

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-298-304>



Поступила 27.04.2024

Поступила после рецензирования 18.06.2024

Принята в печать 20.06.2024

© Посокина Н. Е., Захарова А. И., 2024

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

Обзорная статья

Open access

СОВРЕМЕННЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЕГО ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ

Посокина Н. Е.*, Захарова А. И.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

растительное сырье, бактериофаги, фаги, фаговые коктейли, бактериоцины, ферменты, фитохимикаты

Болезни пищевого происхождения, главным образом инфекционные, являются основной причиной заболеваемости и смертности во всем мире. Патогенные бактерии присутствуют практически на каждом этапе цепочки производства продуктов питания, ставя под угрозу программы компаний по обеспечению безопасности пищевых продуктов и вызывая вспышки заболеваний пищевого происхождения в различных регионах мира. Поиск новых решений, обеспечивающих соответствующую микробиологическую стабильность пищевых продуктов с минимальной обработкой, является ключевым фактором в борьбе с бактериальными патогенами, вызывающими пищевые инфекции. Применение химических и физических методов консервирования пищевых продуктов часто приводит к ухудшению их пищевой ценности, физических и органолептических свойств. Пищевые продукты с минимальной обработкой, изготовленные без каких-либо радикальных методов консервации, могут подвергаться особому риску развития микроорганизмов, в том числе патогенных. Низкотемпературные производственные процессы и холодильное хранение способствуют развитию психрофильных микроорганизмов, другую угрозу представляет высокая микробиологическая обсемененность сырья. Для сохранения качества пищевых продуктов наиболее часто используются физико-химические методы, в том числе упаковка в модифицированной атмосфере, мембранные методы или ультразвук. Альтернативно могут быть применены биологические методы: бактериофаги и фаговые коктейли, бактериоцины, инактивация ферментов деградации растительной ткани, фитохимикаты, съедобные покрытия. При этом они могут использоваться как индивидуально для ограничения роста бактерий в пищевой среде, так и в сочетании с другими методами с целью достижения максимального эффекта. В данной статье рассмотрены основные биологические методы борьбы с болезнетворными бактериями, наиболее часто встречающимися в пищевой среде. Целью данного обзора являлось рассмотрение существующих биологических методов обработки растительных объектов, а также выявление преимуществ и недостатков каждого способа.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования проводились в рамках государственного задания ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН FGUS-2024-0004.

Received 27.04.2024

Accepted in revised 18.06.2024

Accepted for publication 20.06.2024

© Posokina N. E., Zakharova A. I., 2024

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

Review article

Open access

MODERN BIOLOGICAL METHODS OF PROCESSING PLANT RAW MATERIALS USED TO INCREASE ITS STORAGE CAPACITY

Natalia E. Posokina*, Anna I. Zakharova

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

KEY WORDS:

vegetable raw materials, bacteriophages, phages, phage cocktails, bacteriocins, enzymes, phytochemicals

ABSTRACT

Foodborne illnesses, mainly infectious, are a leading cause of morbidity and mortality worldwide. Pathogenic bacteria are present at virtually every stage of the food production chain, compromising company food safety programs and causing outbreaks of foodborne illnesses in various regions of the world. Finding new solutions that provide adequate microbiological stability to minimally processed foods is key to controlling bacterial pathogens that cause foodborne illnesses. The use of chemical and physical methods of food preservation often leads to a deterioration in their nutritional value, physical and organoleptic properties. Minimally processed foods produced without any radical preservation methods may be at particular risk of developing microorganisms, including pathogens. Low-temperature production processes and refrigerated storage promote the development of psychrophilic microorganisms; another threat is posed by high microbiological contamination of raw materials. To preserve the quality of food products, the most commonly used physicochemical methods include modified atmosphere packaging, membrane methods or ultrasound. Alternatively, biological methods can be used: bacteriophages and phage cocktails, bacteriocins, inactivation of plant tissue degradation enzymes, phytochemicals, edible coatings. Moreover, they can be used either individually to limit the growth of bacteria in the food environment, or in combination with other methods in order to achieve maximum effect. This article discusses the main biological methods of combating pathogenic bacteria most commonly found in the food environment. The purpose of this review was to consider existing biological methods for processing plant objects, as well as to identify the advantages and disadvantages of each method.

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

1. Введение

Фрукты и овощи — это метаболически активные, скоропортящиеся свежие продукты с достаточно коротким сроком хранения.

Послеуборочная обработка свежих продуктов используется в качестве стратегии, позволяющей свести к минимуму серьезные потери питательных свойств и качества. Более того, она имеет решающее

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Посокина, Н. Е., Захарова, А. И. (2024). Современные биологические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его хранимостности. *Пищевые системы*, 7(2), 298–304. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-298-304>

FOR CITATION: Posokina, N. E., Zakharova, A. I. (2024). Modern biological methods of processing plant raw materials used to increase its storage capacity. *Food Systems*, 7(2), 298–304. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-298-304>

значение с точки зрения безопасности потребителей. Обработка после сбора урожая замедляет физиологические процессы в свежих фруктах и овощах, такие как дыхание, старение и созревание. Кроме того, она также снижает частоту атак патогенов и микробного загрязнения, что увеличивает срок хранения свежих продуктов.

В последние годы безопасность пищевых продуктов, вызванная пищевыми патогенами и бактериями, вызывающими порчу, стала серьезной проблемой общественного здравоохранения во всем мире.

Обычные антибактериальные методы, включая стерилизацию/пастеризацию, приготовление под давлением, радиационную обработку, а также химические антисептики могут снизить бактериальную активность в пище до значимых уровней. Но, при этом, они имеют и серьезные недостатки, такие как повышенные первоначальные затраты, возможность возникновения неисправностей оборудования из-за коррозионной активности, отрицательное воздействие на органолептические свойства пищевых продуктов и, возможно, их пищевую ценность.

Поиск натуральных биологических методов обработки, которые позволяют производить продукты питания, безопасные для потребления человеком и не влияющие на вкус, текстуру и питательные качества продуктов питания, является постоянной проблемой для различных пищевых отраслей во всем мире, особенно с учетом того, что человеческое население продолжает расти, а множественная устойчивость патогенных бактерий к антибиотикам становится все более распространенной.

В обзоре рассматриваются недавние исследования, посвященные послеуборочной обработке с помощью биологических методов, с целью охватить современное состояние текущих исследований и стратегий, используемых для сокращения послеуборочных потерь фруктов и овощей.

Задачи — проанализировать каждый вид обработки, сферу применения, перспективы развития и использования в промышленных масштабах.

2. Материалы и методы

Объектами изучения являлись нормативные документы и научные публикации российских и зарубежных авторов, посвященные использованию биологических методов обработки растительных объектов с целью снижения количества контаминирующей микрофлоры и увеличения их хранимоспособности. Поиск осуществлялся на платформах eLibrary.ru, Scopus, ResearchGate и в открытых интернет-источниках. Был проведен поиск публикаций с использованием нескольких комбинаций ключевых слов, включая следующие: растительное сырье, бактериофаги, фаги, фаговые коктейли, бактериоцины, ферменты, фитохимикаты.

Из найденных публикаций были исключены источники, не содержащие полные тексты научных трудов. Основные публикации, включенные в обзор, охватывали временной интервал с 2017 по 2024 годы.

