

© Посокина Н.Е., Захарова А.И., 2020

УДК 664.843.52

Роль молочнокислых микроорганизмов вида *Leuconostoc mesenteroides* в ферментации овощного сырья

Н.Е. Посокина, А.И. Захарова

ВНИИ технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (ВНИИТеК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН), ул. Школьная, 78, г. Видное, Московская область, 142703, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Ферментация – это биотехнологический процесс сохранения биологического потенциала сырья и его трансформация с целью придания новых органолептических свойств и повышения пищевой ценности продукта, позволяющий разнообразить ежедневный прием пищи, поэтому ферментированные продукты в некоторых странах составляют значительную часть рациона человека. Несмотря на то, что ферментированные продукты очень полезны для человека, сам процесс ферментации долгое время оставался достаточно сложным для воспроизводства. В настоящее время в промышленном производстве ферментированных пищевых продуктов применяют стартерные культуры, позволяющие получать продукцию с гарантированным спектром потребительских свойств. При производстве ферментированных продуктов питания и напитков основную роль играют молочнокислые микроорганизмы родов *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* и *Weissella*. При этом *L. mesenteroides* играет основную роль в иницировании ферментации многих видов растительного сырья: капусты, свеклы, репы, цветной капусты, зеленой фасоли, нарезанных зеленых помидоров, огурцов, оливок и др. *Цель работы.* Для контроля и управления процессом ферментации в промышленном производстве необходимо определить основные процессы, происходящие на разных стадиях, а также виды молочнокислых микроорганизмов, отвечающие за иницирование, продолжение и завершение процесса. *Результаты.* В данном обзоре показано, что, несмотря на разнообразие ферментируемых овощей, молочнокислые микроорганизмы вида *L. mesenteroides* имеют особую значимость на начальной гетероферментативной стадии, поскольку именно в этот период в обрабатываемом сырье происходит формирование условий для ингибирования патогенной и факультативно-патогенной микрофлоры и создание оптимальной среды для последующего развития целевых микроорганизмов, формирующих качество готовой продукции. *Выводы.* При разработке промышленных технологий обязательным компонентом бактериальных заквасок должны быть молочнокислые микроорганизмы вида *L. mesenteroides* с целью получения конечного продукта стабильно высокого качества.

Ключевые слова: обзор, процесс ферментации овощей, молочнокислые микроорганизмы, *Leuconostoc mesenteroides*, стартерная культура.

Для цитирования: Посокина Н.Е., Захарова А.И. Роль молочнокислых микроорганизмов вида *Leuconostoc mesenteroides* в ферментации овощного сырья // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 7 (328). С. 30–36. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-328-7-30-36>

The Role of *Leuconostoc mesenteroides* Species of Lactic Acid Bacteria in Fermenting Vegetables

N.E. Posokina, A.I. Zakharova

Russian Research Institute of Canning Technology, Branch of the Gorbato Federal Research Center for Food Systems at the Russian Academy of Sciences,
78 Shkolnaya Street, Vidnoye, Moscow Region, 142703, Russian Federation

Abstract. *Introduction:* Fermentation is a biotechnological process of preserving the biological potential of raw materials and transforming them in order to impart new organoleptic properties and to increase nutritional value of the product allowing diversification of daily meals; thus, in some countries fermented products make up a significant part of the human diet. Despite the fact that fermented products are very useful for humans, the fermentation process itself remained rather complicated for reproduction during a long time. Currently, starter cultures are used in industrial production of fermented food products enabling the production of foodstuffs with a guaranteed range of consumer properties. Such species of lactic acid bacteria as *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, and *Weissella* play the main role in production of fermented food and drinks while *L. mesenteroides* plays the primary role in starting fermentation of many types of plant materials including cabbage, beet, turnip, cauliflower, green beans, chopped green tomatoes, cucumbers, olives, etc. *Objective:* To control and manage the industrial fermentation process, it is important to determine the main processes occurring at different stages and the types of lactic acid microorganisms responsible for initiation, continuation and completion of the process. *Results:* This review shows that, despite the variety of fermentable vegetables, *L. mesenteroides* species of lactic acid bacteria are of particular importance at the primary heteroenzymatic stage since during this very period the processed raw materials form conditions for inhibiting pathogenic and facultative pathogenic microflora and create optimal environment for subsequent development of targeted microorganisms determining the quality of finished products. *Conclusions:* When developing food technology, *L. mesenteroides* species of lactic acid bacteria must be an indispensable component of industrial starter cultures for obtaining final products of consistently high quality.

Key words: review, vegetable fermentation process, lactic acid bacteria, *Leuconostoc mesenteroides*, starter culture.

For citation: Posokina N.E., Zakharova A.I. The role of *Leuconostoc mesenteroides* species of lactic acid bacteria in fermenting vegetables. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (7(328)):30–36. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-328-7-30-36>

Author information: Posokina N.E., <https://orcid.org/0000-0002-7857-6785>; Zakharova A.I., <https://orcid.org/0000-0002-2336-1816>.

