

<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s160>

УДК 637.03:579.7

Использование протеолитических свойств биомассы молочнокислых микроорганизмов для создания новых продуктов питания

К.-М. Альхатиб, Т. Н. Данильчук

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Данильчук Татьяна Николаевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, г. Москва, Волоколамское ш., 11.
E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов

Поступила: 08.12.2022**Принята:** 28.12.2022**Опубликована:** 30.12.2022**Copyright:** © 2022 Авторы**АННОТАЦИЯ**

Введение. Молочнокислые микроорганизмы широко используются в производстве молочнокислых продуктов питания, в том числе и для создания новых продуктов с функциональными свойствами. Способность некоторых видов молочнокислых организмов продуцировать протеолитические ферменты можно использовать и в других пищевых отраслях, в частности в мясной отрасли. Это вопрос в научной литературе изучен недостаточно.

Цель. Цель исследования состоит в обосновании целесообразности применения биомассы молочнокислых микроорганизмов — продуцентов протеолитических ферментов для модификации свойств жесткого мясного сыра.

Материалы и методы. В работе проведен мониторинг научной литературы по вопросам использования протеолитических ферментов в пищевой отрасли и в производстве кормов для животных, по вопросам влияния различных факторов на свойства ферментов, зависимости качества пищевых продуктов от состояния белкового компонента. Проведены эксперименты по культивированию микроорганизмов — продуцентов протеолитических ферментов и их воздействию на мясное сырье.

Результаты. Показана эффективность использования подсырной сыворотки для культивирования консорциума микроорганизмов *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii ssp Shermanii*. Показана эффективность применения полученной биомассы для обработки жесткого мясного сыра.

Выводы. В результате такой обработки мясное сырье приобрело улучшенные функционально-технологические свойства (время созревания, влагосвязывающая способность, вододерживающая способность, предельное напряжение сдвига, текстура и цвет мяса), что позволяет использовать модифицированное сырье для выработки новых мясных продуктов с хорошими потребительскими свойствами (вкус, аромат, нежность мясного продукта, усвояемость белка). Кроме того, протеолитические ферменты являются защитным фактором от многих неблагоприятных микроорганизмов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

молочнокислые микроорганизмы, протеолитическая активность, модификация свойств мясного сыра



Для цитирования: Альхатиб, М. К., & Данильчук, Т. Н. (2022). Использование протеолитических свойств биомассы молочнокислых микроорганизмов для создания новых продуктов питания. *Health, Food & Biotechnology*, 4(4), 65–77. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s160>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s160>

The Use of the Proteolytic Properties of the Biomass of Lactic Acid Microorganisms for the New Food Products Creation

Kamal-M. Alkhateeb, Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Tatyana N. Danilchuk,
Russian Biotechnological University
(BIOTECH University),
11, Volokolamskoe sh., Moscow,
125080, Russia.
E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 08.12.2022
Accepted: 28.12.2022
Published: 30.12.2022

Copyright: © 2022 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Lactic acid microorganisms are widely used in the production of lactic acid foods, including for the creation of new products with functional properties. The ability of some types of lactic acid organisms to produce proteolytic enzymes can be used in other food industries, in particular in the meat industry. This issue has not been studied enough in the scientific literature.

Purpose. The purpose of this work is to substantiate the feasibility of using biomass of lactic acid microorganisms – producers of proteolytic enzymes to modify the properties of hard meat raw materials.

Materials and Methods. The paper monitors the scientific literature on the use of proteolytic enzymes in the food industry and in the production of animal feed, on the influence of various factors on the properties of enzymes, the dependence of food quality on the state of the protein component. Experiments were carried out on the cultivation of microorganisms – producers of proteolytic enzymes and their effect on meat raw materials.

Results. The efficiency of using subsurface serum for the cultivation of a consortium of microorganisms is shown. The efficiency of using the obtained biomass for processing hard meat raw materials is shown.

Conclusion. As a result of such processing, meat raw materials have acquired improved functional and technological properties (maturation time, moisture binding ability, water retention ability, shear stress limit, texture, and color of meat), which allows the use of modified raw materials for the production of new meat products with good consumer properties (taste, aroma, tenderness of meat product, protein digestibility). In addition, proteolytic enzymes are a protective factor against many unfavorable microorganisms.

KEYWORDS

lactic acid microorganisms, proteolytic activity, modification of the properties of meat raw materials



To cite: Alkhateeb, M. K., & Danilchuk, T. N. (2022). The Use of the Proteolytic Properties of the Biomass of Lactic Acid Microorganisms for the New Food Products Creation. *Health, Food & Biotechnology*, 4(4), 65–77. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s160>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание в научной литературе уделяется вопросам создания новых полезных пищевых продуктов, что обусловлено увеличением спроса на продукты питания для здорового образа жизни. В условиях развития рынка актуальным является расширение ассортимента таких продуктов, в том числе функциональной направленности, для обеспечения возрастающих потребностей населения. Среди этих продуктов особое место занимают молочнокислые продукты, как традиционные, полученные с использованием заквасок на основе различных форм бифидобактерий, лактобактерий, пропионовокислых бактерий или на основе различных комбинаций бактерий и грибов (Шендеров, 2018), так и новые, полученные с использованием различных добавок и наполнителей. Комбинирование молочного сырья с ингредиентами растительного происхождения придает новым продуктам дополнительную функциональную направленность и улучшает их пищевую ценность, дает возможность создавать продукты с заданными свойствами (Данильчук, 2020; Бисенгалиев, 2016; Venegas-Ortega, 2019).

В последние годы среди потребителей увеличивается популярность продуктов, содержащих как живые бактерии, так и их метаболиты после ферментации молока определенными штаммами микроорганизмов.

К настоящему времени систематизированы статистические данные и данные научной литературы, подтверждающие, что регулярное употребление в пищу кисломолочных продуктов повышает иммунный статус организма, понижает вероятность возникновения онкологических заболеваний из-за способности молочнокислых микроорганизмов угнетать рост патогенной микрофлоры и нормализовать кишечную микрофлору, усиливать перистальтику кишечника, увеличивать усвояемость молочного белка и лактозы (Шендеров, 2018).

