

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ / FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.52.9>

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ ИЗ СИЛОСА
ДЛЯ ФЕРМЕНТИРОВАНИЯ ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ

Научная статья

Никитина Е.В.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0003-2446-446X;

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ev-nikitina[at]inbox.ru)

Аннотация

Исследована способность трех штаммов молочнокислых бактерий, выделенных из силоса, на способность ферментировать мясное сырье: баранину и курицу. Выявлена разная степень кислотообразования в условиях ранжирования мясного сырья для разных штаммов. Среди протестированных молочнокислых бактерий наибольшая скорость подкисления выявлена у штамма *Lactiplantibacillus plantarum* AG1 как на бараньем, так и курином мясном сырье. Этот же штамм проявил большую протеолитическую активность по сравнению с *Limosilactobacillus fermentum* AG8 и *Lacticaseibacillus rhamnosus* AG16. Учитывая полученные результаты, можно рекомендовать этот штамм *Lactiplantibacillus plantarum* AG1 как дополнительный компонент в ансамбле стартовых культур для мясной отрасли.

Ключевые слова: лактобациллы, мясное сырье, ферментация, кислотообразование.

EVALUATION OF THE PROSPECTS OF USING LACTIC ACID BACTERIA STRAINS FROM SILAGE FOR
FERMENTATION OF ANIMAL RAW MATERIALS

Research article

Nikitina E. V.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0003-2446-446X;

¹ Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (ev-nikitina[at]inbox.ru)

Abstract

The ability of three strains of lactic acid bacteria isolated from silage to ferment meat raw materials: mutton and chicken was studied. Different degrees of acid formation under the conditions of meat raw material ranking for different strains were found. Among the tested lactic acid bacteria, the highest acidification rate was found for the strain *Lactiplantibacillus plantarum* AG1 on both mutton and chicken meat raw materials. The same strain showed greater proteolytic activity compared to *Limosilactobacillus fermentum* AG8 and *Lacticaseibacillus rhamnosus* AG16. Taking into account the results obtained, this strain *Lactiplantibacillus plantarum* AG1 can be recommended as an additional component in the ensemble of starter cultures for the meat industry.

Keywords: lactobacillus, meat raw materials, fermentation, acid formation.

Введение

В технологии ферментированных мясных изделий часто используются такие ингредиенты, как постная свинина, свиной задний жир, соль и специи [1], [2]. Эти ингредиенты набиваются в натуральную свиную оболочку, а затем ферментируются и созревают в контролируемых условиях. Характеристики готовых колбас зависят от метаболической активности штаммов бактерий в процессе созревания. На состав бактериального сообщества влияет инокулированная закваска. Использование стартовых культур повышает качество и безопасность традиционных мясных продуктов. Различные физические и химические условия, такие как pH, температура и питательные вещества, также влияют на физико-химические и сенсорные качества колбас. Ферментированные колбасы – это мясные продукты, в которых молочнокислые бактерии (МКБ) используются в качестве пробиотической стартовой культуры в период созревания колбасы, что снижает pH, изменяет первичную микрофлору, миофибриллярные белки студня, текстуру и улучшает другие органолептические свойства за счет выработки молочной кислоты [3]. Традиционно в качестве стартовых культур для мясных продуктов рассматривают бактерии родов *Lactobacillus sakei*, *Staphylococcus carnosus* или *Staphylococcus xylosus* (PrestoSTART), также к ним могут добавить *Pediococcus acidilactici* (SafePro FLORA ITALIA LC) или *Penicillium nalgiovense* (Vactoferm Mold-600). Однако мировая тенденция в научных исследованиях расширяет эти границы, предлагая использовать более широкий круг бактерий, в том числе с пробиотическими свойствами. Например, рядом авторов показана высокая эффективность ферментации мяса лактобактериями видов *Lactiplantibacillus plantarum*, *Liminolactobacillus fermentum* [4], [5], [6]. Кроме кислотообразования лактобактерии способны менять ароматическую композицию пищевых продуктов, что важно с точки зрения органолептических свойств [7].

Ранее нами были охарактеризованы пробиотические свойства молочнокислых бактерий, выделенных из силоса [8], их видовая принадлежность определена, они относятся к видам *Lactiplantibacillus plantarum*, *Liminolactobacillus fermentum* и *Lacticaseibacillus rhamnosus*.

Методы и принципы исследования

В работе использовали штаммы *Lactiplantibacillus plantarum* AG1, *Limosilactobacillus fermentum* AG8, *Lacticaseibacillus rhamnosus* AG16 (ранее идентифицированный как *L. fermentum*), выделенные из силоса и описанные ранее [8]. Культивирование их осуществляли на среде МРС и МРС агар (Himedia, Индия). Для инокулирования в фаршевые системы готовили ночную культуру бактерий, для чего в колбу с 20 мл МРС добавляли 20 мкл суспензии штаммов и культивировали 16 ч при 38 °С без перемешивания. Затем стерильно центрифугировали суспензию 10 мин при 4500 об/мин, культуральную жидкость сливали, а биомассу клеток ресуспендировали, получившуюся суспензию использовали для инокулирования мясного фарша.

