализацию на поверхности обрабатываемых пищевых продуктов, при этом активное вещество не проникает вглубь продукта, что способствует сохранению его консервирующих свойств в течение продолжительного времени [72,73]. Он эффективен в отношении дрожжей и плесневых грибов, при этом не оказывает влияния на органолептические свойства продуктов. В таких продуктах, как сыры, колбасные изделия и йогурты, он эффективно предотвращает развитие нежелательной грибковой микрофлоры, не оказывая ингибирующего воздействия на процессы бактериальной ферментации. Помимо этого, натамицин используют в производстве фруктовых соков и вин, а также для поверхностной обработки с целью продления срока хранения и обеспечения микробиологической стабильности продукции [74]. Для подавления развития патогенной грибковой микрофлоры натамицин применяют в рамках комплексной послеуборочной обработки плодоовощного сырья [75]. Также натамицин снижает потери при хранении и продлевает сроки годности продукции без существенного изменения ее органолептических и биохимических характеристик [76]. Благодаря данным свойствам вещество получило одобрение к применению в качестве противогрибкового консерванта в большинстве стран мира и широко используется в сферах сельского хозяйства и здравоохранения [77,78]. В исследовании [79] экспериментальные данные показали выраженный положительный эффект обработки клубники раствором натамицина (концентрация 20 мг/л, выдержка 5 минут). После применения данной обработки не только эффективно замедлялось развитие плесени, но и снижалась интенсивность дыхательного обмена клубники, что способствовало продлению срока хранения. Применение натамицина в концентрации 0,01 % в процессе ферментации черных оливок в рассоле с массовой долей соли 8 % подавляло развитие дрожжей и плесневых грибов, при этом не оказывало ингибирующего воздействия на полезную микрофлору [80]. Также было установлено, что внесение натамицина в оливковую пасту в дозе 350 мг/г существенно снижает вероятность развития гриба *Aspergillus ochraceus*, а также приводит к сокращению выработки пеницилловой кислоты на 96 % [81]. Исследование [82] показало, что обработка ягод шелковицы раствором натамицина (0,3 г/л) способствовала снижению скорости деградации на 23,3 % к 10-му дню хранения, подавлению активности ферментов и уменьшению концентрации малонового диальдегида. Несмотря на снижение содержания фенольных соединений, моносахаридов (глюкозы и фруктозы) и антоцианов, применение натамицина позволяет поддерживать стабильный уровень растворимых сухих веществ и концентрации сахарозы, а также сохранять ключевые органолептические показатели на протяжении всего периода хранения. Полученные данные в ходе исследования [83] показали выраженное ингибирующее влияние натамицина на вегетативный рост *Botrytis cinerea* и *Penicillium expansum*. Применение рабочего раствора натамицина с концентрацией 100 мг/л позволило полностью подавить проявление серой гнили на ягодах винограда. Это подтверждает перспективность внедрения данного вещества в состав интегрированных систем обработки растений [84]. Результаты исследования [85] свидетельствуют о высокой эффективности комбинированного применения натамицина с флуидоксонилом либо пропиконазолом. Синергетическое взаимодействие указанных соединений обеспечило снижение риска развития зеленой плесени и серой гнили более чем на 85 % и существенно сократило уровень послеуборочной порчи цитрусовых культур. В исследовании [86] было установлено, что комбинированная обработка ягод ежевики феруловой кислотой и натамицином способ-

ствует ингибированию ключевых метаболических процессов. Также отмечалось ослабление интенсивности дыхательных процессов, что способствовало существенному увеличению срока хранения свежих ягод. При производстве напитков оптимальная концентрация натамицина, рекомендованная для введения на различных этапах производственного процесса напитков, варьируется в диапазоне от 10 до 50 мг/л. В ходе хранения фруктовых соков натамицин демонстрирует способность не только контролировать микробную обсемененность, но и косвенно поддерживать их антиоксидантный статус. На примере яблочного сока экспериментально подтверждено, что внесение препарата позволило сохранить исходные биоактивные характеристики вплоть до конца заявленного срока годности [87–89]. Эти данные обосновывают технологическое применение натамицина в индустрии напитков как компонента, продлевающего стабильность продукта без ущерба для его антиоксидантного потенциала.

9. Хитозан

Хитозан — природный полисахарид, получаемый из хитина, который в пищевых технологиях ценится за выраженную антимикробную активность и способность индуцировать защитные реакции в растительных тканях [90,91]. При нанесении на поверхность сырья полимер образует полупроницаемое покрытие, которое ограничивает транспирацию, формирует локальную модифицированную газовую среду (снижая интенсивность дыхания) и физически препятствует адгезии спор фитопатогенов. Совокупное действие этих механизмов тормозит развитие гнилостных процессов и позволяет увеличить продолжительность хранения без применения синтетических фунгицидов [92]. Продолжительность срока годности после обработки зависит от дозировки вещества и характеристик используемого растительного сырья. При этом относительно низкие дозы хитозана находят практическое применение в качестве натурального консерванта для фруктов [93]. Хитозан применяется в качестве основы для разработки комплексных функциональных пищевых добавок, включающих в себя витамины и минеральные компоненты, что позволяет использовать его биополимерные свойства для целенаправленного обогащения продукта биологически активными веществами [94]. Кроме того, хитозан может применяться в качестве съедобного покрытия для растительных объектов, которое эффективно замедляет процессы созревания, снижает естественную убыль массы при хранении и подавляет микробную обсемененность поверхности, тем самым способствуя продлению срока годности продукции без потери качественных характеристик [95,96]. В исследовании [97] хитозановое покрытие с концентрацией 0,5 % стимулировало антиоксидантную ферментативную активность черешни на протяжении 24 суток при температуре хранения 10 °C. Применение комбинированного хитозан-желатинового покрытия позволило увеличить срок хранения черешни приблизительно на 10 суток относительно необработанных образцов в условиях низкотемпературного режима (0 °C). При этом включение натамицина в хитозановое покрытие привело к выраженному снижению численности дрожжевых и плесневых грибов, что способствовало замедлению микробиологической порчи и продлению сроков годности [98]. На примере папайи была проведена двухэтапная обработка, которая включала в себя предварительное погружение в раствор аскорбиновой кислоты с последующим нанесением хитозановой пленки [99]. Такой подход достоверно повышал суммарную антиоксидантную емкость мякоти, тормозил окислительные процессы и минимизировал потерю сахаров и пигментов на всем протяжении хранения. Схожие данные, подтверждающие синергию витамина С и полисахаридной матрицы, получены в работах [100–102]. Аналогичная логика применяется и к минимально переработанному манго. При тестировании водных растворов хитозана (0; 0,5; 1; 2 %) фрукты фасовали в ПВХ-лотки и выдерживали при температуре 6 °C. Партии с полимерным покрытием сохраняли более высокую титруемую кислотность, а также стабильные уровни растворимых сухих веществ и аскорбиновой кислоты по сравнению с контрольными образцами. Хитозановая пленка выступает надежным инструментом для сохранения органолептических и биохимических показателей минимально переработанных фруктов [103].