Молочнокислые микроорганизмы используются в переработке сельскохозяйственного сырья: овощей, фруктов, кормовых культур, предназначенных для силосования. При заготовке растительных кормов используется способность молочнокислых бактерий продуцировать бактериоцины. Молочнокислые бактерии вносят в определенном количестве в силосуемую массу происходит активизация молочнокислого брожения, что приводит к подкислению силосуемой массы и к подавлению маслянокислого брожения, роста дрожжей и грибов (Бирюк, 2021). Актуальной задачей в этом направлении является исследование свойств различных консорциумов микроорганизмов, для получения силоса, более эффективно усвояемого животными и обогащенного аминокислотами и витаминами (Каблова, 2015). Биологическое консервирование овощей и фруктов происходит по тому же

принципу, что и силосование корма. Углеводы растений под воздействием молочнокислых бактерий превращаются в молочную и уксусную кислоты, которые в сочетании с низкими значениями pH являются естественными консервантами (Посокина, 2018). Молочнокислому брожению подвергают капусту, морковь, огурцы, зеленые томаты, листовые овощи, зелень и оливки. Бобовые культуры также заготавливают с использованием процессов брожения, при этом применение в закваске молочнокислых микроорганизмов позволяет придать продукту специфические вкус, аромат и консистенцию (Царева, 2014).

Лактобактерии родов *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* используются в производстве вин. Эти микроорганизмы обеспечивают брожение сырья по яблочномолочному типу в высококислотных винах. Особенностью их действия является сбраживание яблочной кислоты и инертность к другим химическим компонентам вина. Однако некоторые виды лактобактерий могут испортить вино, вызвав только молочнокислое брожение, что приводит к разложению винной кислоты и прогорканию (Агеева, 2018).

Молочнокислые микроорганизмы совместно со стафилококками, дрожжами и мицелиальными грибами входят в состав стартовых культур микроорганизмов, которые применяются при производстве мясных продуктов для ферментативного преобразования структуры сырья, формирования специфического аромата и стабильной окраски. К основным технологическим свойствам стартовых культур можно отнести сбраживание углеводов с образованием молочной кислоты, что обеспечивается жизнедеятельностью молочнокислых микроорганизмов. Особенно актуальным является подбор стартовых культур, способных размягчать мясное сырье низких сортов. Например, использование консорциума микроорганизмов *Lactobacillus plantarum*, *Bifidobacterium siccum*, *Staphylococcus carnosus*, *Lactobacillus plantarum* позволяет ускорить производство сырокопченых колбас и получать высококачественные продукты из малоценного мясного сырья (Нестеренко, 2014).

Значимость применения молочнокислых бактерий в производстве новых продуктов питания обусловлена их безопасностью для человека и животных (общепризнанными безопасными — GRAS) и благотворным влиянием на здоровье человека (Othman, 2017; Zielinska, 2018; Kavitate, 2018; Chlebowska-Smigiel, 2019; Никифорова, 2022).

В создании новых продуктов питания с использованием молочнокислых микроорганизмов важно учитывать не только их способность сбраживать сахара в молочную кислоту, но и их протеолитический потенциал. В частности, протеолитические ферменты как продукты жизне-

деятельности микроорганизмов используются в мясной отрасли для модификации свойств мясного сырья в целях повышения его нежности и степени гидратации, улучшения качества полученных из модифицированного сырья мясных продуктов.

Спрос в пищевых производствах на протеолитические ферменты постоянно растет, что обуславливает развитие научного направления по выявлению новых живых организмов – продуцентов протеолитических ферментов (Razzaq, 2019; Sharma, 2019). В научной литературе возрастает количество исследований активности, физиологической функции протеолитической системы молочнокислых бактерий и способов ее регуляции (Sun, 2019, 2020; García-Cano, 2019; Matti, 2019). Однако использование протеолитического потенциала молочнокислых микроорганизмов для создания новых мясных продуктов в научной литературе обсуждается не столь широко, в отличие от аналогичного аспекта в создании новых молочных продуктов.

Протеолитическая система молочнокислых бактерий реализует их особые физиологические свойства, связанные с утилизацией казеина в молоке, что обеспечивает клетки бактерий незаменимыми аминокислотами в процессе их роста. Протеолитические ферменты молочнокислых бактерий представлены протеиназами, пептидазами и специфическими транспортными белками. Протеиназы расщепляют казеин на пептиды, которые затем расщепляются внутриклеточными пептидазами до более мелких пептидов и аминокислот. Транспортные системы осуществляют перенос аминокислот и пептидов через цитоплазматическую мембрану (Kenney, 2003). Механизмы поддержания через клеточный протеолиз уровня регуляторных белков или их удаления определяют органолептические свойства кисломолочных продуктов (Savijoki, 2006). Например, горькие пептиды, образующиеся при протеолизе казеина, ухудшают органолептические показатели молочных продуктов, придавая им горький вкус (Zhao, 2016).

Молочнокислые бактерии могут продуцировать протеолитические ферменты как внутри клетки, так и во внешней среде. Протеолитические ферменты используются не только для гидролиза белков, но и для коагуляции молочных белков, например в сыроделии. Оптимальный pH для развития и роста протеолитических бактерий в молоке составляет 7–7,5 (Worsztynowicz, 2020; Ji, 2021; Linares-Morales, 2020). Способность разлагать молочные белки наблюдается у бацилл и у молочнокислых стрептококков, хотя и в меньшей степени, чем у типичных протеолитических бактерий, таких как *Proteus*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Clostridium* и некоторых штаммов *Micrococcus* (Cichosz, 2006). Протеолитический потенциал термофильных видов лактобацилл более высокий, чем у палочек или стрептококков.

Наиболее протеолитически активными видами лактобацилл являются *Lactocaseibacillus casei*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. болгарский, *Lactocaseibacillus helveticus* и *Lactocaseibacillus acidophilus*, а наименее активным видом является *Lactiplantibacillus plantarum*. Среди кокков наиболее активны виды *Lactococcus salivarius* subsp. *thermophilus* (ранее называвшийся *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*) и *Lactococcus* лактис подвид *cremonis*, а наименее активным является *Lactococcus* лактис подвид лактис. В целом активность палочек больше, чем у молочнокислых стрептококков (Saidi, 2020; Toe, 2019; Lim, 2019; Wa'sko, 2012).

Микробные культуры, имеющие богатый набор ферментов, включая и протеолитические, широко используются при производстве кисломолочных продуктов (сыра, йогурта, кефира и других) и легкоусвояемых молочных продуктов для больных детей. Из молока с помощью протеолитических ферментов получают различные белковые гидролизаты (Razzaq, 2019; Abada, 2018; Worsztynowicz, 2019; Munir, 2019; Ozturkoglu-Budak, 2016).

Некоторые микробные протеазы, продуцируемые молочнокислыми бактериями, могут заменить химозин в производстве сыра (Dos Santos Aguilar, 2018). Кроме того, молочнокислые бактерии, например *Enterococcus faecalis* VB43, могут продуцировать ферменты, способные гидролизовать аллергенные белки в молоке, поэтому они имеют хороший потенциал для производства гипоаллергенных молочных продуктов (Biscola, 2018). *Enterococcus faecalis* способна продуцировать также активную протеазу, что указывает на возможность ее применения для поддержки расщепления и высвобождения биоактивных пептидов из сывороточного белка (Worsztynowicz, 2019).