Введение. Ферментация является одной из древнейших форм сохранения биологического потенциала сырья. На протяжении тысячелетий алкогольные напитки, сыр, йогурт, ферментированные овощи и соевый соус производились с использованием микроорганизмов естественного происхождения, которые существуют в определенных условиях окружающей среды. Традиционные технологии ферментации пищевых

продуктов основаны на естественном процессе, при котором исходное сырье подвергали микробному воздействию. Если после этого оно оставалось или становилось съедобными, то продукты такой обработки становились ферментированными. Человечество приобретало навыки ферментации в течение длительного времени и разработало уникальные технологии, подходящие для конкретной окружающей

среды и сырья, доступного в разных регионах мира [1].

Исторически каждая община имела свою особую культуру питания, которая символизировала наследие и социокультурные аспекты ее этнической принадлежности. Пища, приготовленная различными сообществами, является уникальной из-за географического положения, факторов окружающей среды, предпочтений в еде и наличия растительных или животных источников. Религии и убеждения оказывают сильное влияние на привычки питания, например, благодаря запретам на потребление определенных продуктов. Ферментированные продукты и напитки являются одним из неотъемлемых компонентов питания у народов, принадлежащих к разным культурам. Продукты некоторых культур были упомянуты в священных книгах, таких как Бхагавад-Гита, Библия и Коран, и, как следствие, большинство традиционных или этнических продуктов были подвержены влиянию религии и табу [2]. Например, внедрение буддизма в Корею в Королевстве Когурё (372 г. н.э.) и в Королевстве Силла (528 г. н.э.) сместило акцент в культуре питания с продуктов животного происхождения на продукты растительного происхождения. Люди объединенного Королевства Силла в Корею во времена династии Кори (918–1392 гг.) были ортодоксальными буддистами. В течение этого периода потребление мяса было запрещено, в результате чего в ежедневном рационе питания стали преобладать ферментированные продукты из овощей и соевых бобов. Также потребление сои в качестве пищи вместе с продуктами ее ферментации в японской кухне было связано с появлением буддизма в Японии в шестом веке нашей эры, который ограничивал потребление продуктов животного происхождения [3]. Широкий ассортимент ферментированных продуктов можно классифицировать по продуктам ферментации: алкоголь (пиво, вино); органические кислоты, включая молочную кислоту и уксусную кислоту (овощи, молочные продукты); диоксид углерода (хлеб); аминокислоты или пептиды из белка (ферментация рыбы и др.) [4]. На Ближнем Востоке ферментированные молочные продукты появились, вероятно, вслед за одомашниванием крупного рогатого скота [4]. Известно, что ферментированные напитки употреблялись в Вавилоне 5000 лет назад [5]. Более сложные навыки ферментации с использованием злаков для производства алкоголя были разработаны около 4000 г. до н.э., пиво производилось в Египте, рисовое вино — в Северо-Восточной Азии [1]. Считается, что огурцы впервые были ферментированы около 2000 г. до н.э. на Ближнем Востоке. Соленья также упоминаются несколько раз в Библии [4]. Производство квашеной капусты и различные формы приготовления столовых оливок были описаны еще в I веке [5]. Ферментированная капуста по-корейски (кимчи), как полагают, возникла в первобытном гончарном периоде в результате естественного сбраживания овощей, хранящихся в морской воде. Считается, что квашеная капуста в европейском стиле возникла в Китае, и эта технология, возможно, была привезена в Европу во время монгольского нашествия на Центральную Европу в XIII веке [4].

Хотя процесс брожения был чрезвычайно полезным для человечества, он оставался сложным для воспроизводства. Возможность контроля результатов ферментации появилась благодаря открытию дрожжей в качестве живых клеток Антони ван Левенгуком в 1680 году. Последующие исследования Луи Пастера по алкогольной ферментации послужили катализатором открытия роли молочнокислых микроорганизмов в пищевой ферментации. Первые ферментативные культуры были введены в коммерческую эксплуатацию в Новой Зеландии в 1934 году, что положило начало эпохе «контролируемой» ферментации [5]. Основные этапы развития пищевой биотехнологии представлены в табл. 1.

Ферментированные продукты питания в некоторых странах составляют значительную часть рациона человека, поскольку процесс ферментации позволяет сохранить биологический потенциал сырья и трансформирует его, повышая пищевую ценность и изменяя органолептические свойства продукта, а также позволяет разнообразить рацион питания. В настоящее время ферментированные продукты производятся по всему миру и играют важную роль в питании населения. Ферментация чаще всего осуществляется традиционным способом, при котором брожение происходит самопроизвольно с участием нативной микрофлоры, при этом качество конечного продукта невозможно прогнозировать.