3. Бактериофаги

Количество вспышек заболеваний, вызванных патогенами пищевого происхождения, показывает, что методы, используемые в промышленности для борьбы с бактериальными патогенами пищевого происхождения, такими как *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria* и др., неэффективны [1]. В связи с этим есть необходимость разработки новых эффективных средств или методов для сохранения свежести продуктов и защиты их от патогенов. Использование бактериофагов является одним из альтернативных методов в качестве естественных антибактериальных средств.

Бактериофаги (фаги) — это вирусы, которые специфически взаимодействуют с бактериальными клетками и заражают их. Фаги ответственны за уничтожение почти половины бактериальной популяции, ежедневно образующейся в природе [2]. Учитывая короткое время размножения бактерий, фаги являются наиболее смертельными врагами бактерий. Использование бактериофагов не должно негативно восприниматься потребителями, поскольку они являются естественными врагами бактерий и встречаются в природе без каких-либо известных побочных эффектов на эукариотические организмы [3,4].

Открытие фагов предшествовало исследования Ханкина (1896) и Гамалея (1898), которые примерно в 1880-х годах сообщили о спорадических находках, предположительно, относящихся к фагам. Сегодня принято считать, что бактериофаги были открыты в ходе двух независимых исследований, проведенных Твортом (1915) и д'Эрелем (1917). Названия «бактериофаг» и «фаговая бляшка» были введены д'Эрелем, который впервые применил фаги для лечения тяжелой дизентерии в 1919 году. Фаги использовались в западном

мире для лечения бактериальных инфекций до того, как в 1940-х годах в клинической практике был использован первый антибиотик — пенициллин. Благодаря эффективности антибиотиков они стали широко применяться во время Второй мировой войны. В этой связи исследования фагов на Западе не нашли должного развития и были продолжены только в бывшем Советском Союзе и в странах Восточной Европы [5]. С момента открытия бактериофагов они считались ключевым инструментом в борьбе с бактериальными болезнями человека и животных. В настоящее время наблюдается рост устойчивости микробов к антибиотикам, в связи с чем внимание научного сообщества к использованию бактериофагов снова возросло.

Фаги представлены разнообразием видов и форм. По взаимодействию фагов с бактериальными клетками-хозяевами они делятся на 2 группы: облигатные и умеренные. Однако в последнее время в литературе упоминается и третья группа — хронические фаги [6].

3.1. Облигатные фаги

Облигатные фаги являются лучшими объектами для исследований в области фаготерапии. Их также называют литическими фагами, поскольку они имеют литический жизненный цикл внутри клеток-хозяев. Существует два способа, которыми литические фаги убивают бактерии-мишени: лизис изнутри (LWI) и лизис снаружи (LWO) [7,8]. Выбор метода зависит от множественности инфекции (MOI), которая представляет собой соотношение доступных вирулентных литических фагов и доступных бактериальных клеток-мишеней. Лизис изнутри применяется, когда один или несколько литических фагов инфицируют чувствительные бактериальные клетки. При заражении геном фага реплицируется внутри бактериальной клетки-хозяина с помощью собственных ферментов и белков репликации ДНК клетки. Когда вновь созданные фаги собираются, мембрана инфицированной клетки-хозяина лизируется, чтобы высвободить дочерние фаги. Лизис извне происходит, когда MOI равен или превышает количество, которое могут разместить бактериальные клетки-хозяева. Множественная адсорбция фагов в клетку вызывает быстрое набухание и деформацию формы с последующим разрушением клеточной мембраны. Ни бактериальная клетка-хозяин, ни адсорбированные фаговые частицы после LWO не выживают [9].

3.2. Умеренные фаги

Известны как лизогенные фаги, способные реплицироваться внутри клетки-хозяина и лизировать хозяина для высвобождения потомства, так и литические фаги. Разница в том, что лизогенный фаг может включать свой геном в бактериальную ДНК и, таким образом, формировать прочную связь с клеткой-хозяином. Фаг, геном которого встроено в ДНК клетки хозяина, называется профагом [10]. Геном профага реплицируется с геномом хозяина во время митоза, а затем распространяется в дочерние клетки. Благодаря этому профаг может присутствовать в бактериях-хозяевах на протяжении поколений. Профаг может выйти из лизогенного жизненного цикла и вернуться к литическому жизненному циклу посредством процесса, называемого индукцией профага, приводящему к его удалению из генома хозяина под действием таких стимуляторов, как радиация, pH, температура и тяжелые металлы [11]. При удалении профага из ДНК хозяина он может занять часть фланкирующих участков ДНК хозяина, и эти участки способствуют генетическому разнообразию бактериофагов и их хозяев посредством трансдукции [12].

3.3. Хронические фаги

Нитчатые фаги реплицируются и покидают клетку-хозяина путем почкования, а не лизиса, что приводит к непрерывному производству фага [2]. Тот факт, что нитчатые фаги не убивают клетки-хозяина, делает их непригодными для использования в качестве средства борьбы с патогенными микроорганизмами [12].

В последние годы в коммерческом использовании появился ряд препаратов на основе фагов для борьбы с некоторыми ведущими патогенами пищевого происхождения, включая *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* и *Escherichia coli* [13].

Перспектива их применения подтверждает уверенность отрасли в эффективности и безопасности фаговых препаратов, имеющих статус общепризнанных безопасных (GRAS) для использования в пищевой промышленности. Многие коммерческие фаговые компании имеют сертификат FDA.

Liu et al. [14] оценили потенциал антисальмонеллезного фага LSE7621 для биоконтроля патогена на листьях салата и обнаружили, что количество сальмонелл снизилось на 0,86 lg КОЕ/мл при MOI 100 и на 1,02 lg КОЕ/мл при MOI 1 в течение шести часов. Кроме того, в аналогичных экспериментах по заражению тофу (коагулированное соевое молоко) наблюдалось снижение количества сальмонелл

на 3,55 lg КОЕ/мл (МОИ = 100) и 1,86 lg КОЕ/мл (МОИ = 1) в течение четырех часов.

Применение бактериофагов в целях биоконтроля перспективно в ряде областей, включая сельское хозяйство и производство продуктов питания. Взаимоотношения бактериофагов с хозяевами представляют собой сложный симбиоз: с одной стороны, бактериофаги обладают антибактериальным эффектом, с другой — они регулируют рост микробных популяций и способствуют их эволюции путем горизонтального переноса генов.

Естественная способность бактериофагов (фагов) заражать и уничтожать бактерии-мишени, а также тот факт, что они повсеместно распространены в окружающей среде и безвредны для людей и животных, доказывают их важность как для обнаружения, так и для контроля патогенов на каждом этапе процесса производства продуктов питания.

К минусам использования фагов можно отнести их избирательное действие на определенный вид микроорганизмов. С целью обеспечения широкого спектра воздействия на патогенную микрофлору используют фаговые коктейли, конструируя их таким образом, чтобы обеспечить летальное воздействие на максимально широкий спектр контаминирующих микроорганизмов [15].