В исследовании [104] для повышения эффективности защиты фруктов изучался метод послойного нанесения биополимерных покрытий. В ходе эксперимента сравнивали эффективность 1 % раствора хитозана и полиэлектролитных комплексов, построенных на комбинациях хитозана с 1,5 % альгинатом, 1 % гидроксипропилметилцеллюлозой и 0,2 % камедью рожкового дерева. Все многослойные варианты улучшали сохранность мандаринов, однако максимальный эффект показала комбинация гидроксипропилметилцеллюлозы и хитозана, которая лучше удерживала влагу и замедляла

деградацию поверхностных тканей. Авторами [105] был разработан вариант съедобного покрытия на основе хитозана и карбоксиметилцеллюлозы натрия (LbL). Фрукты обрабатывали экспериментальным LbL-покрытием и традиционным однослойным хитозановым покрытием. Образцы хранили в течение 10 дней при температуре 13 °C и относительной влажности воздуха 80–85 %. LbL-покрытие оказало выраженное положительное влияние на сохранность фруктов. Оно также способствовало повышению блеска поверхности и твердости, при этом обеспечивало более высокое содержание титруемой кислоты и аскорбиновой кислоты по сравнению с контрольными образцами. Кроме того, применение LbL-покрытия позволило снизить потерю массы плодов после хранения примерно на 0,8 %. В исследовании [106] в качестве съедобного покрытия применялся 2 %-ный раствор хитозана, обогащенный экстрактами кожуры *Citrus limon* и экстрактами листьев *Ocimum tenuiflorum*. В ходе проведенного исследования было установлено, что обработка бананов съедобным покрытием способствовала увеличению антиоксидантной активности, содержания аскорбиновой кислоты, растворимых сухих веществ и фенольных соединений по сравнению с контрольными образцами.

10. Низин

Изначально низин рассматривался как природное антимикробное соединение и потенциальный антибиотик, однако дальнейшие исследования выявили существенные ограничения его применения в этой области из-за низкой растворимости в воде. В 1950-х годах была доказана эффективность низина как пищевого консерванта, так как он успешно предотвращал порчу плавленого сыра, вызываемую клостридиями [107]. В настоящее время низин применяется в пищевой промышленности и входит в состав разнообразных продуктов, таких как молочные изделия, десерты, переработанное мясо, рыба, фруктовые соки и напитки, консервированные супы и овощи [108]. В сочетании с другими технологическими приемами он может выступать как дополнительный консервант. В консервированных продуктах низин применяют совместно с термической пастеризацией для эффективного подавления термостойких спор термофильных бактерий, провоцирующих кислотную порчу. Низин демонстрирует высокую антимикробную активность в отношении грамположительных бактерий, включая *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, энтерококки, стафилококки и стрептококки [107,109]. Для консервирования пищевых продуктов с применением низина возможно реализовать несколько технологических стратегий, таких как инокуляция пищевых матриц штаммом микроорганизмов, продуцирующим низин, или использование его в качестве ингредиента ферментированного продукта, содержащего штамм-продуцент низина. Также практикуется внесение очищенного либо получищенного низина непосредственно в качестве консервирующего агента. Перспективным подходом выступает применение инкапсулированного низина либо его фиксация в твердых матрицах, что позволяет контролировать кинетику высвобождения активного вещества и обеспечивать его защиту от деградации под действием протеолитических ферментов [110]. В исследовании [111] изучали оптимизацию дозировок низина и концентрацию соли для эффективной термической инактивации *L. monocytogenes* при приготовлении говяжьего фарша, маринованного в соусе чипотле методом су-вид. Было установлено, что комбинация 120 МЕ низина и 0,4 % соли при термической обработке при температуре 63 °C способствовала повышению чувствительности клеток *L. monocytogenes* к летальному воздействию тепла, тем самым обеспечивая безопасность конечного продукта. В исследовании [112] изучалось влияние съедобных покрытий на основе зеина и композиции зеина с низином на сохранение качественных характеристик яблок сорта «Грэнни Смит» в течение 21-дневного периода хранения при температуре 15 °C. Покрытие из композиции зеина с низином обеспечивало лучшую сохранность текстуры фруктов.

Если вносить низин напрямую, он часто связывается с жирами, теряет антимикробную активность, распределяется неравномерно или разрушается ферментами, при этом у бактерий может формироваться устойчивость к его действию. Решением выступает его инкапсуляция в твердых матрицах, выполняющих функцию диффузионных барьеров, которые обеспечивают контролируемое высвобождение активного компонента. В частности, включение в состав микрокапсул, липосом или упаковочных пленок. Подобные антимикробные материалы способны сдерживать рост микроорганизмов на поверхностях контактирующих с ними пищевых продуктов за счет контролируемого высвобождения низина, который подавляет или уничтожает патогенные микроорганизмы, а также виды микроорганизмов, вызывающие порчу продукции и потенциально способные к контаминации пищевых изделий [113].