В промышленном производстве ферментированных пищевых продуктов в сырье добавляют стартерную культуру (закваску) — микробный препарат, содержащий большое количество клеток одного или нескольких микроорганизмов и приводящий к получению ферментированного пищевого продукта. Основное преимущество применения стартерных культур перед спонтанной ферментацией — это возможность контролировать процесс ферментации, регулировать его скорость, стандартизировать конечный продукт [6]. Помимо консервирующего действия, ферментация — это технология с минимальными инвестиционными потребностями, которая предоставляет людям с ограниченной покупательной способностью доступ к безопасным, недорогим и питательным продуктам [7]. В производстве ферментированных продуктов питания и напитков основную роль играют молочнокислые микроорганизмы — грамположительные бактерии с большим биотехнологическим потенциалом в пищевой промышленности [8]. Они являются неспорообразующими, факультативно-анаэробными, сбраживают различные сахара до основного конечного продукта — молочной кислоты [9]. Молочнокислые микроорганизмы присутствуют почти во всех ферментированных продуктах — отдельно или в сочетании с другими группами бактерий, дрожжей и грибов. Главная технологическая функция молочнокислых микроорганизмов заключается в быстром подкислении продукта, что способствует увеличению срока его хранения и обеспечивает микробную безопасность [10]. Это происходит за счет того, что молочнокислые микроорганизмы во время хранения продукта производят органические кислоты и бактериоцины (антимикробные

Таблица 1. Основные этапы развития пищевой биотехнологии (адаптировано с [1])

Table 1. The main stages of the development of food biotechnology (adapted from [1])

Дата / Date	Веха в пищевой биотехнологии / Milestone in food biotechnology
6000 лет до н.э. / 6000 B.C.	Использование глиняной посуды для приготовления и хранения продуктов в Северо-Восточной Азии / Use of earthenware for cooking and storage in Northeast Asia
4000 г. до н.э. / 4000 B.C.	Применение посола при изготовлении ферментированных морепродуктов, зернового и растительного сырья в глиняной посуде. Ближний Восток. Использование процесса ферментации для получения ферментированных молочных продуктов (сыра) / The use of salting in the manufacture of fermented seafood, grain and vegetable raw materials in clayware. Near East. Use of the fermentation process to obtain fermented dairy products (cheese)
2000 г. до н.э. / 2000 B.C.	Использование закваски «нурук» для производства рисового вина в Китае. Использование сои в качестве пищевого продукта в Южной Маньчжурии и на Корейском полуострове / The use of Nuruk sourdough for production of rice wine in China. The use of soy as a food product in Southern Manchuria and on the Korean Peninsula
200 г. до н.э. / 200 B.C.	Получение ферментированной сои «ши» предположительно с помощью бактерий <i>Bacillus subtilis</i> / <i>Bacillus subtilis</i> presumably used to ferment “shi” soybean
1680	Антони ван Левенгук изобрёл микроскоп / Anthony van Levenhuk invented the microscope
1857	Луи Пастер открыл анаэробную ферментацию и предложил способ низкотемпературной инактивации микроорганизмов пастеризацией / Louis Pasteur discovered anaerobic fermentation and proposed a method of low-temperature inactivation of microorganisms by pasteurization
1876	Луи Пастер доказал микробную природу брожения / Louis Pasteur proved the microbial nature of fermentation
1897	Эдуард Бюхнер обнаружил, что ферменты в дрожжевом соке осуществляют спиртовое брожение / Eduard Buchner found that enzymes in yeast juice carry out alcohol fermentation
1904	В Японии впервые разработана чистая заквасочная культура «Коджи» / Pure cultured fermentation starter ‘koji’ was developed in Japan
1912	Открыт бактериальный механизм ацетон-бутилового брожения / The bacterial mechanism of acetone-butyl fermentation was discovered
1928	Александр Флеминг открыл пенициллин / Alexander Fleming discovered penicillin
1953	Организовано промышленное производство глутамата почвенными бактериями. Фрэнсис Крик и Джеймс Уотсон открыли двойную спираль ДНК / Industrial production of glutamate by soil bacteria was launched. Francis Crick and James Watson discovered the DNA double helix
1960	Промышленное производство ферментов из микроорганизмов / Industrial production of enzymes from microorganisms
1965	Зеленая революция Нормана Эрнеста Борлоуга / The Green Revolution of Norman Ernest Borlaug
1973	Герберт Бойер и Стэнли Коэн разработали механизм рекомбинации ДНК / Herbert Boyer and Stanley Cohen developed a DNA recombination mechanism
1976	Национальный институт здравоохранения США разрабатывает набор руководящих принципов в отношении генной инженерии / The US National Institute of Health developed a set of guidelines for genetic engineering
1982	В США впервые разрешен выброс генномодифицированных микроорганизмов в окружающую среду / Release of genetically modified microorganisms into the environment was first allowed in the United States
1994	Представление на рынке компанией Calgene, Inc. генномодифицированного томата. Производство компанией Monsanto Co генномодифицированной сои Round-Up Ready, устойчивой к гербицидам / Introduction of genetically modified Flavr Savr Tomato on the market by Calgene, Inc. Production of herbicide-tolerant Round-Up Ready GM soybean by Monsanto Company
1996	Представление на рынке генномодифицированной гербицидоустойчивой кукурузы YieldGard / Herbicide-tolerant and insect-resistant YieldGard GM corn was presented on the market
2000	Разработка Golden Rice – разновидности риса, полученной с помощью генной инженерии для биосинтеза бета-каротина / Development of Golden Rice™ – a variety of rice generated for beta-carotene biosynthesis

пептиды) как эволюционно выработанный механизм борьбы со сторонней микрофлорой в целях конкурентирования за питательные компоненты (витамины, минералы, микроэлементы и пептиды) [11].