4. Фаговые коктейли

С целью оценки эффективности фагового коктейля для улучшения микробиологического качества продукции было проведено исследование пяти различных смешанных салатов: рукколы, разнолистного салата с морковью, разнолистного салата со свеклой, мытого и немывтого шпината, хранящихся в охлажденных условиях [16]. Палочки *Enterobacterales* составляли значительную группу бактерий в тестируемых продуктах. Выбранные бактерии были проверены на устойчивость к антибиотикам, а затем использованы для поиска специфических бактериофагов. Из сточных вод было выделено 43 фага, нацеленных на бактерии, доминирующие в смешанных салатах. Их титр определяли, а литическую активность оценивали с помощью автоматического ростового анализатора Bioscreen C Pro. Два метода нанесения фагового коктейля, включая распыление и впитывающую подушечку, были эффективны для рукколы, листового салата с морковью и для смешанного листового салата со свеклой. Максимальный уровень снижения количества бактерий через 48 ч инкубации достигал 99,9% по сравнению с контрольным образцом. В мытом и немывтом шпинате попытки уменьшить количество микроорганизмов не принесли должного эффекта. Снижение количества бактерий в салатах смесях зависело от состава автохтонных видов сапрофитных бактерий. Оба метода применения фагового коктейля значительно улучшили микробиологическое качество минимально обработанных продуктов. Таким образом, применение полнспектрального фагового коктейля может представлять собой альтернативный метод улучшения микробиологического качества пищевых продуктов, при этом не оказывая негативного влияния на их свойства [16].

В исследовании [17] описано комбинированное действие фагового коктейля (STG2, SEG5 и PS5), ЭДТА, низина и полилизина против бактериального коктейля, состоящего из *S. typhimurium*, *S. enteritidis* и *E. coli* O157: H7. В целом, фаговый коктейль (отдельно или в сочетании с низином и/или полилизинем) не только продемонстрировал высокую антибактериальную активность против бактериального коктейля при различных температурах (4 °C, 24 °C и 37 °C), но и полностью ингибировал появление бактерий. Эти результаты позволяют предположить, что комбинация фагов с низином и/или полилизинем имеет большой потенциал для одновременного контроля *S. typhimurium*, *S. enteritidis* и *E. coli*.

В исследовании, проведенном Wong et al. [18], пятикомпонентный фаговый коктейль использовался для контроля семи штаммов *S. enterica* после инокуляции на листья салата ромэн и дыню. Фаговый коктейль наносили на образцы за 24 часа до инокуляции бактериями. Результаты значительно различались между различными мишенями сальмонеллы и подчеркнули, что, хотя фаги обладают потенциалом для биоконтроля сальмонеллы, успех зависит от штамма [18,19].

В исследовании [20] были протестированы *Gluconobacter asaii* (бактериальный антагонист, встречающийся в природе в плодах яблоки) и бактериофаг в качестве средств биоконтроля *Listeria monocytogenes* на свежесрезанных кусочках дыни при низкой температуре в упаковке из функциональной пленки, изготовленной из смешанного цеолита и пегматита толщиной 20 мм. *Gluconobacter asaii* и бактериофаг были эффективны против *L. monocytogenes*, при этом объединение этих двух методов дало синергический эффект. Обработка только *G. asaii* снижала обсемененность приблизительно на 4–5 порядков, в то время как обработка только одним фагом дава-

ла снижение только на 1 порядок. Для сравнения, комбинированная обработка против листерий снизила популяцию до 6 КОЕ/г к седьмому дню, особенно в упаковке из функциональной пленки. Кроме того, срок хранения дыни, упакованной в функциональную пленку, увеличился на 5–6 дней по сравнению с контрольными образцами. Результаты данного исследования показывают, что комбинация *G. asaii* и фага может быть очень эффективной для снижения загрязнения *L. monocytogenes* свежесрезанной дыни при низкой температуре в упаковке из функциональной пленки.

Исследователи предсказывают, что высокотехнологичное и эффективное управление бактериофагами станет важной частью будущего противодействия бактериям, устойчивым к антибиотикам. В настоящее время применение фагов подходит в качестве дополнительного инструмента химической дезинфекции, особенно при применении дезинфицирующих средств и/или бактерий, устойчивых к антибиотикам. Кроме того, использование фагов будет иметь большую эффективность при применении фаговых коктейлей в сочетании, например, с бактерицидами и/или со съедобными покрытиями.

5. Бактериоцины

Появление в мире штаммов патогенов, устойчивых к имеющимся в настоящее время антибиотикам, и связанная с ними токсичность вызвали необходимость поиска других природных альтернатив противомикробным препаратам. В этом отношении недавние открытия в области противомикробных агентов, секретируемых видами бактерий против конкурирующих штаммов, приобретают важное значение. Эти природные вещества представляют собой синтезированные рибосомами низкомолекулярные, термостабильные, мембраноактивные, протеолитически разлагаемые и образующие поры катионные пептиды, известные как бактериоцины. Благодаря своему антибактериальному, противовирусному, противогрибковому и антибиопленочному потенциалу бактериоцины могут стать доступным средством борьбы с противомикробной резистентностью, одновременно минимизируя токсическое воздействие антибиотиков на организм хозяина [21].

Высокий потенциал бактериоцинов как натуральных пищевых консервантов вызвал всплеск интереса ученых к их исследованиям, особенно в области молочнокислых бактерий (МКБ) [22]. МКБ — разнообразная группа каталазоотрицательных, неспорулирующих и грамположительных бактерий, известных как пробиотические молочнокислые бактерии. Они являются основными продуцентами молочной кислоты из глюкозы. МКБ обладают антимикробной активностью в отношении патогенных бактерий, их аутоагрегация составляет около 60%, также они показывают высокий процент образования биопленок. Для поддержания их развития требуется набор аминокислот, пептидов, нуклеотидных оснований, витаминов, жирных кислот и углеводов [23–25]. МКБ известны своей пользой для организма и в соответствующих условиях способны продуцировать природные антимикробные соединения, которые могут использоваться в качестве биоконсервантов в пищевых продуктах, тем самым увеличивая их сроки хранения [26–29]. Исследователями [30] отмечается их потенциал для использования в контролируемых средах в качестве специфических стартовых культур или естественных конкурентов в микробиоте. Примечательно, что несколько штаммов продуцируют бактериоцины, которые являются мощными антимикробными соединениями, оказывающими воздействие на микроорганизмы даже в низких концентрациях.

Растущий интерес к МКБ способствовал открытию множества новых пептидов [31]. Среди МКБ идентифицировано несколько важных родов, в том числе *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Lactosphaera*, *Melissococcus*, *Oenococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, и *Weissella*, *Vagococcus*, *Carnobacterium*, *Pediococcus* и *Leuconostoc*. Кроме того, другие роды, такие как *Bifidobacterium*, *Microbacterium*, *Aerococcus* и *Propionibacterium*, вносят свой вклад в разнообразие видов [24]. Известные виды МКБ включают *Lactobacillus acidophilus*, *Lactococcus Lactis Lactis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus Casei*, *Lactobacillus delbrueckii bulgaricus*, *Lactofermentum*, *Lactobacillus reuteri*, *B. infantis*, *B. Teenis*, *B. breve*, *Enterococcus faecalis*, *Lactococcus Lactis Cremoris*, *Lactobacillus Casei Rhamnosus*, *Bifidobacterium bifidum*, *B. longum* и *Enterococcus faecium*, причем некоторые штаммы признаны пробиотиками [32–34]. В научных исследованиях указывается на наличие трех основных классов бактериоцинов: лантибиотики (класс I), нелантибиотики (класс II) и термочувствительные (класс III) бактериоцины.