11. Выводы

В современных условиях пищевой промышленности актуальной научной и технологической задачей становится разработка комплексной системы обеспечения безопасности и качества продуктов питания, которая гарантирует сохранение потребительских свойств и микробиологической стабильности без ущерба для органолептических характеристик и пищевой ценности. Реализация данной задачи требует внедрения верифицированных, научно обоснованных технологических решений, отвечающих актуальным требованиям пищевой безопасности и ожиданиям потребителей. Рынок минимально обработанных продуктов и готовых полуфабрикатов быстро расширяется, однако их сохранность остается технологически сложной задачей. Классические методы консервации (высокие температуры, сильные химические антисептики) здесь часто неприменимы, так как они разрушают чувствительные нутриенты и ухудшают органолептические свойства. Поэтому промышленность постепенно переходит к комбинированным «мягким» схемам, где микробная безопасность достигается не за счет агрессивной обработки, а за счет точного подбора натуральных консервантов. Среди органических кислот лимонная работает сразу в двух направлениях: сдвигает pH в кислую область и хелатирует металлы, тормозя окисление. Лизоцим дополняет ее действие, гидролизует пептидогликан в стенках грамположительных бактерий. Глюконо-дельта-лактон (ГДЛ) полезен там, где нельзя допустить резкого изменения вкуса — он гидролизует постепенно, давая плавное подкисление. При совместном использовании с лизоцимом или лимонной кислотой ГДЛ усиливает проницаемость мембран, повышая общую эффективность обработки. Надуксусная кислота, в свою очередь, действует как окислитель: быстро инактивирует поверх-

ностную микрофлору, а затем полностью распадается на уксусную кислоту, воду и кислород, не накапливаясь в продукте. Каприловая кислота проявляет себя в липидных системах: ее молекулы встраиваются в мембраны патогенов и дрожжей, вызывая дисбаланс ионов. В паре с лимонной кислотой она работает при меньших дозах, что особенно важно для жировых эмульсий и молочных продуктов. Для борьбы с плесенью и дрожжами оптимальным является натамицин. Благодаря низкой растворимости в воде он остается на поверхности, создавая длительный защитный слой, но не мешает процессам брожения и не меняет вкус. Хитозан решает другую задачу — формирует газо- и влагонепроницаемое покрытие. Сам по себе он лишь замедляет дыхание тканей, но в комбинации с натамицином или кислотами превращается в активную матрицу с контролируемым высвобождением консервантов. Низин же остается препаратом выбора против спорообразующих клостридий и листерий; его действие резко усиливается при совместном применении с мягким нагревом или изменением ионной силы среды. Главной тенденцией сегодня остается отказ от использования монопрепаратов в пользу комбинированных технологий обработки. Так, лимонная кислота разрыхляет клеточные стенки, открывая путь для лизоцима, а ГДЛ поддерживает оптимальный pH для работы каприловой кислоты. Подобные комбинации позволяют сократить дозировки каждого компонента, избежать побочных вкусовых оттенков и одновременно блокировать несколько путей порчи. В результате продукт дольше сохраняет исходную текстуру, цвет и пищевую ценность без введения синтетических стабилизаторов. Переход к таким многоуровневым биоконсервирующим системам не только снижает регуляторные риски, но и задает новый стандарт для производства «чистых» продуктов питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Nogales-Delgado, S. (2021). Polyphenoloxidase (PPO): Effect, current determination and inhibition treatments in fresh-cut produce. *Applied Sciences*, 11(17), Article 7813. <https://doi.org/10.3390/app11177813>
- Gardan, D. A., Bryla, P., Dumitru, I., Gardan, I. P. (2025). Editorial: Industry and individuals: Branding, labelling, and marketing of food products. *Frontiers in Nutrition*, 2, Article 1555875. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1555875>
- Radziejowska, M. (2023). Health-promoting food labelling — Benefits and drawbacks. *System Safety: Human — Technical Facility — Environment*, 5(1), 249–257. <https://doi.org/10.2478/CZOTO-2023-0027>
- Syed, R. U., Moni, S. S., Break, M. K. B., Khojali, W. M. A., Jafar, M., Alshammari, M. D. et al. (2023). Broccoli: A multi-faceted vegetable for health: An in-depth review of its nutritional attributes, antimicrobial abilities, and anti-inflammatory properties. *Antibiotics*, 12(7), Article 1157. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12071157>
- Santos, M. I., Grácio, M., Silva, M. C., Pedroso, L., Lima, A. (2023). One health perspectives on food safety in minimally processed vegetables and fruits: From farm to fork. *Microorganisms*, 11(12), Article 2990. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122990>
- Arumugam, T., Sona, C. L., Maheswari M. U. (2021). Fruits and vegetables as Superfoods: Scope and demand. *The Pharma Innovation Journal*, 10(3), 119–129.