В производстве хлеба и макарон протеолитические ферменты в сильной степени влияют на реологические свойства теста, что обуславливает качество готового продукта. Протеолитический потенциал молочнокислых бактерий в закваске способствуют улучшению процесса выпечки теста, улучшает вкус и аромат хлеба, продлевает срок его хранения и способствует повышению поднимемости дрожжевого теста (Mamo, 2018; Scarnato, 2017; Mohan Kumar, 2019; Moghaddam, 2020; Sarabhai, 2020).

Биомассу молочнокислых микроорганизмов, способную продуцировать протеолитические ферменты, можно использовать для обработки мясного сырья в целях изменения его функционально технологических свойств.

В мясе под влиянием ферментов, обладающих протеолитической активностью, происходит биотрансформация мышечных белков и белков соединительной ткани, приводящая к увеличению реакционной способности сульфгидрильных, гидроксильных и карбоксильных

и аминокислот. В результате сокращается время созревания мяса, оно становится более нежным, повышается степень гидратации и усвояемость белков мяса, увеличивается содержание растворимых и свободных аминокислот и малых пептидов, что улучшает вкусовые качества мяса. Протеолитические ферменты влияют на правильную текстуру, аромат и цвет мяса (Ahmad, 2019; Da Silva, 2017; Singh, 2019; Arshad, 2016; Krasnowska, 2004). Кроме улучшения функционально-технологических и органолептических свойств воздействие протеолитических ферментов является защитным фактором от многих неблагоприятных микроорганизмов и окисления липидов (Lorenzo, 2018).

Эксперименты по изучению влияния добавок кисло-молочного продукта «Кефинар» на динамику функционально-технологических свойств мясного сырья и пищевую ценность деликатесных мясных изделий (Меренкова С.П., 2015) показали, что добавки этого продукта в количестве 40–48 % от объема рассола приводили к увеличению на 34,51–36,80 % водосвязывающей способности мясного сырья и увеличению гидрофильности мышечной ткани. Были проведены модельные эксперименты по производству копчено-вареных изделий из свинины. В процессе созревания мяса в результате накопления биомассы молочнокислых микроорганизмов наблюдали более выраженный, чем в контроле, сдвиг уровня pH в кислую сторону, что важно в производстве копчено-вареных и сырокопченых колбас. Это способствовало подавлению жизнедеятельности патогенной микрофлоры и диссимиляции нитрита натрия. В результате метаболических процессов симбиотического продукта «Кефинар», содержащего классические кефирные бактерии и пробиотические кислотоустойчивые штаммы ацидофильных бактерий «НаринэТНСи», в опытных образцах происходит накопление карбонада белка, витаминов группы В, а также снижение концентрации остаточного нитрита натрия.

Культивирование некоторых молочнокислых микроорганизмов на различных питательных средах показало, что *Lactobacillus plantarum* и *Bifidobacterium siccum* растут на модельном фарше из говядины жилованной второго сорта. В результате культивирования происходит накопление молочной кислоты и расщепление белков коллагена, а также накопление свободных белков и полипептидов. К 24 часам культивирования *Lactobacillus plantarum* наблюдали снижение pH модельного фарша на 19 %, накопление количества молочной кислоты до 27 мг %. К 24 часам культивирования *Bifidobacterium siccum* наблюдали снижение pH модельного фарша на 14 %, накопление количества молочной кислоты до 20 мг %. Степень гидролиза белков при этом для *Lactobacillus plantarum* составила 17 %, а для *Bifidobacterium siccum* — 13 % (Нестеренко А.А., 2014).

Молочнокислые микроорганизмы вида *Lactobacillus sakei* способны осуществлять свою жизнедеятельность в мясном и рыбном сырье и развиваться при низких положительных температурах (Zagores M., 2017). Кроме того, эти штаммы хорошо переносят высокие концентрации соли (до 10 %), особенно штамм *Latilactobacillus sakei* LSK-45 (Никифорова А.П., 2021).

Цель настоящей работы: обоснование целесообразности применения биомассы молочнокислых микроорганизмов — продуцентов протеолитических ферментов для модификации свойств жесткого мясного сырья.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать способ модификации свойств мясного сырья с использованием биомассы консорциума микроорганизмов.
2. Исследовать структурно-механические свойства мясного сырья до и после модификации.
3. Исследовать структурно-механические и органолептические свойства образцов готовых продуктов.

МЕТОДЫ

Материалы

В качестве объектов исследования были выбраны микроорганизмы *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp *Shermanii*, входящие в состав закваски «Эвиталия» (изготовитель ООО «НПФ Пробиотика»), и филе бедра индейки.

Для культивирования консорциума микроорганизмов использовали молоко жирностью 3.2 % и подсырную сыворотку.

Методы исследования

Протеолитическую активность исследовали с использованием метода Ансона¹. Скорость ферментативной реакции определяли по количеству тирозина, образовавшегося после гидролиза белка казеината натрия. Количество тирозина определяли по колориметрической реакции с реактивом Фолина. Интенсивность образовавшейся окраски измеряли на колориметре фотоэлектрическом концентрационном марки КФК-2.

Для определения показателя pH использовали pH метр марки pH-410 со стеклянным электродом, заполненным

¹ ГОСТ 20264.2–88. (1989). Препараты ферментные. Методы определения протеолитической активности.

0,1 М раствором соляной кислоты и хлорсеребряным электродом сравнения, который содержит насыщенный раствор хлорида калия².

Водосвязывающую способность (ВСС) оценивали по методу Грау в модификации ВНИИМП, который основан на расчете количества свободной и слабосвязанной влаги, выделяющейся из образца при легком его прессовании.

Влагоудерживающую способность (ВУС) определяли по массе выделившейся влаги в процессе нагревания образца на водяной бане при температуре кипения воды с использованием молочного жиромера.

Структурно-механические свойства образцов исследовали методом пенетрации с использованием пенетрометра ПМДП конусообразной формы.

Анализ органолептических свойств готовых продуктов проводили в соответствии с ГОСТ 9959³. Оценивали внешний вид, цвет, запах (аромат), консистенцию, сочность.

Процедура исследования

Культивирование консорциума микроорганизмов осуществляли следующим образом: 50 мл питательной среды (пастеризованного молока или сыворотки) нагревали на водяной бане до 40°C, добавляли 150 мг смеси лиофильно высушенных штаммов *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp *Shermanii*; подготовленную таким образом закваску вносили в основную массу теплой среды (40–43 °C); далее тщательно перемешивали и выдерживали в термостате 3 часа при 40°C, затем остужали.