5.1. Класс I: лантибиотики

Лантибиотики — бактериоцины класса I, которые содержат модифицированные аминокислоты лантинин и метиллантинин. Они представляют собой подкласс пептидных соединений с уникаль-

ми характеристикам [35]. На основании структурного сходства лантибиотики подразделяются на два типа.

Лантибиотики типа А — положительно заряженные пептиды удлиненной формы. Самыми известными представителями этого типа являются низин и лактацин 3147 с молекулярной массой от 2 до 4 кДа. Эти лантибиотики в первую очередь действуют путем создания пор в цитоплазматической мембране чувствительных видов-мишеней, что приводит к деполяризации мембраны. Лантибиотики типа В представляют собой нейтральные или отрицательно заряженные пептиды с более глобулярной формой [36].

5.2. Класс II: нелантибиотики

Бактериоцины II класса представляют собой группу небольших пептидов (до 10 кДа), обладающих относительно высокой термостабильностью и мембраноактивными свойствами. В отличие от бактериоцинов I класса они не содержат лантионин. Проникают в мембрану клетки-мишени для ее гибели с помощью своей спиральной структуры, которая позволяет им внедряться в мембрану клетки-мишени, что приводит к деполяризации и гибели [37]. Нелантибиотики подразделяются на три типа: первый тип активен против *Listeria monocytogenes*; второй тип содержит два различных пептида, которые действуют синергически, вызывая противомикробный эффект; третий включает в себя кольцевые бактериоцины, которые способствуют образованию пор в клетках-мишенях [37,38].

5.3. Класс III: бактериоцины

Бактериоцины характеризуются молекулярной массой более 30 кДа и состоят из белков, очень чувствительных к нагреванию. В этой связи они не являются предметом интереса исследователей по сравнению с другими классами [39]. Представители этого класса — энтеролизин, вырабатываемый *Enterococcus faecium*, и гельветцин I, продуцируемый *Lactobacillus helveticus* [40].

5.4. Класс IV: бактериолизины

Представители данного класса состоят из лейконоцина S и лактоцина [41]. Это сложные бактериоцины, содержащие различные химические соединения, в том числе липиды [26]. Бактериоцины — это специализированные белки, которые проявляют бактерицидные свойства, подавляющие развитие контаминирующей микрофлоры определенных видов. Механизмы, за счет которых они оказывают антибактериальное действие, лежат в основе классификации бактериоцинов. Среди этих механизмов создание селективных пор или каналов в мембране бактериальной клетки-мишени является одним из наиболее хорошо изученных. О существовании мембраносвязанных рецепторов в клетке-мишени свидетельствует узкий диапазон действия некоторых бактериоцинов [42]. Было обнаружено, что лантибиотики, разновидность бактериоцинов класса I, такие как низин, обладают двойным механизмом действия. Механизмы действия бактериоцинов могут оказывать различное воздействие: в одном случае они могут связываться с липидом II (универсальный рецептор, участвующий в транспорте пептидогликана), что нарушает правильный синтез клеточной стенки и приводит к гибели клеток; с другой стороны, они могут использовать липид II для инициирования образования пор мембраны, что приводит к быстрой гибели клеток. Бактериоцины могут оказывать бактериостатическое действие на одни виды бактерий и бактерицидное действие на другие, благодаря избирательному воздействию на специфические участки клеточной мембраны, вызывая изменения ее функций и целостности [37]. Воздействуя на клетки микроорганизмов, бактериоцины могут вызывать различные биохимические реакции, такие как подавление синтеза пептидогликана, разрушение клеточной ДНК и нарушение процесса расщепления рибосомальной РНК. Исследования МКБ показали широкий спектр их ингибирующего действия как на грамотрицательные, так и на грамположительные бактерии [39]. Часть бактериоцинов обладают узким специфическим воздействием, которое присутствует только у некоторых грамположительных бактерий. Примером может служить низин, который ингибирует рост стафилококков, стрептококков, бацилл, клостридий и микобактерий [43].

Бактериоцины проявляют противомикробную активность в зависимости от пептида, который может воздействовать на несколько бактерий [44].

6. Производство и очистка бактериоцинов

Бактериоцины могут вырабатываться естественным путем во время ферментации пищевых продуктов, но более масштабные количества могут вырабатываться МКБ посредством ферментации *in vitro*, проводимой в оптимальных физических и химических услови-

ях [36–45]. На рост биомассы и бактериоцинов оказывают влияние температура, активная кислотность, содержание хлоридов и других компонентов [46].

Бактериоцины и другие метаболиты, продуцируемые молочнокислыми бактериями, обычно считаются безопасными соединениями с такими свойствами, как стабильность, антимикробная активность, нетоксичность и минимальная модификация вкуса. В настоящее время в качестве пищевых добавок коммерциализированы только низин и педиоцин PA-1. Однако другие бактериоцины МКБ, такие как лакцин 3147 [47] и энтероцин AS-48 [48], перспективны в качестве биоконсервантов в пищевых продуктах.

МКБ, вырабатывающие бактериоцины, можно использовать для консервирования продуктов растительного происхождения. Исследованиями [28] было установлено, что включение МКБ, продуцирующих бактериоцинов, снижало начальную бактериальную нагрузку в готовых к употреблению смешанных овощных салатах.

Стартовые культуры, вырабатывающие бактериоцины, также используются при ферментации овощной продукции, при этом подавляется рост микроорганизмов, вызывающих порчу продукта [26]. В качестве примера механизма действия бактериоцинов можно привести лактицин 3147, который является двухкомпонентным бактериоцином, полученным из *Lactobacillus Lactis* subsp. *Lactis* DPC3147. Он эффективен против различных видов микроорганизмов [47,48]. Исследования бактериоцинов, выделяемых *Lactobacillus plantarum* F12, также показали их ингибирующую активность в отношении широкого спектра бактерий, вызывающих порчу [49].

Известно, что упаковочные пленки должны обладать определенными барьерными свойствами и защищать продукт от неблагоприятных условий внешней среды. С этой целью в настоящее время исследуются возможности включения бактериоцинов в упаковочные пленки. Исследования [50] показали, что при контакте упаковки с противомикробными пептидами и поверхностью пищевого продукта бактериоцины проникает в его матрицу и запускается процесс контролируемой диффузии. Этот процесс имеет преимущества перед опрыскиванием или погружением продуктов в бактериоцины. Для борьбы с инфекциями пищевого происхождения авторами [51] было предложено использовать мультибактериоцины — продуцирующие бактерии, сочетающие низин А с другими бактериоцинами.

Усилия ученых направлены на повышение функциональности существующих бактериоцинов, которые могут использоваться для увеличения хранимостойкости как свежего сырья, так и готовых пищевых систем. Исследования сосредоточены на устранении текущих ограничений молекулярной инженерии бактериоцинов и их производных. Цели включают повышение активности, расширение спектра противомикробных препаратов и повышение скорости доставки и высвобождения в пищевой среде. Один из потенциальных подходов в этой области включает модификацию и изменение аминокислотных последовательностей бактериоцинов [52].

Нетоксичность и статус считающихся безопасными бактериоцинов МКБ означает их огромный потенциал коммерциализации, а исследования их биологии в настоящее время являются наиболее широко изучаемым предметом биотехнологии. Их собственный пищевой консервирующий потенциал может быть усилен комбинаторными подходами с другими противомикробными агентами.