- Посокина, Н. Е., Захарова, А. И. (2023). Современные нетермические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его храниспособности. *Пищевые системы*, 6(1), 4–10. [Posokina, N. E., Zakharova, A. I. (2023). Modern non-thermal method of processing plant raw materials used to increase its storability. *Food Systems*, 6(1), 4–10. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-4-10>
- Janjarasskul, T., Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5), 808–831. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>
- Coban, H. B. (2020). Organic acids as antimicrobial food agents: Applications and microbial productions. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 43(4), 569–591. <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02256-w>
- Akula, S. T., Nagaraja, A., Ravikanth, M., Kumar, N. G. R., Kalyan, Y., Divya, D. (2021). Antifungal efficacy of lauric acid and caprylic acid — Derivatives of virgin coconut oil against *Candida albicans*. *Biomedical and Biotechnology Research Journal*, 5(2), 229–234. https://doi.org/10.4103/bbrj.bbrj_65_21
- Pellissery, A. J., Vinayamohan, P. G., Xue, J., Wang, X., Viju, L. S., Joseph, D. et al. (2022). Eacy of pectin-based caproic acid, caprylic acid, linalool, and cuminaldehyde coatings in reducing *Salmonella* Heidelberg on chicken eggs. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 874219. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.874219>
- López-Velázquez, J. G., Ayón-Reyna, L. E., Vega-García, M. O., López-Angulo, G., López-López, M. E., López-Zazueta, B. A. et al. (2022). Caprylic acid in *Vitex mollis* fruit and its inhibitory activity against a thiabendazole-resistant *Colletotrichum gloeosporioides* strain. *Pest Management Science*, 78(12), 5271–5280. <https://doi.org/10.1002/ps.7149>
- Wang, W., Wang, R., Zhang, G., Chen, F., Xu, B. (2020). In vitro antibacterial activities and mechanisms of action of fatty acid monoglycerides against four foodborne bacteria. *Journal of Food Protection*, 83(2), 331–337. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-259>
- Sorathiya, K. B., Melo, A., Hogg, M. C., Pintado, M. (2025). Organic acids in food preservation: Exploring synergies, molecular insights, and sustainable applications. *Sustainability*, 17(8), Article 3434. <https://doi.org/10.3390/su17083434>
- Nair, M. K. M., Vasudevan, P., Hoagland, T., Venkitanarayanan, K. (2004). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* in milk by caprylic acid and monocaprylin. *Food Microbiology*, 21(5), 611–616. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.01.003>
- Kim, S. A., Rhee, M. S. (2015). Synergistic antimicrobial activity of caprylic acid in combination with citric acid against both *Escherichia coli* O157: H7 and indigenous microflora in carrot juice. *Food Microbiology*, 49, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.02.009>
- Książek, E. (2023). Citric acid: Properties, microbial production, and applications in industries. *Molecules*, 29(1), Article 22. <https://doi.org/10.3390/molecules29010022>
- Latif, A., Hassan, N., Ali, H., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Ghuman, I. L. et al. (2024). An overview of key industrial product citric acid production by *Aspergillus niger* and its application. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 52, Article kuaf007. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuaf007>
- Terdaramee, U., Ratanakhanokchai, K., Kanlayanarat, S. (2023). Effect of citric acid on the control of postharvest browning of lychee fruit under cold storage. *Acta Horticulturae*, 628, 527–532. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.628.66>
- Nongnual, T., Butprom, N., Boonsang, S., Kaewpirom, S. (2024). Citric acid cross-linked carboxymethyl cellulose edible films: A case study on preserving freshness in bananas. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267(Part 1), Article 131135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131135>
- Tekin, O., Kucuker, E., Aglar, E. (2025). Effects of postharvest citric, oxalic acid and modified atmosphere packaging applications on fruit quality and biochemical properties in persimmon. *BMC Plant Biology*, 25, Article 1353. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07368-y>
- Liu, Q., Liu, H., Li, C., Liu, X., Liu, G., Li, Z. (2024). Citric acid treatment inhibits fading of sorghum (*Sorghum bicolor*) by modulating the accumulation of flavonoids. *Food Chemistry*, 1, 460(Part 2), Article 140612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140612>
- Sorathiya, K. B., Melo, A., Hogg, M. C., Pintado, M. (2025). Organic acids in food preservation: Exploring synergies, molecular insights, and sustainable applications. *Sustainability*, 17(8), Article 3434. <https://doi.org/10.3390/su17083434>
- Lai, W., Wang, L., Pang, Y., Xin, M., Li, M., Shi, L. et al. (2024). Preparation of citric acid cross-linked chitosan quaternary phosphonium/polyvinyl alcohol composite film and its application in strawberry preservation. *Food Chemistry*, 455, Article 139908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139908>
- West, T. P. (2023). Citric acid production by *Aspergillus niger* using solid-state fermentation of agricultural processing coproducts. *Applied Biosciences*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/appbiosci2010001>
- Behera, B. C. (2020). Citric acid from *Aspergillus niger*: A comprehensive overview. *Critical Reviews in Microbiology*, 46(6), 727–749. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2020.1828815>
- Behera, B. C., Mishra, R., Mohapatra, S. (2021). Microbial citric acid: Production, properties, application, and future perspectives. *Food Frontiers*, 2, 62–76. <https://doi.org/10.1002/fft2.66>
- Jiang, Y., Pen, L., Li, J. (2004). Use of citric acid for shelf life and quality maintenance of fresh-cut Chinese water chestnut. *Journal of Food Engineering*, 63(3), 325–328. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.004>