Проведены:

- (1) сравнительный анализ протеолитической активности полученной биомассы после культивирования молока и подсырной сыворотке;
- (2) модельные эксперименты по обработке мясного сырья биомассой микроорганизмов;
- (3) исследования физико-химических и структурно-механических свойств исходного и модифицированного сырья;

(4) проведена сравнительная оценка функционально-технологических и органолептических показателей готовых продуктов.

В результате эксперимента предложен способ модификации свойств мясного сырья с использованием биомассы консорциума лактобактерий, пропионовокислых бактерий и стрептококков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным производителя закваска «Эвиталия» содержит лиофилизированные, но способные размножаться в питательной среде штаммы молочнокислых микроорганизмов, фолиевую кислоту, макро и микроэлементы, продуценты витаминов (B₁, B₂, B₆, B₁₂, A, E, C). Входящие в состав закваски микроорганизмы способны сбрасывать углеводы питательной среды без образования газа, при этом происходит биосинтез кислот, которые подавляют рост гнилостных и условно патогенных микробов. В 150 мг «Эвиталия» содержится $2 \cdot 10^9$ КОЕ (т.е. 2 миллиарда живых микроорганизмов). Для получения молочнокислого продукта рекомендуется культивировать закваску «Эвиталия», представляющую собой консорциум микроорганизмов *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp *Shermanii* в теплом молоке. Подсырная сыворотка тоже может служить хорошей питательной средой для размножения указанных микроорганизмов.

Как и в молоке, основным углеводом подсырной сыворотки является лактоза, присутствуют также моносахариды (глюкоза, галактоза и др.) и следы олигосахаридов. Сывороточные белки (β-лактоглобулин, α-лактоальбумин, альбумин сыворотки крови, иммуноглобулины, протеозопептоны, казеиновая пыль) содержат все незаменимые аминокислоты. Доля азотсодержащих веществ в подсырной сыворотке составляет 0,5–1,1 мас.%, а сухих веществ — 4 %. В сыворотке присутствуют витамины, микро и макроэлементы. Необходимо отметить, что кислотность подсырной сыворотки значительно выше, чем у молока: титруемая кислотность сыворотки находится в пределах 60 °Т, в то время как у молока 21 °Т. Кроме того, подсырная сыворотка содержит большое количество молочнокислых пробиотических бактерий (Кригер, 2016; Раимбеков, 2018).

В настоящей работе основным аспектом культивирования консорциума микроорганизмов *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp *Shermanii* являлось выявление протеолитических свойств выращенной биомассы. Результаты экспериментов представлены в Таблице 1.

² ГОСТ 32169–2013. (2019). Метод определения водородного показателя и свободной кислотности. Стандартинформ.

³ ГОСТ 9959. (2010). Продукты мясные. Органолептический метод определения показателей качества. Стандартинформ.

Таблица 1

Протеолитическая активность биомассы, выращенной на разных питательных средах

ПА, усл.ед/мл	
Питательная среда	
Молоко, жирность 3,2 %	Подсырная сыворотка
177	180

Из таблицы видно, что биомасса обладает протеолитической активностью (ПА), хотя ПА молочнокислых организмов значительно ниже, чем у сычужных ферментов⁴. Активность протеолитических ферментов, вырабатываемых консорциумом микроорганизмов, несколько выше при культивировании в подсырной сыворотке, что возможно связано с повышенной кислотностью сыворотки.

Наличие протеолитических ферментов в биомассе консорциума позволяет использовать ее для обработки мясного сырья с повышенным содержанием соединительной ткани. Нами были проведены модельные эксперименты по обработке мяса бедра индейки биомассой микроорганизмов консорциума, выращенных на молоке. Филе бедра индейки заливали биомассой так, чтобы кусок мяса был полностью покрыт жидкостью и выдерживали при температуре 5 °С в течение 17 ч. В тех же условиях находился контрольный образец, представлявший не подвергнутый обработке кусок мяса в лотке. Проведена оценка внешнего вида и предельного напряжения сдвига (ПНС) и ВСС исследованных образцов. Результаты приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Функционально-технологические и структурно-механические свойства образцов мяса бедра индейки

Образец	Внешний вид	ПНС, кПа	ВСС, %
Контроль	Цвет насыщенный красный, волокна плотно прилегают друг к другу, фасции тяжело отделяются от мышечной ткани	2,36	68,6
Опыт	Цвет кремовато-розовый, наблюдается разрыхление волокон, фасции легко отделяются от мышечной ткани	1,35	71,1

⁴ ГОСТ ISO 15163. Молоко и молочные продукты. Сычужный фермент из сычугов телят и ферментный препарат из сычугов крупного рогатого скота. Стандартиформ, 2015.

Таким образом, даже визуально видны значительные изменения структуры волокон мышечной ткани мяса бедра индейки, что подтверждается измерениями ПНС. ПНС мяса понижается в 1,75 раза после выдерживания его в жидкой биомассе консорциума микроорганизмов *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp *Shermanii*. Эти изменения структурно-механических свойств аналогичны наблюдавшимся нами ранее при обработке мяса голени индейки с использованием раствора препарата «Пепсин свиной» (Данильчук, 2019).

Контрольный образец и опытный образец были подвергнуты термической обработке (варка в течение 40 мин). Исследованы структурно-механические, органолептические и функционально-технологические свойства готовых продуктов. Результаты исследований приведены в Таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Функционально-технологические и структурно-механические свойства образцов мяса бедра индейки после термической обработки

Образец	Внешний вид	ПНС, кПа	ВУС, %
Контроль	Цвет светло-коричневый, структура плотная	26,62	23,1
Опыт	Цвет светло-кремовый, структура рыхлая	13,57	28,3

Таблица 4

Органолептические свойства образцов мяса бедра индейки после варки

Образец	Наименование показателя			
	Консистенция	Аромат	Вкус	Сочность
Контроль	Жесткая, трудно разжевывать	Запах вареного мяса, характерный для этого вида птицы	Ярко выраженный, характерный для этого вида птицы	Практически отсутствует
Опыт	Более мягкая, нежная, легко разжевывать	Варёное мясо без посторонних запахов	Вкус, характерный для этого вида птицы, без посторонних привкусов	Более сочная

В результате проведенных экспериментов показано, что из мяса бедра индейки, модифицированного обработкой жидкой биомассой консорциума микроорганиз-

мов *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii* ssp *Shermanii*, получается продукт, имеющий более нежную структуру, улучшенные органолептические свойства и повышенные потребительские качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая пробиотическая активность молочнокислых микроорганизмов в сочетании с их протеолитической активностью позволяет сделать вывод о перспективности их широкого использования в пищевой и перерабатывающей промышленности, в биотехнологии и прозкологических технологиях. В частности, ферментативные свойства бактерий можно эффективно применять для создания новых продуктов питания, что является одним

из важнейших направлений в производстве пищевых продуктов. Использование подсырной сыворотки для культивирования микроорганизмов и их консорциумов — важный и актуальный аспект решения проблем дефицита сырья богатого белком и использования вторичного молочного сырья.