Для проверки возможности использования штаммов для ферментирования мяса курицы и баранины были изготовлены восемь групп модельных фаршевых систем. Четыре модели были изготовлены из грудки курицы (Пестречинка, РФ) и четыре модели из мякоти баранины (Мираторг, РФ), мясное сырье было куплено в местных супермаркетах. Мясо курицы или баранины измельчали и добавляли хлорид натрия (25 г/кг фарша), сахарозу (40 г/кг), и 500 мг/кг NaNO₃. По три группы были опытными: AG1 – инокулировали *Lactiplantibacillus plantarum* AG1, AG8 – инокулировали *Limosilactobacillus fermentum* AG8, и AG16 – инокулировали *Lacticaseibacillus rhamnosus* AG16. Для стративных культур использовали суспензию приблизительно 10⁶ КОЕ/г фарша, добавляли соответственно в фарш и тщательно перемешивали. Каждая фаршевая система содержала 80 г. Затем фарш ферментировали в течение 48 ч при 30 °С и относительной влажности 80% в термостате. После этого фарши созревали в течение 7 дней при температуре 13-15 °С и относительной влажности 65-70% в климатической камере.

Белок, жир, влага были определены на анализаторе инфракрасном ИнфраЛЮМ ФТ (Санкт-Петербург, РФ) по калибровочной кривой «мясной продукт». рН измеряли в водной вытяжке (5 г фарша смешивали с 45 мл дистиллированной воды).

Статистический анализ. Для сравнения средних значений полученных результатов использовали t-тест, $p > 0,05$ для незначимых различий. Все эксперименты проводились в трех повторностях, в работе таблице и рисунках показаны средние значения со стандартным отклонением. Расчеты по работе осуществлялись с помощью программного обеспечения MS Excel 2009.

Основные результаты

Изменения рН мясных фаршей в процессе ферментации и созревания представлены на рисунке 1. Начальные значения рН в контрольной и заквасочных группах составляли 7,36 в случае баранины и 6,66 в случае использования куриной грудки. Показатель рН значительно различался между контрольной и заквасочными группами через 48 ч ферментации. В случае баранины рН в группе AG1 был самым низким, на уровне 5,55 ед, в группе AG8 – чуть выше 5,72. Штамм AG16 проявлял низкую кислотообразующую способность, через 2 суток ферментации показатель рН снизился до 6,41 ед.

В случае куриной грудки наибольшая кислотообразующая активность была при использовании штамма *L. plantarum* AG1, к сожалению штаммы *L. fermentum* AG8 и *L. rhamnosus* AG16 оказались менее активны. Снижение рН связано с накоплением органических кислот, вырабатываемыми МКБ, прежде всего молочной кислотой. Интенсивное снижение рН на начальном этапе может обеспечить безопасность ферментированных мясных изделий. Процессы подкисления различались между двумя используемыми видами мяса. Кроме того, выявлены различия в ферментации в зависимости от вида бактерий. Наибольшая эффективность присуща *L. plantarum* AG1. В других исследованиях высокая эффективность подтверждена для *L. plantarum* в смешанных заквасочных культурах на подкисленных колбасах в процессе ферментации [9], [10].

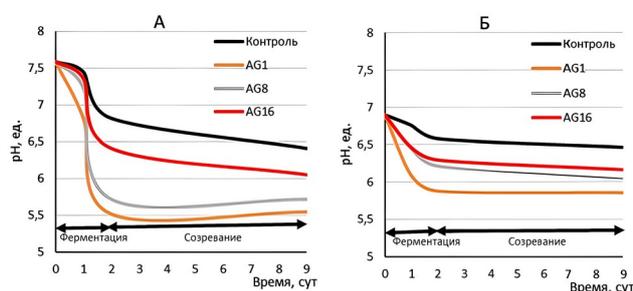


Рисунок 1 - Изменение рН баранины (А) и курицы (Б) при ферментации или созревании с использованием разных штаммов лактобактерий

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.52.9.1>

В процессе ферментирования происходило снижение влажности (табл.1), наибольшее снижение от начального уровня влажности выявлено при использовании штамма *L. rhamnosus* AG16 в обоих вариантах мясного сырья. Показатель белка имеет важное значение с точки зрения пищевой ценности, выявлено, что количество белка было меньше в опытных вариантах независимо от используемого мяса. Меньшая концентрация белка по сравнению с контрольным уровнем через 7 дней ферментации может быть обусловлена воздействием протеолитических

ферментов. Протеолиз, катализируемый эндогенными ферментами, присутствующими в тканях мяса, и микробными ферментами из добавляемых заквасочных культур, является одной из наиболее важных биохимических реакций во время сыровяления и определяет характеристики конечных мясных продуктов [11]. Исходя из этого предположения, в случае использования штамма *L. plantarum* AG1 реализуется его высокий протеолитический потенциал.

Количество животного жира в процессе ферментации увеличилось, что обусловлено снижением влажности, при этом в случае баранины не выявлено существенных различий между контрольным и опытными образцами фаршевых систем. Что касается курицы, то содержание жира в опытных образцах на 2% больше, чем в контрольном, что может быть обусловлено меньшей влажностью опытных вариантов.