- Liu, K., Liu, J., Li, H., Yuan, C., Zhong, J., Chen, Y. (2016). Influence of postharvest citric acid and chitosan coating treatment on ripening attributes and expression of cell wall related genes in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 198, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2015.11.008>

30. Ressutte, J. B., da Silva Saranti, T. F., de Moura, M. R., dos Santos Pozza, M. S., da Silva Scapim, M. R., Stafussa, A. P. et al. (2022). Citric acid incorporated in a chitosan film as an active packaging material to improve the quality and duration of matured cheese shelf life. *Journal of Dairy Research*, 89(2), 201–207. <https://doi.org/10.1017/S0022029922000383>
31. Umm, K., Saeed, S. A., Muhammad, A., Fazal, A., Noor, F., Fahmida, A. et al. (2025). Synergistic effect of citric acid and ascorbic acid in antimicrobial packaging films for extending the shelf life of fresh produce. *Indus Journal of Bioscience Research*, 3(11), 68–75. <https://doi.org/10.70749/ijbr.v3i11.2653>
32. Bellaouchi, R., Hasnaoui, I., Idrissi, Y. M., Bentouhami, N., Hasnaoui A., Taibi M. et al. (2024). Improving dietary citric acid production by the wild-type *Aspergillus niger* ASP26 strain isolated from date by-product. *Food Science and Nutrition*, 12(6), 4248–4258. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4084>
33. Guo, C., Yucen, X., de Moraes, J. O., Wang, L. (2026). Assessing the use of acid-based sanitizers for enhancing the microbial safety and quality of collard greens and kale. *Food Microbiology*, 137, Article 105040. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2026.105040>
34. Ribeiro, M. S. S., Freitas-Silva, O., Castro, I. M., Teixeira, A., Marques-da-Silva, S. H., Sales-Moraes, A. C. S. et al. (2020). Efficacy of sodium hypochlorite and peracetic acid against *Aspergillus nomius* in Brazil nuts. *Food Microbiology*, 90, Article 103449. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103449>
35. Александрова, Я. Р., Козак, С. С., Козак, Ю. А. (2023). Влияние жесткости воды на дезинфицирующую активность средств на основе надуксусной кислоты. *Птицеводство*, 72(12), 88–92. [Aleksandrova, Y. E., Kozak, S. S., Kozak, Yu. A. (2023). The effect of water hardness on the activity of the solutions of peroxyacetic acid based disinfectants. *Pitvevodstvo*, 72(12), 88–92. (In Russian)] <https://doi.org/10.33845/0035-3239-2023-72-12-88-92>
36. Fernandez, M., Calle, A. (2025). Differences in *Salmonella* serovars response to lactic acid and peracetic acid treatment applied to pork. *Journal of Food Protection*, 88(1), Article 100403. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100403>
37. Carletto, D., Furtado, F., Zhang, J., Asimakopoulos, A. G., Eggen, M., Verstege, G. C. et al. (2022). Mode of application of peracetic acid-based disinfectants has a minimal influence on the antioxidant defences and mucosal structures of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Frontiers in Physiology*, 13, Article 900593. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.900593>
38. Cano, C., Meneses, Y., Chaves, B. D. (2021). Application of peroxyacetic acid for decontamination of raw poultry products and comparison to other commonly used chemical antimicrobial interventions: A review. *Journal of Food Protection*, 84(10), 1772–1783. <https://doi.org/10.4315/JFP-21-107>
39. de Rezende, H. C., de Lima, M., Santos, L. D. (2023). Peracetic acid application as an antimicrobial and its residual (HEDP): A holistic approach on the technological characteristics of chicken meat. *Poultry Science Journal*, 102(10), Article 103003. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103003>
40. de Moraes Motta Machado, M. C., Lepaus, B. M., Bernardes, P. C., de São José, J. F. B. (2022). Ultrasound, acetic acid, and peracetic acid as alternatives sanitizers to chlorine compounds for fresh-cut kale decontamination. *Molecules*, 27(20), Article 7019. <https://doi.org/10.3390/molecules27207019>
41. Alvaro, J. E., Moreno, S., Diane, F., Santos, M., Carrasco, G., Urrestarazu, M. (2009). Effects of peracetic acid disinfectant on the postharvest of some fresh vegetables. *Journal of Food Engineering*, 95, 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.05.003>
42. Singh, P., Hung, Y.-C., Qi, H. (2018). Efficacy of peracetic acid in inactivating foodborne pathogens on fresh produce surface. *Journal of Food Science*, 83(2), 432–439. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14028>
43. Nicolau-Lapeña, I., Abadias, M., Bobo, G., Aguiló-Aguayo, I., Lafarga, T., Viñas, I. (2019). Strawberry sanitization by peracetic acid washing and its effect on fruit quality. *Food Microbiology*, 83, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.05.004>
44. Swing, C. J., Gonzalez, S. V., Hernandez-Sinharakao, M. J., Nair, M. N., Geornaras, I. (2025). Efficacy of peroxyacetic acid and sulfuric acid-surfactant blends for reducing *Listeria monocytogenes* contamination on the surface of whole cantaloupes. *Journal of Food Protection*, 88(11), Article 100634. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100634>
45. Shen, X., Cong, J., Mugendi, J., Hanrahan, I., Zhu, M. J. (2021). Synergistic effects of lauric arginate and peracetic acid in reducing *Listeria monocytogenes* on fresh apples. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 641034. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.641034>
46. Shin, M., Na, G., Kang, J.-W., Kang, D.-H. (2024). Application of combined treatment of peracetic acid and ultraviolet-C for inactivating pathogens in water and on surface of apples. *International Journal of Food Microbiology*, 411, Article 110519. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110519>
47. Yang, T., Yan, W. (2025). Strategies for enhancing the antibacterial efficacy of lysozyme and the resulting outcome. *International Journal of Biological Macromolecules*, 310(Part 1), Article 143137. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143137>
48. Bergamo, A., Sava, G. (2021). Lysozyme: A natural product with multiple and useful antiviral properties. *Molecules*, 29(5), Article 652. <https://doi.org/10.3390/molecules29050652>