ВКЛАД АВТОРОВ

Альхатиб К.-М.: Верификация данных, проведение исследований, создание черновика рукописи, визуализация.

Данильчук Т.Н.: Концептуализация, методология, создание рукописи и ее редактирование, руководство исследованием.

ЛИТЕРАТУРА

- Агеева, Н. М., Прах, А. В., Насонов, А. И., & Супрун, И. И. (2018). Исследование технологических свойств новых штаммов винных дрожжей, выделенных их спонтанной микрофлоры винограда. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 52(04), 110–122. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2018-4-52-110-122>
- Бисенгалиев, Р. М., Садыков, Р. С., & Акбатырова, Э. Т. (2016). Пробиотики и пребиотики как основа функционального питания. *Молодой ученый*, 8(112), 185–188. <https://moluch.ru/archive/112/28356/>
- Бирюк, Е. Н., Фурик, Н. Н., Ходаренок, Е. П., & Сидерко, И. А. (2021). Разработка сухого биоконсерванта на основе гетероферментативных молочнокислых бактерий. *Корма и кормоводство*, 4(56), 63–66.
- Данильчук, Т. Н., Ефремова Ю. Г., & Корыстина, И. В. (2020). Напитки на основе молочной сыворотки и сублиматов проростков растений. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 69–79. <https://doi.org/10.36107/spfr.2020.305>
- Данильчук, Т. Н., Абдрашитова, Г. Г., Русалиева, Д. А., & Григорьева, С. А. (2019). Нетрадиционные подходы к переработке мяса птицы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 35–43.
- Каблова, М. А., Шурхно, Р. А., & Сироткин, А. С. (2015). Молочнокислые бактерии в сельскохозяйственном производстве. *Вестник Казанского технологического университета*, 8(23), 145–149.
- Кригер, А. В., & Стурова, Ю. Г. (2016). Использование подсырной сыворотки для производства витаминных напитков как фактор повышения конкурентоспособности предприятия. *Ползуновский вестник*, (3), 18–22.
- Меренкова, С. П., Потороко, И. Ю., Захаров, И. В., & Байбаков, В. И. (2015). Перспективы использования пробиотических микроорганизмов в технологии цельномышечных изделий. *Техника и технология пищевых производств*, (1), 47–53.
- Нестеренко, А. А., & Шхалахов, Д. С. (2014). Применение консорциумов микроорганизмов для обработки мясного сырья в технологии колбасного производства. *Молодой ученый*, 13(72), 71–75.
- Никифорова, А. П., & Хамагаева, И. С. (2022). Изучение биотехнологического потенциала штамма *Lactobacillus sakei* LSK-103. *Вестник МГТУ*, 24(3), 277–286.
- Никифорова, А. П., Хазагаева, С. Н., & Хамагаева, И. С. (2021). Исследование устойчивости *Lactobacillus sakei* к осмотическому стрессу. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 574–583.
- Посокина, О. Ю., Лялина, А. И., Захарова, А. И., Шишлова, Е. С., & Терешок, В. И. (2018). Научно-обоснованные подходы к процессу ферментации овощей и преимущества использования бактериальных заквасочных культур. *Овощи России*, 43(5), 77–80.
- Раимбеков, А. З., Атнамова, С. К., & Додаев, К. О. (2018). Использование сывороточного белка в детском питании. *Universum: Технические науки*, 4(49).
- Царева, Н. И., & Артемова, Е. Н. (2014). *Бобовые в технологии продуктов питания со взбивной структурой*. Госуниверситет — УНПК.
- Шендеров, Б. А., Захарченко, М. М., & Сеница, А. В. (2018). Приемы и технологии восстановления нарушений пищевого поведения и дисбаланса питания у современного человека. *Донozoлогия и здоровый образ жизни*, 1(22), 76–88.