В то же время молочнокислые микроорганизмы оказывают благотворное влияние на здоровье человека в качестве пробиотиков [12]. Из-за роста потребности в продуктах питания, которые не только удовлетворяют голод и обеспечивают необходимыми питательными веществами, но также предотвращают заболевания и улучшают физическое и психическое здоровье, пробиотики стали одной из важнейших категорий продуктов для укрепления здоровья [13]. Пробиотики – особый тип микроорганизмов, как правило, к ним относится большинство

молочнокислых микроорганизмов. Их широко используют в терапевтических препаратах и добавляют в пищу [11]. Помимо стимулирующего воздействия на иммунную систему, преимущества регулярного употребления пробиотиков заключаются в снижении уровня холестерина, улучшении функции желудочно-кишечного тракта, усилении иммунной системы и снижении риска возникновения рака толстой кишки. Некоторые из ферментированных фруктов и овощей содержат цветные пигменты, такие как флавоноиды, ликопен, антоцианы, β -каротин и глюкозинолаты, которые действуют в организме в качестве антиоксидантов, инактивируя свободные радикалы, появление которых связано с такими дегенеративными заболеваниями, как рак, артрит и старение [14].

Вопросы, связанные с пищевыми продуктами и здоровьем, являющиеся ключевыми при проведении исследований молочнокислых микроорганизмов. Данные микроорганизмы имеют большой потенциал в качестве организмов-продуцентов для некоторых соединений, таких как молочная кислота и маннит, и некоторые из их характеристик становятся особенно интересными для биотрансформаций [12]. Они также выделяют уксусную кислоту, этанол, ароматические соединения, бактериоцины, экзополисахариды и многие другие важные ферменты [15]. Потребление ферментированных продуктов способствует развитию защитных функций организма, улучшая микрофлору кишечника, стимулируя усвоение питательных веществ и синтез витаминов [16]. Также в процессе ферментации развиваются уникальные вкусовые характеристики, которые считаются одним из важнейших свойств ферментированных пищевых продуктов и ключевым фактором, определяющим успех продукта [10]. Молочнокислые микроорганизмы имеют сложные ферментные системы, поэтому они производят ряд метаболитов, обеспечивающих важные вкусовые качества продукта [13, 17].

В пищевой промышленности с целью ферментирования используют закваски, в составе которых присутствуют молочнокислые микроорганизмы, такие как *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* и *Weissella*. Молочнокислые микроорганизмы, выделенные из природных источников с высокой генетической стабильностью, могут быть использованы в пищевой промышленности, но перед включением их в пищу и напитки важно узнать их характеристики, выявить, как происходит процесс роста молочнокислых микроорганизмов и их гибель, исследовать их активность и влияние на органолептические свойства готового продукта [16].

Было установлено [1, 18], что *Leuconostoc mesenteroides* играет важную роль в иницировании ферментации многих овощей: капусты, свеклы, репы, цветной капусты, зеленой фасоли, нарезанных зеленых помидоров, огурцов и оливок. Молочнокислые микроорганизмы *L. mesenteroides* растут быстрее и в более широком диапазоне температур и концентрации соли, чем любые другие молочнокислые микроорганизмы. В результате ферментирования образуется углекислый газ и кислоты, вследствие чего быстро понижается pH продукта, и, как следствие, подавляется развитие нежелательных микроорганизмов и активность их ферментов, которые могут размягчать овощи, тем самым снижая их вкусовые качества.

Sauerkraut — кислая капуста, производимая из предварительно измельченной белокочанной капусты путем самопроизвольного ферментирования нативными лактобациллами [19]. При этом в процессе ферментации первым видом микроорганизма демонстрирующим активное развитие, является *L. mesenteroides* [20]. Вслед за ним в процесс ферментирования вступают сразу три вида: *Lactobacillus brevis*, *Pediococcus pentosaceus* и *Lactobacillus plantarum*. Тем не менее в формировании конечных потребитель-

ских свойств продукта основную роль играет *L. mesenteroides* [21].

В целом процесс ферментирования протекает в несколько этапов. Вначале наличие гетероферментативных молочнокислых микроорганизмов вида *L. mesenteroides* инициирует ферментацию квашеной капусты, затем процесс ферментации продолжается из-за наличия гомоферментативных молочнокислых микроорганизмов *L. plantarum*. В процессе роста и развития культура *L. mesenteroides* выделяет молочную, уксусную кислоты и углекислый газ. На этой стадии очень важен баланс между молочной и уксусной кислотой. Из-за образования органических кислот уровень pH снижается, при этом подавляется рост нежелательных микроорганизмов и активность некоторых ферментов. Благодаря углекислому газу остаточный растворенный в субстрате кислород вытесняется, при этом окружающая среда становится более анаэробной и, таким образом, стимулируется рост молочнокислых микроорганизмов. Рост и развитие *L. brevis*, *P. cerevisiae* и *L. plantarum* приводит к дальнейшему накоплению кислот и заключительной стадии ферментации [22]. *L. mesenteroides* сбраживает глюкозу примерно до 45 % молочной кислоты, 25 % углекислого газа и 25 % уксусной кислоты и этанола. Кроме того, штаммы этого вида способны ферментировать фруктозу в маннит, а также могут использовать другие сахара — арабинозу и ксилозу. В результате метаболизма углеводов образуются некоторые ароматические соединения, такие как кислоты, сложные эфиры, спирты и серосодержащие соединения [10].