49. Nawaz, N., Wen, S., Wang, F., Nawaz, S., Raza, J., Ifthikhar, M. et al. (2022). Lysozyme and its application as antibacterial agent in food industry. *Molecules*, 27(19), Article 6305. <https://doi.org/10.3390/molecules27196305>
50. Khorshidian, N., Khanniri, E., Koushki, M. R., Sohrabvandi, S., Yousefi, M. (2022). An overview of antimicrobial activity of lysozyme and its functionality in cheese. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 835618. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.835618>
51. Barbiroli, A., Bonomi, F., Capretti, G., Iametti, S., Manzoni, M., Piergiorganni, L. et al. (2012). Antimicrobial activity of lysozyme and lactoferrin incorporated in cellulose-based food packaging. *Food Control*, 26(2), 387–392. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.01.046>
52. Li, Z., Lin, S., Zhu, M., Liu, X., Huang, X. (2025). Enhanced antibacterial activity of hydrophobic modified lysozyme against gram-negative bacteria without accumulated resistance. *Molecules*, 30(2), Article 232. <https://doi.org/10.3390/molecules30020232>
53. Amara, C. B., Eghbal, N., Oulahal, N., Degraeve, P., Gharsallaoui, A. (2016). Properties of lysozyme/sodium alginate complexes for the development of antimicrobial films. *Food Research International*, 89(Part 1), 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.015>
54. Yang, T., Yan, W. (2025). Strategies for enhancing the antibacterial efficacy of lysozyme and the resulting outcome. *International Journal of Biological Macromolecules*, 310(Part 1), Article 143137. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143137>
55. Li, Z., Yang, L., Wang, B., Li, Y., Ji, X., Li, N. et al. (2025). A multifunctional nanozyme hydrogel film with antibacterial and antioxidant activity for fruit packaging and freshness preservation. *Food Research International*, 218, Article 116943. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116943>
56. Юрна, Д. А., Фролов, Д. И. (2023). Технологии безопасной консервации продуктов животного происхождения. *Инновационная техника и технология*, 10(2), 44–51. [Yurna, D. A., Frolov, D. I. (2023). Technologies for safe preservation of animal products. *Innovative Machinery and Technology*, 10(2), 44–51 (In Russian)]
57. Abdou, A. M., Awad, D. A. B. (2025). Lysozyme peptides as a novel nutraceutical to control some food poisoning and food spoilage microorganisms. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 17, 1663–1673. <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10226-2>
58. Li, H., Zhang, Y., Liu, T., Zhang, L., Li, M., Li, H. et al. (2023). Transglutaminase (TG), glucono- δ -lactone (GDL), and citric acid (CA) induced whey protein isolation – milk fat emulsion gel embedding lutein and its application in processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 106(1), 6655–6645. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23097>
59. Han, Q., Sheng, G., Bai, H., Xu, X., Wei, X., Zhou, Q. (2025). The influence of glucono- δ -lactone on pea-based 3D printing meat analogues: Rheological properties, printing properties and textural properties. *European Food Research and Technology*, 251, 3605–3618. <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04845-4>
60. Shamsudin, N. A., Low, Y.-K., Cheng, L.-H. (2022). Effects of glucono delta lactone dipping and in-pack pasteurization on rice noodles properties. *Current Research in Food Science*, 5, 886–891. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2022.05.007>
61. Aliabbasi, N., Emam-Djomeh, Z., Askari, G., Salami, M. (2023). Design of glucono- δ -lactone-induced pinto bean protein isolate/κ-carrageenan mixed gels with various microstructures: Fabrication, characterization, and release behavior. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(5), 1484–1498. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12246>
62. Herz, E. M., Schfer, S., Terjung, N., Gibis, M., Weiss, J. (2021). Influence of transglutaminase on glucono- δ -lactone-induced soy protein gels. *ACS Food Science and Technology*, 1(8), 1412–1417. <https://doi.org/10.1021/acsfodsctech.1c00102>
63. Shukri, A. M., Cheng L.-H. (2023). The properties of different starches under the influence of glucono-delta-lactone at different concentrations. *Foods*, 12(9), Article 1770. <https://doi.org/10.3390/foods12091770>
64. Xu, Y., He, C., Zhou, Z. (2024). Modulating the texture of heat-set gels of phosphorylated walnut protein isolates through Glucono- δ -lactone acidification. *Food Chemistry*, 437(Part 1), Article 137734. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137734>
65. Ojukwu, M., Tan, H. L., Murad, M., Nafchi, A. M., Easa, A. M. (2023). Improvement of cooking and textural properties of rice flour-soy protein isolate noodles stabilised with microbial transglutaminase and glucono- δ -lactone and dried using superheated steam. *Food Science and Technology International*, 29(8), 799–808. <https://doi.org/10.1177/10820132221121169>
66. Zhang, S., Yang, L., Nie, Y., Li, H., Zhu, D., Cao, X. et al. (2025). Effects of thermal treatment and Glucono- δ -lactone on the quality of alkaline dough and steamed buns. *Food Chemistry*, 471, Article 142818. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.142818>
67. Gokul, S. S., Beena, R. L., Rajakumar, S. N., Divya, M. P., Suraj, S., Divya, K. B. et al. (2025). Shelf-life extension of paneer using a combination of permitted preservatives and Glucono Delta Lactone as coagulant (GDL). *International Journal of Agriculture and Food Science*, 7(9), 107–111. <https://doi.org/10.33545/2664844X.2025.v7i9b.736>
68. Li, Q., Hua, Y., Li, X., Kong, X., Zhang, C., Chen, Y. (2022). Effects of heat treatments on the properties of soymilks and glucono- δ -Lactone induced tofu gels. *Food Research International*, 161, Article 111912. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111912>
69. Al-Hatim, R. R., Al-Younis, Z. K., Issa, N. K., Al-Shawi, S. G. (2021). Application of glucono-delta-lactone acid (gdl) in foods system: A review. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 8(4), 11459–11474.