- Abada, E. A. (2019). Application of microbial enzymes in the dairy industry. In *Enzymes in food biotechnology*, (pp. 61–72).
- Ahmad, M. N., Mat Noh, N. A., Abdullah, E. N., Yarmo, M. A., Mat Piah, M. B., & Ku Bulat, K. H. (2019). Optimization of a protease extraction using a statistical approach for the production of an alternative meat tenderizer from *Spondias cytherea* roots. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(11), e14192. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14192>
- Arshad, M. S., Kwon, J. H., Imran, M., Sohaib, M., Aslam, A., Nawaz, I., Amjad, Z., Khan, U. & Javed, M. (2016). Plant and bacterial proteases: A key towards improving meat tenderization, a mini review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1261780.
- Biscola, V., Choiset, Y., Rabesona, H., Chobert, J. M., Haertlé, T., & Franco, B. D. G. M. (2018). Brazilian artisanal ripened cheeses as sources of proteolytic lactic acid bacteria capable of reducing cow milk allergy. *Journal of Applied Microbiology*, 125(2), 564–574. <https://doi.org/10.1111/jam.13779>
- Bos Santos Aguilar, J. G., & Sato, H. H. (2018). Microbial proteases: production and application in obtaining protein hydrolysates. *Food Research International*, 103, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.044>
- Cichosz, G., Kornacki, M., Giczewska, M. A. R. T. A., & Konopka, A. (2006). Aktywnosc peptydazowa wybranych szczepow *Lactobacillus*. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 13(1), 66–74.
- Chlebowska-Śmigiel, A., Kycia, K., Neffe-Skocińska, K., Kieliszek, M., Gniewosz, M., & Kołożyn-Krajewska, D. (2019). Effect of pullulan on physicochemical, microbiological, and sensory quality of yogurts. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 20(6), 489–496. <https://doi.org/10.2174/1389201020666190416151129>
- Da Silva, R. R. (2017). Bacterial and fungal proteolytic enzymes: production, catalysis and potential applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2427-2>
- García-Cano, I., Rocha-Mendoza, D., Ortega-Anaya, J., Wang, K., Kosmerl, E., & Jiménez-Flores, R. (2019). Lactic acid bacteria isolated from dairy products as potential producers of lipolytic, proteolytic and antibacterial proteins. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(13), 5243–5257. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09844-6>
- Ji, D., Ma, J., Xu, M., & Agyei, D. (2021). Cell-envelope proteinases from lactic acid bacteria: Biochemical features and biotechnological applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 369–400. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12676>
- Kavita, D., Kandasamy, S., Devi, P. B., & Shetty, P. H. (2018). Recent developments on encapsulation of lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods—A review. *Food Bioscience*, 21, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.11.003>
- Kenny, O., FitzGerald, R. J., O'cuinn, G., Beresford, T., & Jordan, K. (2003). Growth phase and growth medium effects on the peptidase activities of *Lactobacillus helveticus*. *International Dairy Journal*, 13(7), 509–516. [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(03\)00073-6](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(03)00073-6)
- Krasnowska, G. (2004). Próba wykorzystania enzymów pochodzenia mikrobiologicznego do degradacji surowców zwierzęcych bogatych w tkankę łączną. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 11(1), 84–93.
- Kumar, B. M., Sarabhai, S., & Prabhasankar, P. (2019). Targeted degradation of gluten proteins in wheat flour by prolyl endoprotease and its utilization in low immunogenic pasta for gluten sensitivity population. *Journal of Cereal Science*, 87, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.03.001>
- Lim, Y. H., Foo, H. L., Loh, T. C., Mohamad, R., & Abdullah, N. (2019). Comparative studies of versatile extracellular proteolytic activities of lactic acid bacteria and their potential for extracellular amino acid productions as feed supplements. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0323-z>
- Linares-Morales, J. R., Cuellar-Nevárez, G. E., Rivera-Chavira, B. E., Gutiérrez-Méndez, N., Pérez-Vega, S. B., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2020). Selection of lactic acid bacteria isolated from fresh fruits and vegetables based on their antimicrobial and enzymatic activities. *Foods*, 9(10), 1399. <https://doi.org/10.3390/foods9101399>
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Gomez, B., Barba, F. J., Mora, L., Perez-Santaescolastica, C., & Toldra, F. (2018). Bioactive peptides as natural antioxidants in food products—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.003>
- Mamo, J., & Assefa, F. (2018). The role of microbial aspartic protease enzyme in food and beverage industries. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7957269>
- Matti, A., Utami, T., Hidayat, C., & S. Rahayu, E. (2019). Isolation, Screening, and identification of proteolytic lactic acid bacteria from indigenous Chao product. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(7), 781–793. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1639872>
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S., Gamalath, C. J., Martin, G. J., & Ashokkumar, M. (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems—A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>
- Moghaddam, M. F. T., Jalali, H., Nafchi, A. M., & Nouri, L. (2020). Evaluating the effects of lactic acid bacteria and olive leaf extract on the quality of gluten-free bread. *Gene Reports*, 21, 100771.

- Othman, M., Ariff, A. B., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2017). Extractive fermentation of lactic acid in lactic acid bacteria cultivation: A review. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2285. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02285>
- Ozturkoglu-Budak, S., Wiebenga, A., Bron, P. A., & de Vries, R. P. (2016). Protease and lipase activities of fungal and bacterial strains derived from an artisanal raw ewe's milk cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 237, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.007>
- Razzaq, A., Shamsi, S., Ali, A., Ali, Q., Sajjad, M., Malik, A., & Ashraf, M. (2019). Microbial proteases applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 110.
- Zielinska, D., & Kolozyn-Krajewska, D. (2018). Food-origin lactic acid bacteria may exhibit probiotic properties. *BioMed Research International*, 2018, 1–15.
- Saidi, Y., Del Rio, B., Senouci, D. E., Redruello, B., Martinez, B., Ladero, V., Kihal, M., & Alvarez, M. A. (2020). Polyphasic Characterisation of Non-Starter Lactic Acid Bacteria from Algerian Raw Camel's Milk and Their Technological Aptitudes. *Food Technology and Biotechnology*, 58(3), 260–272. <https://doi.org/10.17113/ftb.58.03.20.6598>
- Sarabhai, S., Tamilselvan, T., & Prabhasankar, P. (2021). Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: It's effect on quality, textural, rheological and pasting properties. *LWT*, 137, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365>
- Savijoki, K., Ingmer, H., & Varmanen, P. (2006). Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(4), 394–406. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0427-1>
- Scarnato, L., Montanari, C., Serrazanetti, D. I., Aloisi, I., Balestra, F., Del Duca, S., & Lanciotti, R. (2017). New bread formulation with improved rheological properties and longer shelf-life by the combined use of transglutaminase and sourdough. *LWT-Food Science and Technology*, 81, 101–110.
- Sharma, M., Gat, Y., Arya, S., Kumar, V., Panghal, A., & Kumar, A. (2019). A review on microbial alkaline protease: an essential tool for various industrial approaches. *Industrial Biotechnology*, 15(2), 69–78. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0032>
- Singh, P. K., Shrivastava, N., & Ojha, B. K. Enzymes in the meat industry. In *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*, (pp. 111–128).
- Sun, F., Hu, Y., Yin, X., Kong, B., & Qin, L. (2020). Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages. *Process Biochemistry*, 89, 37–45.
- Sun, F., Sun, Q., Zhang, H., Kong, B., & Xia, X. (2019). Purification and biochemical characteristics of the microbial extracellular protease from *Lactobacillus curvatus* isolated from Harbin dry sausages. *International journal of biological macromolecules*, 133, 987–997. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.030>
- Toe, C. J., Foo, H. L., Loh, T. C., Mohamad, R., Abdul Rahim, R., & Idrus, Z. (2019). Extracellular proteolytic activity and amino acid production by lactic acid bacteria isolated from Malaysian foods. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), 1777. <https://doi.org/10.3390/ijms20071777>
- Venegas-Ortega, M. G., Flores-Gallegos, A. C., Martínez-Hernández, J. L., Aguilar, C. N., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2019). Production of bioactive peptides from lactic acid bacteria: a sustainable approach for healthier foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12455>
- Waśko, A., Kieliszek, M., & Targoński, Z. (2012). Purification and characterization of a proteinase from the probiotic *Lactobacillus rhamnosus* OXY. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 42(5), 476–488. <https://doi.org/10.1080/10826068.2012.656869>
- Worsztynowicz, P., Białas, W., & Grajek, W. (2020). Integrated approach for obtaining bioactive peptides from whey proteins hydrolysed using a new proteolytic lactic acid bacteria. *Food Chemistry*, 312, 126035. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126035>
- Worsztynowicz, P., Schmidt, A. O., Białas, W., & Grajek, W. (2019). Identification and partial characterization of proteolytic activity of *Enterococcus faecalis* relevant to their application in dairy industry. *Acta Biochimica Polonica*, 66(1), 61–69. https://doi.org/10.18388/abp.2018_2714
- Zagorec, M., & Champomier-Vergès, M. C. (2017). *Lactobacillus sakei*: A starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products. *Microorganisms*, 5(3), 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
- Zhao, C. J., Schieber, A., & Gänzle, M. G. (2016). Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations—A review. *Food Research International*, 89, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.042>