7. Ферменты

Ферменты — это глобулярные белки, которые действуют как катализаторы, ускоряющие реакцию за счет снижения энергии активации. Некоторым ферментам для каталитической активности требуются кофакторы — небольшие органические молекулы или ионы металлов. В отличие от химических катализаторов, ферменты имеют природное происхождение, действуют при умеренной температуре и давлении, обладают высокой специфичностью и биоразлагаемостью [53]. Ферменты, присутствующие во фруктах и овощах, играют огромную роль в определении текстуры, цвета, аромата и вкусовых качеств обработанных продуктов [54]. Основными ферментами в данном контексте являются липоксигеназа, пероксидаза, полифенолоксидаза и пектолитические ферменты. Липоксигеназа катализирует окисление полиненасыщенных жирных кислот в присутствии кислорода, что приводит к образованию летучих альдегидов и тем самым к изменению аромата. Пероксидаза считается причиной изменения вкуса и аромата и, кроме того, приводит к потемнению (побурению) растительных объектов. Полифенолоксидаза обуславливает потемнение тканей путем окисления полифенолов до хинонов. Пектолитические ферменты способствуют размягчению тканей и, соответственно, к изменению текстуры овощей и фруктов [55]. Таким образом, инактивация данных ферментов должна способст-

воват сохранению органолептических показателей растительных объектов или отсрочке возможных их изменений.

Целью исследования [56] было продление срока хранения фруктов и овощей с помощью нового метода, основанного на использовании микробного фермента глюкозооксидазы и нанесении тонкого слоя перекиси водорода на пищевой продукт, который защищал фрукты от гниения. Полученные наночастицы (ZnO, Ag) лигировали с помощью окисления глюкозы (GOx), полученной из *Aspergillus niger*. Исследования показали, что лигированные ферменты проявляют относительно повышенную активность. Для сравнения их эффективности были приготовлены четыре типа спреев. Глюкозооксидаза/наночастицы серебра (GOx/AgNP), глюкозооксидаза/наночастицы оксида цинка (GOx/ZnONP), спрей AgNP и ZnONP наносилились на образцы плодов гуава в качестве послепосевных обеззараживающих средств в течение 15 дней. Параметры качества фруктов, такие как общее количество взвешенных веществ (TSS), pH, убыль массы, эффективность улавливания свободных радикалов DPPH и твердость, подтверждают, что использование биоконъюгатов, особенно GOx/ZnONP, было эффективным и способствовало сохранению внешнего вида и химического состава плодов. Следовательно, ферменты, лигированные на поверхности наночастиц (ZnONP), исключительно полезны для продления срока хранения фруктов, таких как гуава, после сбора урожая.

В условиях глобализации экономики контроль за созреванием фруктов имеет стратегическое значение, поскольку чрезмерное размягчение ограничивает их срок хранения. В исследовании [57] были предприняты попытки по уменьшению степени размягчения плодов трансгенных томатов за счет подавления генов, кодирующих белки, разрушающие клеточную стенку. Однако они имели весьма ограниченный успех. Сообщается, что N-гликаны играют важную роль во время созревания фруктов, хотя роль какого-либо конкретного фермента пока неизвестна. Авторы идентифицировали два специфических для созревания фермента, модифицирующих N-гликопротеин. Показано, что их инактивация увеличивает срок хранения плодов за счет снижения скорости размягчения. Анализ трансгенных томатов выявил примерно в 2–2,5 раза более твердые плоды, а также увеличенный срок хранения примерно на 30 дней. Кроме того, сравнительные транскриптомные исследования демонстрируют снижение регуляции генов, связанных с деградацией и созреванием клеточной стенки. Из этих результатов очевидно, что процессинг N-гликанов участвует в размягчении фруктов, связанном с созреванием. Генетические манипуляции с обработкой N-гликанов могут иметь стратегическое значение для увеличения срока хранения плодов без какого-либо негативного влияния на фенотип и урожайность.

По мере увеличения количества идентифицированных ферментов и совершенствования методологий производства ферментов можно ожидать появления новых и/или улучшенных функциональных возможностей и дальнейших коммерческих пищевых ферментов, чтобы гарантировать их эффективность в сочетании с безопасностью.

8. Съедобные покрытия

В настоящее время пищевая промышленность [58,59] сталкивается с новыми вызовами в области устойчивого развития и безопасности продуктов, связанными с технологиями, упаковкой и обработкой. Стремление к получению новых и натуральных продуктов в сочетании с изменением образа жизни потребителей приводит к спросу на пищевые продукты, которые были бы менее обработаны, но обладали бы более длительным сроком хранения, сохраняя при этом питательную ценность и вкусовые качества в процессе хранения. Эти требования представляют собой реальные проблемы при работе со скоропортящимися пищевыми продуктами, такими как фрукты и овощи. В последние годы пищевые покрытия интенсивно разрабатываются и изучаются из-за их способности улучшать качество, срок годности, безопасность и функциональность обработанных продуктов.

Пищевые покрытия — это экологически чистая технология, применяемая ко многим растительным продуктам для контроля влагопередачи, газообмена или процессов окисления. Пищевые покрытия дают тот же эффект, что и хранение в модифицированной атмосфере, обеспечивая объекту дополнительную защиту. Функциональность съедобных пленок и покрытий схожа. Однако съедобные пленки и покрытия различаются по своим технологическим и физико-механическим характеристикам, поскольку они предназначены для улучшения срока хранения, барьерных и питательных свойств пищевых продуктов [60].

В связи с растущей обеспокоенностью потребителей по поводу устойчивости производства пищевых продуктов, биомакромолекулы стали использоваться при изготовлении съедобных пленок

и покрытий. Биополимеры, включающие полисахариды, белки и липиды, являются основными составляющими съедобных пленок и покрытий. Они образуют стабильные коллоидные дисперсии, которые обеспечивают удобство обработки с помощью различных методов нанесения/использования [61].

Съедобные пленки и покрытия из биополимеров требуют усовершенствований для повышения их эффективности из-за ряда структурных и барьерных ограничений. Таким образом, подготовка смесей и композиций, включая целевых молекул для придания различных функциональных свойств и создание сложных многослойных слоев являются частью современных исследовательских подходов, разработанных для преодоления этих ограничений. Эти подходы обеспечивают улучшение сохранности пищевых продуктов и увеличенный срок хранения, что является важным требованием по утилизации пищевых отходов, с минимальным влиянием или без минимального влияния на текстуру, вкус и пищевую ценность продуктов питания [62].

Съедобные покрытия наносятся различными способами — погружением в раствор, распылением или покрытием с целью контроля влагопереноса, газообменных процессов или окисления. Кроме того, в съедобную матрицу могут быть включены некоторые функциональные ингредиенты и далее нанесены на поверхность пищевых продуктов с целью повышения безопасности или питательных и сенсорных свойств. В случае фруктов и овощей в оболочке следует учитывать их параметры качества, такие как цвет, твердость, микробная нагрузка, степень разложения, потеря веса, органолептические свойства и параметры питания, которые очень специфичны для типа продуктов и условий их хранения [63].