70. Майоров, А. А., МIRONENKO, И. М., ЯШКИН, А. И. (2012). Исследование возможности использования глюконо-дельта-лактона в технологии мягкого сыра из восстановленного цельного молока. *Техника и технология пищевых производств*, 4(27), 27–31. [Mayorov A. A., Mironenko, I. M., Yashkin A. I. (2012). Using glucono-delta-lactone for the production of soft cheese from restored whole milk. *Food Processing: Techniques and Technology*, 4(27), 27–31. (In Russian)]
71. Rahma, A. S. (2021). Production technology for adding GDL (Glucono Delta Lactone) to soy-based foods. *International Journal of Quantitative Research and Modeling*, 2(2), 75–82. <https://doi.org/10.46356/ijqrm.v2i2.150>
72. Zeng, X., Danquah, M. K., Jing, K., Woo, M. W., Chen, X. D., Xie, Y. et al. (2013). Solubility properties and diffusional extraction behavior of natamycin from *Streptomyces glaucosporus* biomass. *Biotechnology Progress*, 29, 109–115. <https://doi.org/10.1002/btpr.1659>
73. Luo, J. M., Jin, Z. H., Cen, P.-L., Wang, M. (2008). Measurement and correlation of the solubilities of natamycin in different solvents. *Gaoxiao Huaxue Gongcheng Xuebao (Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities)*, 22, 733–738. (In Chinese)
74. Wang, D., Shen, W., Yuan, J., Sun, J., Wang, M. (2021). Advances in the biosynthesis of natamycin and its regulatory mechanisms. *Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao*, 37(4), 1107–1119. <https://doi.org/10.13345/j.cjb.200394>

75. Chen, D., Förster, H., Adaskaveg, J. E. (2021). Baseline sensitivities of major citrus, pome, and stone fruits postharvest pathogens to natamycin and estimation of the resistance potential in *Penicillium digitatum*. *Plant Disease*, 105(8), 2114–2121. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1421-RE>
76. Stark, J. (2005). Natamycin: An effective fungicide for food and beverages. Chapter in a book: *Natural Antimicrobials for the Minimal Processing of Foods*. Woodhead Publishing, 2003. <https://doi.org/10.1533/9781855737037.82>
77. Delves-Broughton, J. (2014). Preservatives. Permitted preservatives — Natamycin. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*. Elsevier, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00269-X>
78. Haro-Reyes, T., Díaz-Peralta, L., Galván-Hernández, A., Rodríguez-López, A., Rodríguez-Fragoso, L., Ortega-Blake, I. (2022). Polyene antibiotics physical chemistry and their effect on lipid membranes; Impacting biological processes and medical applications. *Membranes*, 12(7), Article 681. <https://doi.org/10.3390/membranes12070681>
79. Meena, M., Prajapati, P., Ravichandran, C., Sehrawat, R. (2021). Natamycin: A natural preservative for food applications — A review. *Food Science and Biotechnology*, 30(12), 1481–1496. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00981-1>
80. Hondrodinou, O., Kourkoutas, Y., Panagou, E. Z. (2011). Efficacy of natamycin to control fungal growth in natural black olive fermentation. *Food Microbiology*, 28(3), 621–627. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.11.015>
81. Gourama, H., Bullerman, L. B. (1988). Effects of potassium sorbate and natamycin on growth and penicillic acid production by *Aspergillus ochraceus*. *Journal of Food Protection*, 51(2), 139–145. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-51.2.139>
82. Wen, M., Lin, X., Yu, Y., Wu, J., Xu, Y., Xiao, G. (2019). Natamycin treatment reduces the quality changes of postharvest mulberry fruit during storage. *Journal of Food Biochemistry*, 43, Article e12934. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12934>
83. He, C., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., Tian, Sh. (2019) Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* — Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 151, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.02.009>
84. Aparicio, J. F., Barreales, E. G., Payero, T. D., Vicente, C. M., de Pedro, A., Santos-Aberturas, J. (2016). Biotechnological production and application of the antibiotic pimaricin: Biosynthesis and its regulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(1), 61–78. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7077-0>
85. Chen, D., Förster, H., Adaskaveg, J. E. (2021) Natamycin, a biofungicide for managing major postharvest fruit decays of citrus. *Plant Disease*, 105(5), 1408–1414. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-20-1650-RE>
86. Liu, H., Yang, H., Zhao, H., Lyu, L., Wu, W., Li, W. (2022). The mechanism of protective effect on postharvest blackberry fruit treated with ferulic acid and natamycin jointly using transcriptomics and proteomics methods. *European Food Research and Technology*, 248(10), 2637–2649. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04076-x>
87. Karaman, K., Sagdic, O., Yilmaz, M. T. (2020). Potential of natamycin to control growth of *Zygosaccharomyces* spp. in apple juice during storage. *International Journal of Food Microbiology*, 332(5), Article 108771. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108771>
88. Casco, M. A., Jagus, R. J., Agüero, M. V., Fernandez, M. V. (2022). Ultrasound and its combination with natural antimicrobials: Effects on shelf life and quality stability of a fruit and vegetable smoothie. *Food and Bioprocess Technology*, 15(5), 203–218. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02745-5>
89. Zeng, X., Miao, W., Zeng, H., Zhao, K., Zhou, Y., Zhang, J. et al. (2019). Production of natamycin by *Streptomyces gilvosporeus* Z28 through solid-state fermentation using agro-industrial residues. *Bioresource Technology*, 273, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.009>
90. Aparna, M., Geetha Lekshmi, P. R. (2024). Chitosan based edible coatings: Enhancing shelf life and quality in fruits and vegetables. *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, 27(11), 178–191. <https://doi.org/10.9754/jabb/2024/v27i111603>
91. Saberi, R. S., Vatankhah, M., Hassanisaadi, M., Kennedy, J. F. (2023). Chitosan-based nanocomposites as coatings and packaging materials for the postharvest improvement of agricultural product: A review. *Carbohydrate Polymers*, 309, Article 120666. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120666>
92. Бурак, Л. Ч. (2024). Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля. *Ползуновский вестник*, 1, 99–119. [Burak, L. Ch. (2024). Use of modern processing technologies to increase the storage life of fruit and vegetables. Review of the subject field. *Polzunovskiy VESTNIK*, 1, 99–119 (In Russian)]. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>
93. Sakif, T. I., Dobriansky, A., Russell, K., Islam, T. (2016). Does chitosan extend the shelf life of fruits? *Advanced in Bioscience and Biotechnology*, 7(8), 337–342. <https://doi.org/10.4236/abb.2016.78032>