Благодаря популярности квашеной капусты со временем стали появляться технологии ферментирования и многих других овощей. Квашеная капуста, ферментированные огурцы и кимчи являются наиболее изученными ферментированными овощами в основном из-за их коммерческой значимости [23]. Также промышленное значение в странах Средиземноморья имеют ферментированные оливки [24].

Наиболее популярным растительным сырьем для ферментации, после капусты, являются корнеплоды (морковь, репа, свекла, редис, сельдерей и сладкий картофель) и овощи (огурцы, оливки, помидоры, перец, бамя и зеленый горошек) [14].

В ферментированной капусте кимчи во время ферментации *L. mesenteroides* также является одной из наиболее преобладающих молочнокислых бактериальных групп. Кимчи — традиционный корейский ферментированный продукт, производимый путем ферментации китайской капусты и редьки, с различными специями (порошком красного перца, чеснока и имбиря). Кимчи отличается по вкусу от квашеной капусты и солений, обладает уникальным, особенно кислым вкусом, употребляется в качестве гарнира, как салат и для приготовления супов и тушеных блюд [25, 26]. В формировании вкуса этого продукта, в дополнение к серосодержащим соединениям капусты и редьки, важную роль играют некоторые альдегиды, терпены и кетоны [17].

Кимчи содержит различные полезные для здоровья компоненты, включая β-каротин, хлорофилл, витамин С и пищевые волокна [27].

Поскольку кимчи производится без закваски путем естественного брожения, среда способствует росту различных микроорганизмов. Сырье для приготовления кимчи самопроизвольно ферментируется без стерилизации [28]. Ферментация кимчи зависит от температуры. Ферментацию проводят при низкой температуре (2–5 °С). Созревает этот продукт за одну неделю при 15 °С и три дня при 25 °С. Но более низкая температура предпочтительнее для того, чтобы предотвратить образование большого количества кислот и перезревание продукта [14]. Лучшее понимание процесса ферментации кимчи может быть получено путем изучения разнообразия молочнокислых микроорганизмов [27]. Но, несмотря на все микробное разнообразие, исследования показывают, что бактериальные роды *Leuconostoc* и *Lactobacillus* играют ключевую роль в ферментации кимчи. На ранних стадиях ферментации и за начальное анаэробное состояние отвечает *L. mesenteroides*, а когда pH постепенно падает до 4,0, преобладающим видом становится *L. plantarum* [29]. Также ответственными за ферментацию являются и другие молочнокислые микроорганизмы: *Leuconostoc kimchii*, *Leuconostoc citreum*, *Leuconostoc gasicomitatum*, *Leuconostoc gelidum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sakei*, *Lactococcus lactis*, *Pediococcus pentosaceus*, *Weissella confusa*, *Weissella kimchii*, *Weissella koreensis* [30, 31].

В технологии ферментирования как квашеной капусты, так и кимчи необходимо действовать достаточно высокие концентрации соли — от 1,5 % и выше, однако в настоящее время существует тенденция целенаправленного снижения уровня соли в пищевых продуктах для предотвращения сердечно-сосудистых заболеваний, что является основанием к изучению использования при ферментации минеральных солей с низким содержанием натрия. Соль считается одним из наиболее важных факторов при ферментации, влияющих на рост и метаболизм микробов [17].

Исследования Wiander B. and Korhonen H. показали, что с помощью трав и специй в сочетании с изолированными штаммами молочнокислых микроорганизмов (*L. mesenteroides* и *P. dextrinicus*) в качестве заквасок и минеральной соли с низким содержанием (Na^+) можно производить квашеную капусту и сок квашеной капусты с хорошими органолептическими свойствами. Также был установлен эффект значительного сокращения продолжительности ферментации. В итоге данные продукты могут стать альтернативой для потребителей, которые предпочитают ферментированные продукты с низким содержанием соли [32]. В исследовании [33] изучалось влияние добавления стартерной культуры *L. mesenteroides* на ферментацию капусты с пониженной концентрацией соли и при этом возможность получения квашеной капусты с воспроизводимым и приемлемым химическим составом и органолептическими характеристиками. Химический анализ проб рассола квашеной капусты показал, что ферментация с добавлением 1 % поваренной соли и *L. mesenteroides* проходила быстрее. При сокращении количества NaCl на 50 % и при добавлении *Leuconostoc mesenteroides* сохранялась

твердая хрустящая текстура квашеной капусты и хорошие вкусовые качества.

Ферментация цветной капусты еще не привлекала к себе большого внимания, и поэтому в настоящее время имеется ограниченное количество литературных данных по этому продукту. Учитывая питательную ценность цветной капусты, следует изучить этот тип продукта не только как микробную экосистему, но и в коммерческом направлении. В исследовании [34] спонтанная ферментация цветной капусты характеризовалась начальной гетероферментативной стадией, за которой следовала гомоферментативная стадия. На первом этапе были выделены штаммы, принадлежащие виду *L. mesenteroides*. На этой стадии понижение pH в сочетании с добавленной солью ингибировало нежелательные грамотрицательные микроорганизмы. В процессе ферментации преобладали штаммы, принадлежащие к виду *L. plantarum*, из-за большой метаболической способности быстро адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. Во время гомоферментативной стадии оставшиеся углеводы сбраживаются до молочной кислоты, что приводит к дальнейшему снижению значения pH.