Одним из ингредиентов, используемых для создания съедобных покрытий, является гуммиарабик — полисахаридный полимер, который встречается в природе и широко применяется в биологической промышленности. Его получают в основном из деревьев акации сенегальской и акации сейал. Недавно гуммиарабик стал использоваться в качестве пищевого покрытия после сбора урожая и вызвал большой интерес благодаря своей способности сохранять качество и увеличивать срок хранения свежих продуктов. Он считается эффективным пищевым консервантом благодаря своим благоприятным эмульгирующим, стабилизирующим, связывающим и продлевающим срок хранения свойствам [64].

Одним из основных преимуществ использования пищевых пленок и покрытий является то, что несколько активных ингредиентов могут быть включены в полимерную матрицу и употребляться с пищевыми продуктами, тем самым повышая безопасность или даже питательные и сенсорные свойства. Действенность пищевых покрытий для свежих продуктов полностью зависит от контроля внутреннего газового состава.

9. Фитохимикаты

Фрукты и овощи являются наиболее важными источниками фитохимических веществ, которые могут использоваться как в рационе человека, так и в качестве натуральных противомикробных средств при консервировании пищевых продуктов. Их польза для здоровья обусловлена главным образом высокой антиоксидантной активностью. Антимикробные препараты растительного происхождения могут играть роль не только в подавлении пищевых патогенов, но также способствовать приданию вкуса пище. Фитохимические вещества оказывают сильное влияние на контроль и предотвращение естественных процессов порчи и роста микроорганизмов, включая патогены, вызывающие проблемы с безопасностью пищевых продуктов [65].

Помимо потенциального продления срока годности различных товаров (включая продукты питания, косметику и фармацевтические препараты), фитохимические вещества, полученные из побочных продуктов пищевой масложировой промышленности, также могут иметь дополнительные преимущества благодаря своим антиоксидантным и антибактериальным свойствам [66].

Увеличение и/или снижение фитохимических показателей может быть полезно при хранении фруктов: повышенная концентрация антиоксидантов может продлить срок хранения и снизить поражение послепосевными заболеваниями [67].

Для ингибирования микроорганизмов порчи и патогенов используют эфирные масла [68]. Например, авторы [69] установили, что добавление к промысловочной воде салата-латука базиликового масла в концентрации 0,1–1% по эффективности равно добавлению хлора в концентрации 125 мг/кг. Вызывает интерес также использование экстракта из семян грейпфрута, обладающего антимикробными свойствами благодаря высокому содержанию фенольных соедине-

ний. Этот экстракт использовали для ингибирования роста *Listeria monocytogenes* и *Salmonellas* sp. на нарезанных свежих огурцах и салате-латуке [70]. Консервирующим эффектом обладает также экстракт зеленого чая при обработке нарезанного свежего салата-латука, при этом снижаются потери аскорбиновой кислоты и каротиноидов [71].

Конкретный вид обработки растительных объектов может быть выбран на основе анализа контаминирующих микроорганизмов и экономической целесообразности в цепочке создания стоимости конечного продукта.

10. Выводы

Послеуборочные потери цельных и свежесрезанных фруктов и овощей приводят к значительному сокращению доступности продовольствия и к увеличению экономических потерь. Кроме того, регулирующие органы все больше ограничивают использование синтетических химикатов после сбора урожая. Это усилило необходимость разработки экологически безопасных подходов к послеубо-

рочному управлению, таких как использование природных соединений, микроорганизмов-антагонистов.

Исследования по разработке новых технологий для улучшения послеуборочной обработки свежих фруктов и овощей, а также продуктов минимальной переработки в настоящее время имеют решающее значение.