94. Romanazzi, G., Feliziani, E., Bautista-Banos, S. B., Sivakumar, D. (2017). Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 579–601. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.900474>
95. Rahman, M. A., Islam, M. A., Sultan, M. T., Kamal, A. H. M., Khan, R. A., Razzak, M. et al. (2019). Assessment of chitosan as preservative on shelf life and major nutrient contents on fruits and vegetables. *American Journal of Agricultural Sciences*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.2478/ausal-2019-0002>
96. Kumar, R., Sharma, P., Dipsikha, Sharma, T., Rana, S. (2022). Enhancement of shelf life of guava fruits by application of chitosan based nanoemulsion. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 25(2), 2056–2062. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-2052>
97. Zheng, H., Deng, W., Yu, L., Shi, Y., Deng, Y., Wang, D. et al. (2024). Chitosan coatings with different degrees of deacetylation regulate the postharvest quality of sweet cherry through internal metabolism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254(1), Article 127419. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127419>
98. Sun, J., Wang, T., Liu, L., Li, Q., Liu, H., Wang, X. et al. (2025). Preparation and application of edible chitosan coating incorporating natamycin. *Polymers*, 17(8), Article 1062. <https://doi.org/10.3390/polym17081062>
99. Zhou, Y., Hu, L., Chen, Y., Liao, L., Li, R., Wang, H. et al. (2022). The combined effect of ascorbic acid and chitosan coating on postharvest quality and cell wall metabolism of papaya fruits. *LWT*, 171, Article 114134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114134>
100. Zhou, Y., Liu, X., Liang, X., Li, H., Lai, J., Liao, Y. et al. (2024). Biochemical and metabolomics analyses reveal the mechanisms underlying ascorbic acid and chitosan coating mediated energy homeostasis in postharvest papaya fruit. *Food Chemistry*, 439, Article 138168. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138168>
101. Popescu, P.-A., Palade, L. M., Nicolae, I.-C., Popa, E. E., Mitelut, A. C., Drăghici, M. C. et al. (2022). Chitosan-based edible coatings containing essential oils to preserve the shelf life and postharvest quality parameters of organic strawberries and apples during cold storage. *Foods*, 11(21), Article 3317. <https://doi.org/10.3390/foods11213317>
102. Saleem, M. S., Anjum, M. A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M. et al. (2021). Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.051>
103. Chien, P.-J., Sheu, F., Yang, F.-H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.022>
104. Jurić, S., Bureš, M. S., Vlahoviček-Kahlina, K., Stracenski, K. S., Fruk, G., Jalšenjak, N., et al. (2023). Chitosan-based layer-by-layer edible coatings application for the preservation of mandarin fruit bioactive compounds and organic acids. *Food Chemistry: X*, 17, Article 100575. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100575>
105. Niu, C., Liu, L., Farouk, A., Chen, C., Ban, Z. (2023). Coating of layer-by-layer assembly based on chitosan and CMC: Emerging alternative for quality maintenance of citrus fruit. *Horticulturae*, 9(6), Article 715. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060715>
106. Deb Majumder, S., Ganguly, S. S. (2020). Effect of a chitosan edible-coating enriched with *Citrus limon* peel extracts and *Ocimum tenuiflorum* leaf extracts on the shelf-life of bananas. *Biosurface and Biotechnology*, 6, 124–128. <https://doi.org/10.1049/bsbt.2020.0002>
107. Field, D., de Ullivarri, M. F., Ross, R. P., Hill, C., (2023). After a century of nisin research — where are we now? *FEMS Microbiology Reviews*, 47(3), Article fuad023. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad023>
108. Todorov, S. D., Popov, I., Weeks, R., Chikindas, M. L. (2022). Use of bacteriocins and bacteriocinogenic beneficial organisms in food products: Benefits, challenges, concerns. *Foods*, 11(19), Article 3145. <https://doi.org/10.3390/foods11193145>
109. Costello, K. M., Cindy, S., Gutierrez-Merino, J., Bussemaker, M., Van Impe, J. F., Vellou, E. G. (2021). The impact of food model system structure on the inactivation of *Listeria innocua* by cold atmospheric plasma and nisin combined treatments. *International Journal of Food Microbiology*, 337, Article 108948. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108948>
110. Gharsallaoui, A., Oulahal, N., Joly, C., Degraeve, P. (2016). Nisin as a food preservative: Part 1: Physicochemical properties, antimicrobial activity, and main uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56(8), 1262–1274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763765>
111. Hernandez-Mendoza, E., Peña-Ramos, E. A., Juneja, V. K., Valenzuela-Melendres, M., Scheuren-Acevedo, M. S., Osoria, M. (2023). Optimizing the effects of nisin and NaCl to thermal inactivate *Listeria monocytogenes* in ground beef with chipotle sauce during sous-vide processing. *Journal of Food Protection*, 86(5), Article 100086. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100086>
112. Wang, X., Kang, W., Li, J., Deng, Z., Gao, J. (2025). Nisin: Harnessing nature's preservative for the future of food safety and beyond. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(34), 9045–9070. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100086>
113. Gharsallaoui, A., Joly, C., Oulahal, N., Degraeve, P. (2016). Nisin as a food preservative: Part 2: Antimicrobial polymer materials containing nisin. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(8), 1275–1289. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763766>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Посокина Наталья Евгеньевна — кандидат технических наук, заведующая лабораторией, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 E-mail: n.posokina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7857-6785 * автор для контактов	Natalia E. Posokina, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Food Canning Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia E-mail: n.posokina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7857-6785 * corresponding author
Захарова Анна Ивановна — научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 E-mail: a.zaharova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2336-1816	Anna I. Zakharova, Researcher, Laboratory of Food Canning Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia E-mail: a.zaharova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2336-1816
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare that there is no conflict of interest.