REFERENCES

- Ageeva, N. M., Prah, A. V., Nasonov A. I., & Suprun I. I. (2018). Investigation of the technological properties of new wine yeast strains isolated from the spontaneous microflora of grapes. *Plodovodstvo i vinogradarstvo YUga Rossii* [Fruit growing and viticulture of the South of Russia], 52(04), 110–122.
- Bisengaliev, R. M., Sadykov, R. S., & Akbatyrov, E. T. (2016). Probiotics and prebiotics as the basis of functional nutrition. *Molodoi uchenyi* [Young scientist], 8(112), 185–188.
- Biryuk, E. N., Furik, N. N., Hodarenok, E. P., & Siderko, I. A. (2021). Development of a dry biopreservative based on heterofermentative lactic acid bacteria. *Korma i kor-movodstvo* [Forage and Fodder], 4(56), 63–66.
- Danil'chuk, T. N., Efremova, YU. G., & Korystina, I. V. (2020). Drinks based on whey and sublimates of plant sprouts. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and Processing of Farm Products], (3), 69–79. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Danil'chuk, T. N., Abdrashitova, G. G., Rusalieva, D. A., & Grigor'eva, S. A. (2019). Unconventional approaches to poultry meat processing. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and Processing of Farm Products], (1), 35–43.
- Kablova, M. A., SHurhno, R. A., & Sirotkin, A. S. (2015). Lactic acid bacteria in agricultural production. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 8(23), 145–149.
- Kruger, A.V., & Sturova, YU.G. (2016). The use of cheese whey for the production of vitamin drinks as a factor in increasing the competitiveness of an enterprise. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovskiy Bulletin], (3), 18–22.
- Merenkova, S. P., Potoroko, I. YU., Zaharov, I. V., & Bajbakov, V. I. (2015). Prospects for the use of probiotic microorganisms in the technology of whole muscle products. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], (1), 47–53.
- Nesterenko, A. A., & SHkhalahov, D. S. (2014). The use of consortiums of microorganisms for the processing of meat raw materials in the technology of sausage production. *Molodoi uchenyi* [Young scientist], 13(72), 71–75.
- Nikiforova, A. P., & Hamagaeva, I. S. (2022). Study of the biotechnological potential of the *Lactobacillus sake* strain. *Vestnik MGTU* [MGTU Bulletin], 24(3), 277–286.
- Posokina, O. YU., Lyalina, A. I., Zaharova, A. I., SHishlova, E. S., & Tereshok, V. I. (2018). Science-based approaches to the vegetable fermentation process and the benefits of using bacterial starter cultures. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], 43(5), 77–80.
- Raimbekov, A. Z., Athamova, S. K., & Dodaev, K. O. (2018). The use of whey protein in baby food. *Universum: Tekhnicheskie nauki* [Universum: Engineering Sciences], 4(49).
- Tsareva, N. I., & Artemova, E. N. (2014). *Bobovye v tekhnologii produktov pitaniya so vzbivnoy strukturoj* [Legumes in the technology of food products with whipped structure: monograph]. Gosuniversitet – UNPK.
- SHenderov, B. A., Zaharchenko, M. M., & Sinica, A. V. (2018). Techniques and technologies for restoring eating disorders and nutritional imbalance in a modern person. *Donozologiya i zdorovyi obraz zhizni* [Donosology and healthy lifestyle], 1(22), 76–88.
- Abada, E. A. (2019). Application of microbial enzymes in the dairy industry. In *Enzymes in food biotechnology*, (pp. 61–72).
- Ahmad, M. N., Mat Noh, N. A., Abdullah, E. N., Yarmo, M. A., Mat Piah, M. B., & Ku Bulat, K. H. (2019). Optimization of a protease extraction using a statistical approach for the production of an alternative meat tenderizer from *Spondias cytherea* roots. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(11), e14192. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14192>
- Arshad, M. S., Kwon, J. H., Imran, M., Sohaib, M., Aslam, A., Nawaz, I., Amjad, Z., Khan, U. & Javed, M. (2016). Plant and bacterial proteases: A key towards improving meat tenderization, a mini review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1261780.
- Biscola, V., Choiset, Y., Rabesona, H., Chobert, J. M., Haertlé, T., & Franco, B. D. G. M. (2018). Brazilian artisanal ripened cheeses as sources of proteolytic lactic acid bacteria capable of reducing cow milk allergy. *Journal of Applied Microbiology*, 125(2), 564–574. <https://doi.org/10.1111/jam.13779>
- Bos Santos Aguilar, J. G., & Sato, H. H. (2018). Microbial proteases: production and application in obtaining protein hydrolysates. *Food Research International*, 103, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.044>
- Cichosz, G., Kornacki, M., Giczewska, M. A. R. T. A., & Konopka, A. (2006). Aktywnosc peptydazowa wybranych szczepow *Lactobacillus*. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 13(1), 66–74.
- Chlebowska-Śmigiel, A., Kycia, K., Neffe-Skocińska, K., Kieliszek, M., Gniewosz, M., & Kołożyn-Krajewska, D. (2019). Effect of pullulan on physicochemical, microbiological, and sensory quality of yogurts. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 20(6), 489–496. <https://doi.org/10.2174/1389201020666190416151129>
- Da Silva, R. R. (2017). Bacterial and fungal proteolytic enzymes: production, catalysis and potential applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2427-2>
- García-Cano, I., Rocha-Mendoza, D., Ortega-Anaya, J., Wang, K., Kosmerl, E., & Jiménez-Flores, R. (2019). Lactic acid