В маринованных огурцах из-за высокой концентрации NaCl рост *L. mesenteroides* и других менее солеустойчивых видов молочнокислых микроорганизмов подавляется, и основными видами, ответственными за ферментацию, являются гомоферментативные молочнокислые микроорганизмы *P. pentosaceus* и *L. plantarum* [35, 36].

В таких продуктах, как традиционная итальянская Brovada, которая производится из репы, тайландские Naw-mai-dong и Hom-dong, приготовленные из молодых побегов бамбука и зеленого лука, а также Gundruk и Khaalpi, которые готовятся из капусты и свежих листьев местных овощей, листьев горчицы и листьев цветной капусты, *L. mesenteroides* и *L. plantarum* также являются основными молочнокислыми микроорганизмами, участвующими в ферментации [34].

В Sayur-Asin — традиционном индонезийском продукте из листьев горчицы — ферментация происходит в результате развития молочнокислых микроорганизмов вида *L. mesenteroides* и *Lactobacillus confusus*, на последних стадиях в ферментированном продукте развивается *L. plantarum* и микроорганизмы рода *Pediococcus* [34]. Ферментация тайваньского варианта ферментированной капусты *Paocai*, обладающей хрустящей текстурой и острым вкусом, инициируется различными микроорганизмами, представленными в сырье, и в конечном итоге доминирующими становятся молочнокислые микроорганизмы *L. mesenteroides*, *L. plantarum*, *L. brevis* и *L. lactis* [14]. В табл. 2 приведены примеры продуктов, производимых в разных регионах мира, в ферментации которых участвует *L. mesenteroides*.

Молочнокислые микроорганизмы рода *Leuconostoc* входят во все сообщества эпифитных микроорганизмов, которые участвуют в ферментировании всех видов овощей. При этом *L. mesenteroides* является главным видом микроорганизмов, участвующих в первой

Таблица 2. Примеры ферментированных продуктов, при получении которых участвует *L. mesenteroides* (адаптировано с [1, 14, 36, 37])

Table 2. Examples of products fermented using *L. mesenteroides* as a starter culture (adapted from [1, 14, 36, 37])

Продукт / Product	Страна / Country	Основные ингредиенты / Main ingredients	Микроорганизмы / Microorganisms
Квашеная капуста / Sauerkraut	Страны Европы и Америки / European and American countries	Капуста, соль / Cabbage, salt	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. brevis</i> <i>L. plantarum</i>
Кимчи (вариант ферментированной капусты) / Kimchi (spicy fermented vegetables, mostly cabbage)	Корея / Korea	Корейская капуста, редька, соль, специи и другие овощи (имбирь, перец, чеснок, лук) / Napa cabbage, radish, salt, spices and other vegetables (ginger, pepper, garlic, onion)	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. brevis</i> <i>L. plantarum</i> <i>L. sakei</i>
Оливки / Olives	Испания, Италия / Spain, Italy	Оливки, соль / Olives, salt	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. plantarum</i> <i>L. brevis</i> <i>L. pentosus</i> <i>P. cerevisiae</i>
Зеленые помидоры / Green tomatoes	Страны Европы / European countries	Зеленые помидоры, соль, оливковое масло / Green tomatoes, salt, olive oil	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. casei</i> <i>L. curvatus</i> <i>L. citreum</i>
Dhamuoi (вьетнамский вариант кимчи) / (a Vietnamese version of kimchi)	Вьетнам / Vietnam	Капуста, разные овощи / Cabbage, assorted vegetables	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. plantarum</i>
Раосаи (вариант ферментированной капусты) / (a type of fermented cabbage)	Китай / China	Капуста, сельдерей, огурец и редис, имбирь, соль, сахар, острый красный перец / Cabbage, celery, cucumber and radish, ginger, salt, sugar, hot red pepper	<i>L. pentosus</i> <i>L. plantarum</i> <i>L. mesenteroides</i> <i>L. brevis</i> <i>L. lactis</i> <i>L. fermentum</i>
Sayur asin (ферментированный горчичный продукт) / (fermented mustard product)	Индонезия / Indonesia	Горчица, капуста, соль, жидкость из отварного риса / Mustard, cabbage, salt, rice water	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. confuses</i> <i>L. plantarum</i> <i>P. pentosaceus</i>
Темпройак (ферментированный дуриан) / (fermented durian)	Малазия / Malaysia	Дуриан (<i>Durio zibethinus</i>), соль / Durian, salt	<i>L. mesenteroides</i> <i>L. brevis</i> <i>L. mali</i> <i>L. fermentum</i>
Yan-taozih (маринованные персики) / (pickled peaches)	Китай и Тайвань / China and Taiwan	Персики, соль, сахар и маринованные сливы / Peaches, salt, sugar and pickled plums	<i>L. mesenteroides</i> <i>W. cibaria</i> <i>L. lactis subsp. lactis</i> <i>W. paramesenteroides</i> <i>E. faecalis</i> <i>W. minor</i> <i>L. brevis</i>
Yan-tsai-shin (ферментированная брокколи) / (fermented broccoli)	Тайвань / Taiwan	Брокколи, сахар, соевый соус и кунжутное масло / Broccoli, sugar, soy sauce and sesame oil	<i>L. mesenteroides</i> <i>W. paramesenteroides</i> <i>W. cibaria</i> <i>W. minor</i> <i>L. plantarum</i> <i>E. sulfurous</i>

стадии ферментирования. Главная задача этих микроорганизмов – создание условий для следующей стадии ферментирования.