Производители продуктов питания стремятся удовлетворить меняющиеся желания потребителей, сохраняя при этом наивысшую пищевую ценность поставляемой ими продукции. Для сохранения пищевых продуктов наиболее часто используются физико-химические методы, в том числе упаковка в модифицированной атмосфере, мембранные методы или ультразвук. Альтернативно могут быть применены биологические методы: бактериофаги и фаговые коктейли, бактерицины, инактивация ферментов деградации растительной ткани, фитохимикаты, съедобные покрытия. При этом они могут использоваться как монообработка для ограничения роста бактерий в пищевой среде, а также в сочетании с другими методами обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Paparella, A., Maggio, F. (2023). Detection and control of foodborne pathogens. *Foods*, 12(19), Article 3521. <https://doi.org/10.3390/foods12193521>
- Chung, K. M., Liau, X. L., Tang, S. S. (2023). Bacteriophages and their host range in multidrug-resistant bacterial disease treatment. *Pharmaceuticals*, 16 (10), Article 1467. <https://doi.org/10.3390/ph16101467>
- Vaca, J., Ortiz, A., Sansinenea, E. (2022). A study of bacteriocin like substances comparison produced by different species of Bacillus related to B. cereus group with specific antibacterial activity against foodborne pathogens. *Archives of Microbiology*, 5, 205(1), Article 13. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03556-0>
- Jamal, M., Bukhari, S., Andleeb, S., Ali, M., Raza, S., Nawaz, M. et al. (2018). Bacteriophages: An overview of the control strategies against multiple bacterial infections in different fields. *Journal of Basic Microbiology*, 59(2), 123–133. <https://doi.org/10.1002/jobm.201800412>
- Petrovic Fabijan, A., Iredell, J., Danis-Wlodarczyk, K., Kebriaei, R., Abedon S. (2023). Translating phage therapy into the clinic: Recent accomplishments but continuing challenges. *PLoS Biology*, 21(5), Article e3002119. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002119>
- Zuppi, M., Hendrickson, H. L., O'Sullivan, J. M., Vatanen, T. (2022). Phages in the gut ecosystem. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, Article 822562 <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.822562>
- Mani, I. (2023). Phage and phage cocktails formulations. Chapter in a book: *Progress in Molecular Biology and Translational Science*. Elsevier Inc., 2023. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2023.04.007>
- Gordillo Altamirano, F. L., Barr, J. J. (2019). Phage therapy in the Postantibiotic Era. *Clinical Microbiology Reviews*, 32(2), Article e00066–18. <https://doi.org/10.1128/CMR.00066-18>
- Dennehy, J. J., Abedon, S. T. (2020). Adsorption: Phage Acquisition of Bacteria. Chapter in a book: *Bacteriophages*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41986-2_2
- Amjad, K. (2020). Phage-bacteria interaction and prophage sequences in bacterial genomes. Electronic Thesis and Dissertation Repository. The University of Western Ontario. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/6957>
- Aframian, N., Bendori, S. O., Hen, S., Guler, P., Stokar-Avihail, A., Manor, E. et al. (2021). Dormant phages communicate to control exit from lysogeny. *bioRxiv*, Preprint <https://doi.org/10.1101/2021.09.20.460909>
- Schneider, C. L. (2017). Bacteriophage-mediated horizontal gene transfer: Transduction. Chapter in a book: *Bacteriophages*. Springer, Cham. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40598-8_4-1
- Endersen, L., Coffey A. (2020). The use of bacteriophages for food safety. *Current Opinion in Food Science*, 36, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.006>
- Liu, A., Liu, Y., Peng, L., Cai, X., Shen, L., Duan, M. et al. (2020). Characterization of the narrow-spectrum bacteriophage LSE7621 towards Salmonella Enteritidis and its biocontrol potential on different foods. *LWT*, 118, Article 108791. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108791>
- Liu, N., Lewis, C., Zheng, W., Fu, Z. Q. (2020). Phage cocktail therapy: Multiple ways to suppress pathogenicity. *Trends in Plant Science*, 25(4), 315–317. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.013>
- Wójcicki, M., Świder, O., Gientka, I., Błażej, S., Średnicka, P., Shymialewicz, D. et al. (2023). Effectiveness of a phage cocktail as a potential biocontrol agent against saprophytic bacteria in ready-to-eat plant-based food. *Viruses*, 15, Article 172. <https://doi.org/10.3390/v15010172>
- Duc, H. M., Zhang, Y., Hoang, S. M., Masuda, Y., Honjoh, K.-I., Miyamoto, T. (2023). The use of phage cocktail and various antibacterial agents in combination to prevent the emergence of phage resistance. *Antibiotics*, 12(6), Article 1077. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12061077>
- Wong, C. W. Y., Delaquis, P., Goodridge, L., Lévesque R. C., Fong, K., Wang, S. (2020). Inactivation of Salmonella enterica on post-harvest cantaloupe and lettuce by a lytic bacteriophage cocktail. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.cfrs.2019.11.004>
- Toprak, Z. T., Sanlibaba, P. (2020). Application of Phage for Biocontrol of Salmonella Species in Food Systems. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 8(10), 2214–2221. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i10.2214-2221.3689>
- Hong, Y.-P., Cho, J. W., Lee, J. H., Yang, R.-Y. (2015). Combining of bacteriophage and G. asaii application to reduce *L. monocytogenes* on fresh-cut melon under low temperature and packing with functional film. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 3(1–2), 79–83. <https://doi.org/10.11648/j.fjns.s.2015030102.25>
- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Sarkar, T., Pati, S., Basu, D. et al. (2022). Bacteriocin: A natural approach for food safety and food security. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, Article 1005918. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1005918>
- Cleveland, J., Montville, T. J., Nes, I. F., Chikindas, M. L. (2001). Bacteriocins: Safe, natural antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 71(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00560-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00560-8)
- Anjana, P., Tiwari, S. K. (2022). Bacteriocin-producing probiotic lactic acid bacteria in controlling dysbiosis of the gut microbiota. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, Article 851140. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.851140>
- Taye, Y., Degu, T., Fesseha, H., Mathewos, M. (2021). Isolation and identification of lactic acid bacteria from cow milk and milk products. *The Scientific World Journal*, Article 4697445. <https://doi.org/10.1155/2021/4697445>
- Barreto Pinilla, C. M., Brandelli, A., Ataíde Isaia, H. (2024). Probiotic Potential and Application of Indigenous Non-Starter Lactic Acid Bacteria in Ripened Short-Aged Cheese. *Current Microbiology*, 81, Article 202. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-05729-2>
- Mekala, P. N., Ansari, R. M. H. (2023). Biotechnological potential of lactic acid bacteria derived bacteriocins in sustainable food preservation. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 14(3), 24–35. <https://doi.org/10.30574/wjbps.2023.14.3.0245>
- Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS Microbiology*, 4(4), 665–684. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665>
- Contessa, C. R., de Souza, N. B., Gonçalo, G. B., de Moura, C. M., da Rosa, G. S., Moraes, C. C. (2021). Development of active packaging based on agar-agar incorporated with bacteriocin of Lactobacillus sakei. *Biomolecules*, 11(12), Article 1869. <https://doi.org/10.3390/biom11121869>
- Strack, L., Carli, R. C., da Silva, R. V., Sartor, K. B., Colla, L. M., Reinehr, C. O. (2020) Food biopreservation using antimicrobials produced by lactic acid bacteria. *Research Society and Development*, 9(8), Article e998986666. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6666>
- Perez, R. H., Zendo, T., Sonomoto, K. (2022). Multiple bacteriocin production in lactic acid bacteria. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 134(4), 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2022.07.007>
- Tang, H., Huang, W., Yao, Y.-F. (2023). The metabolites of lactic acid bacteria: Classification, biosynthesis and modulation of gut microbiota. *Microbial Cell*, 10(3), 49–62. <https://doi.org/10.15698/mic2023.03.792>
- Alameri, F., Tarique, M., Osaili, T., Obaid R., Abdalla, A., Masad R. et al. (2022). Lactic acid bacteria isolated from fresh vegetable products: Potential probiotic and postbiotic characteristics including immunomodulatory effects. *Microorganisms*, 10(2), Article 389. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020389>
- Szutowska, J., Gwiazdowska, D. (2021). Probiotic potential of lactic acid bacteria obtained from fermented curly kale juice. *Archives of Microbiology*, 203(3), 975–988. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-02095-4>
- Parlindungan, E., Lugli, G., Ventura, M., van Sinderen, D., Mahony, J. (2021). Lactic acid bacteria diversity and characterization of probiotic candidates in fermented meats. *Foods*, 10(7), Article 1519. <https://doi.org/10.3390/foods10071519>
- Małaczewska, J., Kaczorek-Łukowska, E. (2021). Nisin — a lantibiotic with immunomodulatory properties: A review. *Peptides*, 137, Article 170479. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2020.170479>
- Wang, X., Gu, Q., Breukink, E. (2020). Non-lipid II targeting lantibiotics. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Biomembranes*, 1862(8), Article 183244. <https://doi.org/10.1016/j.bbame.2020.183244>
- Negash, A. W., Tsehai, B. A. (2020). Current applications of bacteriocin. *International Journal of Microbiology*, 2020, Article 4374891. <https://doi.org/10.1155/2020/4374891>
- Antoshina, D. V., Balandin, S. V., Ovchinnikova, T. V. (2022). Structural features, mechanisms of action, and prospects for practical application of class II bacteriocins. *Biochemistry (Moscow)*, 87(11), 1387–1403. <https://doi.org/10.1134/S0006297922110165>
- Timothy, B., Iliyasu, A. H., Anvikar, A. R. (2021). Bacteriocins of lactic acid bacteria and their industrial application. *Current Topics in Lactic Acid Bacteria and Probiotics*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.35732/ctlabp.2021.7.1.1>
- Angelescu, I.-R., Grosu-Tudor, S.-S., Cojoc L.-R., Maria, G.-M., Zamfir, M. (2021). Isolation, characterization, and applicability of Helveticin 34.9, a class iii bacteriocin produced by Lactobacillus Helveticus 34.9. *Research Square*, Preprint. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-808205/v1>