- bacteria isolated from dairy products as potential producers of lipolytic, proteolytic and antibacterial proteins. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(13), 5243–5257. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09844-6>
- Ji, D., Ma, J., Xu, M., & Agyei, D. (2021). Cell-envelope proteinases from lactic acid bacteria: Biochemical features and biotechnological applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 369–400. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12676>
- Kavitake, D., Kandasamy, S., Devi, P. B., & Shetty, P. H. (2018). Recent developments on encapsulation of lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods—A review. *Food Bioscience*, 21, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.11.003>
- Kenny, O., FitzGerald, R. J., O'cuinn, G., Beresford, T., & Jordan, K. (2003). Growth phase and growth medium effects on the peptidase activities of *Lactobacillus helveticus*. *International Dairy Journal*, 13(7), 509–516. [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(03\)00073-6](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(03)00073-6)
- Krasnowska, G. (2004). Próba wykorzystania enzymów pochodzenia mikrobiologicznego do degradacji surowców zwierzęcych bogatych w tkankę łączną. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 11(1), 84–93.
- Kumar, B. M., Sarabhai, S., & Prabhasankar, P. (2019). Targeted degradation of gluten proteins in wheat flour by prolyl endoprotease and its utilization in low immunogenic pasta for gluten sensitivity population. *Journal of Cereal Science*, 87, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.03.001>
- Lim, Y. H., Foo, H. L., Loh, T. C., Mohamad, R., & Abdullah, N. (2019). Comparative studies of versatile extracellular proteolytic activities of lactic acid bacteria and their potential for extracellular amino acid productions as feed supplements. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0323-z>
- Linares-Morales, J. R., Cuellar-Nevárez, G. E., Rivera-Chavira, B. E., Gutiérrez-Méndez, N., Pérez-Vega, S. B., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2020). Selection of lactic acid bacteria isolated from fresh fruits and vegetables based on their antimicrobial and enzymatic activities. *Foods*, 9(10), 1399. <https://doi.org/10.3390/foods9101399>
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Gomez, B., Barba, F. J., Mora, L., Perez-Santaescolastica, C., & Toldra, F. (2018). Bioactive peptides as natural antioxidants in food products—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.003>
- Mamo, J., & Assefa, F. (2018). The role of microbial aspartic protease enzyme in food and beverage industries. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7957269>
- Matti, A., Utami, T., Hidayat, C., & S. Rahayu, E. (2019). Isolation, Screening, and identification of proteolytic lactic acid bacteria from indigenous Chao product. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(7), 781–793. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1639872>
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S., Gamlath, C. J., Martin, G. J., & Ashokkumar, M. (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems—A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>
- Moghaddam, M. F. T., Jalali, H., Nafchi, A. M., & Nouri, L. (2020). Evaluating the effects of lactic acid bacteria and olive leaf extract on the quality of gluten-free bread. *Gene Reports*, 21, 100771.
- Othman, M., Ariff, A. B., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2017). Extractive fermentation of lactic acid in lactic acid bacteria cultivation: A review. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2285. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02285>
- Ozturkoglu-Budak, S., Wiebenga, A., Bron, P. A., & de Vries, R. P. (2016). Protease and lipase activities of fungal and bacterial strains derived from an artisanal raw ewe's milk cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 237, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.007>
- Razzaq, A., Shamsi, S., Ali, A., Ali, Q., Sajjad, M., Malik, A., & Ashraf, M. (2019). Microbial proteases applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 110.
- Zielinska, D., & Kolożyn-Krajewska, D. (2018). Food-origin lactic acid bacteria may exhibit probiotic properties. *Biomed Research International*, 2018, 1–15.
- Saidi, Y., Del Rio, B., Senouci, D. E., Redruello, B., Martinez, B., Ladero, V., Kihal, M., & Alvarez, M. A. (2020). Polyphasic Characterisation of Non-Starter Lactic Acid Bacteria from Algerian Raw Camel's Milk and Their Technological Aptitudes. *Food Technology and Biotechnology*, 58(3), 260–272. <https://doi.org/10.17113/ftb.58.03.20.6598>
- Sarabhai, S., Tamilselvan, T., & Prabhasankar, P. (2021). Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: It's effect on quality, textural, rheological and pasting properties. *LWT*, 137, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365>
- Savijoki, K., Ingmer, H., & Varmanen, P. (2006). Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(4), 394–406. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0427-1>
- Scarnato, L., Montanari, C., Serrazanetti, D. I., Aloisi, I., Balestra, F., Del Duca, S., & Lanciotti, R. (2017). New bread formulation with improved rheological properties and longer shelf-life by the combined use of transglutaminase and sourdough. *LWT-Food Science and Technology*, 87, 101–110.
- Sharma, M., Gat, Y., Arya, S., Kumar, V., Panghal, A., & Kumar, A. (2019). A review on microbial alkaline protease: an essential tool for various industrial approaches. *Industrial*

- Biotechnology*, 15(2), 69–78. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0032>
- Singh, P. K., Shrivastava, N., & Ojha, B. K. Enzymes in the meat industry. In *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*, (pp. 111–128).
- Sun, F., Hu, Y., Yin, X., Kong, B., & Qin, L. (2020). Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages. *Process Biochemistry*, 89, 37–45.
- Sun, F., Sun, Q., Zhang, H., Kong, B., & Xia, X. (2019). Purification and biochemical characteristics of the microbial extracellular protease from *Lactobacillus curvatus* isolated from Harbin dry sausages. *International journal of biological macromolecules*, 133, 987–997. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.030>
- Toe, C. J., Foo, H. L., Loh, T. C., Mohamad, R., Abdul Rahim, R., & Idrus, Z. (2019). Extracellular proteolytic activity and amino acid production by lactic acid bacteria isolated from Malaysian foods. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), 1777. <https://doi.org/10.3390/ijms20071777>
- Venegas-Ortega, M. G., Flores-Gallegos, A. C., Martínez-Hernández, J. L., Aguilar, C. N., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2019). Production of bioactive peptides from lactic acid bacteria: a sustainable approach for healthier foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12455>
- Waśko, A., Kieliszek, M., & Targoński, Z. (2012). Purification and characterization of a proteinase from the probiotic *Lactobacillus rhamnosus* OXY. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 42(5), 476–488. <https://doi.org/10.1080/10826068.2012.656869>
- Worsztynowicz, P., Białas, W., & Grajek, W. (2020). Integrated approach for obtaining bioactive peptides from whey proteins hydrolysed using a new proteolytic lactic acid bacteria. *Food Chemistry*, 312, 126035. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126035>
- Worsztynowicz, P., Schmidt, A. O., Białas, W., & Grajek, W. (2019). Identification and partial characterization of proteolytic activity of *Enterococcus faecalis* relevant to their application in dairy industry. *Acta Biochimica Polonica*, 66(1), 61–69. https://doi.org/10.18388/abp.2018_2714
- Zagorec, M., & Champomier-Vergès, M. C. (2017). *Lactobacillus sakei*: A starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products. *Microorganisms*, 5(3), 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
- Zhao, C. J., Schieber, A., & Gänzle, M. G. (2016). Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations—A review. *Food Research International*, 89, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.042>