Учитывая вышеизложенное, при разработке промышленных технологий ферментирования овощей для получения конечного продукта стабильно высокого качества необходимо отталкиваться от того алгоритма ферментирования, который уже эволюционно сложился для того или иного продукта. Поскольку алгоритм предполагает наличие первого шага, то при создании промышленных бактериальных заквасок обязательным компонентом должны быть молочнокислые микроорганизмы вида *L. mesenteroides*.

Информация о вкладе авторов: Посокина Н.Е., Захарова А.И. – анализ литературы, написание текста статьи, получение данных для анализа, анализ полученных данных, разработка дизайна исследования, написание текста статьи, обзор публикаций по теме статьи.

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы (пп. 1–5, 7–37 см. References)

- Яруллина Д.Р., Фахруллин Р.Ф. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними // Учебно-методическое пособие. Казанский университет. 2014. 51 с.

References

- Lee CH. Food biotechnology. In: Campbell-Platt G, editor. Food science and technology. West Sussex, United Kingdom: Wiley-Blackwell Publishing Ltd; 2009. P. 85–114.
- Tamang JP, Samuel D. Dietary cultures and antiquity of fermented foods and beverages. In: Tamang JP, Kailasapathy K, editors. Fermented foods and beverages of the world. Boca Raton: CRC Press; 2010. P. 1–40. DOI: <https://doi.org/10.1201/EBK1420094954>