41. Kumariya, R., Garsa, A. K., Rajput, Y. S., Sood, S. K., Akhtar, N., Patel, S. (2019). Bacteriocins: Classification, synthesis, mechanism of action and resistance development in food spoilage causing bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 128, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.01.002>
42. Darbandi, A., Asadi, A., Mahdizadeh Ari, M., Ohadi, E., Talebi, M., Halaj Zadeh, M. et al. (2022). Bacteriocins: Properties and potential use as antimicrobials. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36(1), Article e24093. <https://doi.org/10.1002/jcla.24093>
43. Lauková, A., Pogány Simonová, M., Focková, V., Kološta, M., Tomáška, M., Dvorožňáková, E. (2020). Susceptibility to bacteriocins in biofilm-forming, variable staphylococci isolated from local slovak ewes' milk lump cheeses. *Foods*, 22, 9(9), Article 1335. <https://doi.org/10.3390/foods9091335>
44. Simons, A., Alhanout, K., Duval, R. E. (2020). Bacteriocins, antimicrobial peptides from bacterial origin: Overview of their biology and their impact against multidrug-resistant bacteria. *Microorganisms*, 8(5), Article 639. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050639>
45. Huang, F., Teng, K., Liu, Y., Cao, Y., Wang, T., Ma, C. et al. (2021). Bacteriocins: Potential for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, Article 5518825. <https://doi.org/10.1155/2021/5518825>
46. Veettil, V. N., Chitra V. A. (2022). Optimization of bacteriocin production by *Lactobacillus plantarum* using Response Surface Methodology. *Cellular and Molecular Biology*, 68(6), 105–110. <https://doi.org/10.14715/cmb/2022.68.6.17>
47. Ryan, A., Patel, P., O'Connor, P. M., Ross, R. P., Hill, C., Hudson, S. P. (2021). Pharmaceutical design of a delivery system for the bacteriocin lactacin 3147. *Drug Delivery and Translational Research*, 11(4), 1735–1751. <https://doi.org/10.1007/s13346-021-00984-9>
48. Ross, J. N., Fields, F. R., Kalwajtys, V. R., Gonzalez, A. J., O'Connor, S., Zhang, A. et al. (2020). Synthetic peptide libraries designed from a minimal Alpha-helical domain of AS-48-Bacteriocin homologs exhibit potent antibacterial activity. *Frontiers In Microbiology*, 11, Article 589666. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.589666>
49. Wang, M. (2023). In Vitro fermentation. *Fermentation*, 9(2), Article 86. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020086>
50. Steier, V., Prigolovkin, L., Reiter, A., Neddermann, T., Wiechert, W., Reich, S. J. et al. (2024). Automated workflow for characterization of bacteriocin production in natural producers *Lactococcus lactis* and *Latilactobacillus sakei*. *Microbial Cell Factories*, 23(1), Article 74. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02349-6>
51. Abedin, M. M., Chourasia, R., Phukon, L. C., Sarkar, P., Ray, R. C., Singh, S. P. et al. (2023). Lactic acid bacteria in the functional food industry: Biotechnological properties and potential applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 5, 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2227896>
52. Guo, L., Stoffels, K., Broos, J., Kuipers, O. P. (2024). Engineering hybrid lantibiotics yields the highly stable and bacteriocidal peptide cerocin V. *Microbiology Research*, 282, Article 127640. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127640>
53. Fernandes, P. (2018). Enzymatic processing in the food industry. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22341-X>
54. Heirangkhongjam, M. D., Agarwal, K., Agarwal, A., Jaiswal N. (2022). Role of enzymes in fruit and vegetable processing industries: Effect on quality, processing method, and application. Chapter in a book: Novel Food Grade Enzymes. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1288-7_3
55. Motta, J. F. G., Freitas B. C. B. de, Almeida A. F. de, Martins G. A. de S., Borges, S. V. (2023). Use of enzymes in the food industry: A review. *Article Food Science and Technology*, 43, Article e106222. <https://doi.org/10.1590/fst.106222>
56. Shouket, S., Khurshid, S., Khan, J., Batool, R., Sarwar, A., Aziz, T. et al. (2023). Enhancement of shelf-life of food items via immobilized enzyme nanoparticles on varied supports. A sustainable approach towards food safety and sustainability. *Food Research International*, 169, Article 112940. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112940>
57. Meli, V. S., Ghosh, S., Prabha, T. N., Chakraborty, N., Chakraborty, S., Datta, A. (2010). Enhancement of fruit shelf life by suppressing N-glycan processing enzymes. *PNAS*, 107(6), 2413–2418. <https://doi.org/10.1073/pnas.0909329107>
58. Посокина, Н. Е., Захарова, А. И. (2023). Современные нетермические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его хранимостности. *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>
59. Miteluț, A. C., Popa, E. E., Drăghici, M. C., Popescu, P. A., Popa, V. I., Bujor, O. C. et al. (2021). Latest developments in edible coatings on minimally processed fruits and vegetables: A review. *Foods*, 10(11), Article 2821. <https://doi.org/10.3390/foods10112821>
60. Díaz-Montes, E., Castro-Muñoz, R. (2021). Edible films coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, 26, 10(2), Article 249. <https://doi.org/10.3390/foods10020249>
61. Martins, V. F. R., Pintado, M. E., Morais, R. M. S. C., Morais, A. M. M. B. (2024). Recent highlights in sustainable bio-based edible films and coatings for fruit and vegetable applications. *Foods*, 13(2), Article 318. <https://doi.org/10.3390/foods13020318>
62. Matloob, A., Ayub, H., Mohsin, M., Ambreen, S., Khan, F. A., Oranab, S. et al. (2023). A review on edible coatings and films: Advances, composition, production methods, and safety concerns. *ACS Omega*, 8(32), 28932–28944. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03459>
63. Miteluț, A. C., Popa, E. E., Drăghici, M. C., Popescu, P. A., Popa, V. I., Bujor, O.-C. et al. (2021). Latest developments in edible coatings on minimally processed fruits and vegetables: A review. *Foods*, 10(11), Article 2821. <https://doi.org/10.3390/foods10112821>
64. Tiarniyu, Q. O., Adebayo, S. E., Yusuf, A. A. (2023). Gum Arabic edible coating and its application in preservation of fresh fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry Advances*, 2, Article 100251. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100251>
65. Pinto, L., Tapia-Rodríguez, M. R. Baruzzi, F. Ayala-Zavala, J. F. (2023). Plant antimicrobials for food quality and safety: Recent views and future challenges. *Foods*, 12(12), Article 2315. <https://doi.org/10.3390/foods12122315>
66. Biswas, O., Kandasamy, P., Nanda, P. K., Biswas, S., Lorenzo, J. M., Das, A. et al. (2023). Phytochemicals as natural additives for quality preservation and improvement of muscle foods: A focus on fish and fish products. *Food Materials Research*, 3, Article 5. <https://doi.org/10.48130/FMR-2023-0005>
67. Galal, H. (2021). Impact of post-harvest treatments on the antioxidant content of fruits and vegetables. *Egyptian Journal of Horticulture*, 49 (1), 25–33. <https://doi.org/10.21608/EJOH.2021.96104.1184>
68. Albuquerque, P. M., Azevedo, S. G., de Andrade, C. P., D'Ambros, N. C. d. S., Pérez, M. T. M., Manzato, L. (2022). Biotechnological applications of nanoencapsulated essential oils: A review. *Polymers*, 14(24), Article 5495. <https://doi.org/10.3390/polym14245495>
69. Wan, J., Wilcock, A., Coventry, M. J. (1998). The effect of essential oils of basil on the growth of *Aeromonas hydrophila* and *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Applied Microbiology*, 84(2), 152–158. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00338.x>
70. Kim, T., Kim, J.-H., Oh, S.-W. (2021). Grapefruit seed extract as a natural food antimicrobial: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 14(4), 626–633. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02610-5>
71. Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Ab Aziz, M. F., Sazili, A. Q. (2021). Green extraction of bioactive compounds from plant biomass and their application in meat as natural antioxidant. *Antioxidants*, 10(9), Article 1465. <https://doi.org/10.3390/antiox10091465>

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 Тел.: +7-926-367-75-07 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 Tel.: +7-926-367-75-07 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 Тел.: +7-903-187-14-08 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 Tel.: +7-903-187-14-08 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.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.