3. Kwon DY, Tamang JP. Religious ethnic foods. *J Ethn Foods*. 2015; 2(2):45-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.05.001>
4. Breidt F, McFeeters RF, Perez-Diaz I, et al. Fermented vegetables. In: Doyle MP, Buchanan RL, editors. Food microbiology: fundamentals and frontiers, 4th edition. Washington: ASM Press; 2013. P. 841-855. DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/9781555818463>
5. Medina-Pradas E, Perez-Diaz IM, Garrido-Fernandez A, et al. Review of vegetable fermentations with particular emphasis on processing modifications, microbial ecology, and spoilage. In: Bevilacqua A, Corbo MR, Sinigaglia M, editors. The microbiological quality of food: foodborne spoilers. Sawston: Woodhead Publishing; 2017. P. 211-236. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100502-6.00012-1>
6. Yarullina DR, Fakhruddin RF. Bacteria of the *Lactobacillus* species: general characteristics and methods of working with them (a study guide). Kazan: Kazan Federal University Publ.; 2014. 51 p. (In Russian).
7. Rolle R, Satin M. Basic requirements for the transfer of fermentation technologies to developing countries. *Int J Food Microbiol*. 2002; 75(3):181-187. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00705-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00705-X)
8. Alvarez-Sieiro P, Montalban-Lopez M, Mu D, et al. Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. *Appl Microbiol Biot*. 2016; 100(7):2939-2951. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7343-9>
9. Sauer M, Russmayer H, Grabherr R, et al. The efficient clade: lactic acid bacteria for industrial chemical production. *Trends Biotechnol*. 2017; 35(8):756-769. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.05.002>
10. Thierry A, Pogacic T, Weber M, et al. Production of flavor compounds by lactic acid bacteria in fermented foods. In: Mozzi F, Raya RR, Vignolo GM, editors. Biotechnology of lactic acid bacteria: novel applications, 2nd edition. Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell; 2015. P. 314-340. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118868386.ch19>
11. Rodgers S. Novel applications of live bacteria in food services: probiotics and protective cultures. *Trends Food Sci Tech*. 2008; 19(4):188-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.11.007>
12. Liu SN, Han Y, Zhou ZJ. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods. *Food Res Int*. 2011; 44(3):643-651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.034>
13. Salmeron I, Thomas K, Pandiella SS. Effect of substrate composition and inoculum on the fermentation kinetics and flavour compound profiles of potentially non-dairy probiotic formulations. *LWT-Food Sci Technol*. 2014; 55(1):240-247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.008>
14. Swain MR, Anandharaj M, Ray RC, et al. Fermented fruits and vegetables of Asia: a potential source of probiotics. *Biotechnol Res Int*. 2014; article ID 250424, 19 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/250424>
15. Azam M, Mohsin M, Ijaz H, et al. Review – Lactic acid bacteria in traditional fermented Asian foods. *Pak J Pharm Sci*. 2017; 30(5):1803-1814.
16. Ong YY, Tan WS, Rosfarizan M, et al. Isolation and identification of lactic acid bacteria from fermented red dragon fruit juices. *J Food Sci*. 2012; 77(10):M560-M564. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02894.x>
17. Yang X, Hu W, Xiu Z, et al. Microbial dynamics and volatilome profiles during the fermentation of Chinese northeast sauerkraut by *Leuconostoc mesenteroides* ORC 2 and *Lactobacillus plantarum* HBUAS 51041 under different salt concentrations. *Food Res Int*. 2020; 130:108926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108926>
18. Rhee SJ, Lee JE, Lee CH. Importance of lactic acid bacteria in Asian fermented foods. *Microbial Cell Factories*. 2011; 10(Suppl 1):S5. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-S1-S5>
19. Fadhil R, Hayati R, Agustina R. Quality characteristics of sauerkraut from cabbage (*Brassica oleracea*) during fermentation and variation of salt concentration. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2019; 8(10):2906-2909.
20. Müller A, Rösch N, Cho GS, et al. Influence of iodized table salt on fermentation characteristics and bacterial diversity during sauerkraut fermentation. *Food Microbiol*. 2018; 76:473-480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.07.009>
21. Plengvidhya V. Microbial ecology of sauerkraut fermentation and genome analysis of lactic acid bacterium *Leuconostoc mesenteroides* ATCC 8293. *DPhil Thesis*. Raleigh, N.C.: North Carolina State Univ.; 2003.
22. Varzakas T, Zakynthinos G, Proestos C, et al. Fermented vegetables. In: Yildiz F, Wiley R, editors. Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Food Engineering Series. Boston, MA: Springer; 2017. P. 537-584. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7018-6_15
23. Roberts JS, Kidd DR. Lactic acid fermentation of onions. *LWT-Food Sci Technol*. 2005; 38(2):185-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.05.007>
24. Di Cagno R, Surico RF, Siragusa S, et al. Selection and use of autochthonous mixed starter for lactic acid fermentation of carrots, French beans or marrows. *Int J Food Microbiol*. 2008; 127(3):220-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.07.010>
25. Le Kim YK, Koh E, Chung HJ, et al. Determination of ethyl carbamate in some fermented Korean foods and beverages. *Food Addit Contam*. 2000; 17(6):469-475. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030050034055>
26. Hong SI, Kim YJ, Pyun YR. Acid tolerance of *Lactobacillus plantarum* from kimchi. *LWT-Food Sci Technol*. 1999; 32(3):142-148. DOI: <https://doi.org/10.1006/food.1998.0517>
27. Nam YD, Chang HW, Kim KH, et al. Metatranscriptome analysis of lactic acid bacteria during kimchi fermentation with genome-probing microarrays. *Int J Food Microbiol*. 2009; 130(2):140-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.007>
28. Choi YJ, Yong S, Lee MJ, et al. Changes in volatile and non-volatile compounds of model kimchi through fermentation by lactic acid bacteria. *LWT-Food Sci Technol*. 2019; 105:118-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.001>
29. Kim M, Chun J. Bacterial community structure in kimchi, a Korean fermented vegetable food, as revealed by 16S rRNA gene analysis. *Int J Food Microbiol*. 2005; 103(1):91-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.030>
30. Jung JY, Lee SH, Kim JM, et al. Metagenomic analysis of kimchi, a traditional Korean fermented food. *Appl Environ Microbiol*. 2011; 77(7):2264-2274. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02157-10>
31. Jung JY, Lee SH, Lee SH, et al. Complete genome sequence of *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* strain J18, isolated from kimchi. *J Bacteriol*. 2012; 194(3):730-731. DOI: <https://doi.org/10.1128/JB.06498-11>
32. Wiander B, Korhonen HJT. Preliminary studies on using LAB strains isolated from spontaneous sauerkraut fermentation in combination with mineral salt, herbs and spices in sauerkraut and sauerkraut juice fermentations. *Agr Food Sci*. 2011; 20(2):176-182. DOI: <https://doi.org/10.2137/145960611797215682>
33. Dimić GR. Characteristics of the *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* strains from fresh vegetables. *APTEFF*. 2006; 37:3-11. DOI: <https://doi.org/10.2298/APT0637003D>
34. Paramithiotis S, Hondrodinou OL, Drosinos EH. Development of the microbial community during spontaneous cauliflower fermentation. *Food Res Int*. 2010; 43(4):1098-1103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.01.023>
35. Di Cagno R, Coda R, De Angelis M, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiol*. 2013; 33(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.09.003>
36. Paramithiotis S, Kouretas K, Drosinos EH. Effect of ripening stage on the development of the microbial community during spontaneous fermentation of green tomatoes. *J Sci Food Agric*. 2013; 94(8):1600-1606. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6464>
37. Lactic acid fermentation of fruits and vegetables. In: Paramithiotis S, editor. Lactic acid fermentation of fruits and vegetables. Boca Raton: CRC Press; 2017. P. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315370378>

Контактная информация:

Посокина Наталья Евгеньевна, заведующая лабораторией технологии консервирования ВНИИТЭК
e-mail: Labtech45@yandex.ru

Corresponding author:

Natalia E. Posokina, Head of the Laboratory of Food Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology
e-mail: Labtech45@yandex.ru