Таблица 1 - Химические показатели фаршевых систем из баранины или курицы после созревания с использованием разных молочнокислых бактерий

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.52.9.2>

Образец	Баранина			Курица		
	Жир, %	Белок, %	Влажность, %	Жир, %	Белок, %	Влажность, %
Исходные показатели фаршей до внесения бактериальной закваски						
Начальная	13,23±0,12	16,01±0,11	71,05±1,25	6,41±0,11	22,14±0,15	70,83±1,11
Показатели после созревания (9 сут)						
Контроль	16,40±0,13	17,11±0,15	63,17±1,11	7,57±0,09	29,66±0,15	63,58±1,12
AG1	16,70±0,08	15,00±0,10	63,14±1,09	9,73±0,11	27,03±0,14	61,82±1,15
AG8	16,27±0,20	16,43±0,14	63,48±1,15	9,58±0,12	27,58±0,22	62,03±0,98
AG16	16,86±0,15	16,94±0,13	61,83±1,06	9,59±0,13	28,56±0,14	59,23±1,12

Полученные результаты свидетельствуют о разном уровне кислотообразования и реализации протеолитического потенциала в условиях мясного сырья. Выявлено, что наиболее перспективным с точки зрения подкисления мяса, особенно не традиционного для сыровяления как баранина, является штамм *L. plantarum* AG1, он же проявляет наибольшую протеолитическую активность. О возможности применения молочнокислых бактерий вида *Lactiplantibacillus plantarum* свидетельствуют другие авторы. Например, для штамма *L. plantarum* 3-19 показана высокая скорость снижения pH, а также способность снижать накопление нежелательных биогенных аминов на 30% в процессе изготовления сыровяленных изделий из свинины [12]. В настоящее время мясные продукты также рассматриваются как матрица для доставки пробиотических бактерий в организм человека, в частности *L. plantarum* BFL [13], *L. rhamnosus* LR32 200B и *L. plantarum* LP115 400B [14] использовались для получения колбас типа салями. Ранее нами показано, что используемые в нашей работе штаммы МКБ обладают пробиотическими свойствами [8], [15], что, в свою очередь, расширяет горизонты исследования и использования МКБ в составе заквасок для мясной отрасли.

Заключение

С точки зрения перспективы использования исследованных штаммов в полноценной технологии необходимы исследования поведения коммерческих стартовых культур с интродукцией *L. plantarum* AG1 или других культур, в том числе пробиотических, что будет являться целью дальнейших исследований. В перспективе предполагается провести партию сыровяленных целномышечных изделий из баранины и курицы с применением разных коммерческой закваски, в которую будет в разных пропорциях добавлены новые штаммы. Такой подход даст основания для составления оптимальной композиции молочнокислых бактерий для мясной отрасли. Работы в области биотехнологии заквасочных композиций с новыми российскими штаммами являются актуальными и востребованными с точки зрения импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности.

Финансирование

Работа поддержана грантом Российского научного фонда (РНФ проект № 22-16-00040).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (RSF project-22-16-00040).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pavli F. G. Effect of *Lactobacillus plantarum* L125 strain with probiotic potential on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of dry fermented sausages / F. G. Pavli, A. A. Argyri, N. G. Chorianopoulos [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. — 2019. — Vol. 118. — P. 108810.
2. Li Y. Effect of inoculating mixed starter cultures of *Lactobacillus* and *Staphylococcus* on bacterial communities and volatile flavor in fermented sausages / Y. Li, Z. Cao, Z. Yu [et al.] // *Food Science and Human Wellness*. — 2023. — Vol. 12. — № 1. — P. 200–211.
3. Casaburi A. Technological properties and bacteriocins production by *Lactobacillus curvatus* 54M16 and its use as starter culture for fermented sausage manufacture / A. Casaburi, V. Di Martino, P. Ferranti [et al.] // *Food Control*. — 2016. — Vol. 59. — P. 31–45.
4. Afraei M. Improvement the texture of nitrite-free fermented sausages using microencapsulation of fermenting bacteria / M. Afraei, S. Soleimani-Zad, M. Fathi // *Food Bioscience*. — 2022. — Vol. 50, Part A. — P. 102010.
5. Mirlouhi M. Identification of *Lactobacilli* from fecal flora of some Iranian infants / M. Mirlouhi, S. Soleymanianzad, M. Sheikh-Zeyn Aldin // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. — 2008. — Vol. 4. — P. 521–527.
6. Jomehzadeh N. Isolation and identification of potential probiotic *Lactobacillus* species from feces of infants in southwest Iran / N. Jomehzadeh, H. Javaherizadeh, M. Amin [et al.] // *International Journal of Infectious Diseases*. — 2020. — Vol. 96. — P. 524–530.
7. Pei M. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08 / M. Pei, S. Chen, S. Chen [et al.] // *Food Bioscience*. — 2022. — Vol. 46. — P. 101590.
8. Gavrilova E. Newly isolated lactic acid bacteria from silage targeting biofilms of foodborne pathogens during milk fermentation / E. Gavrilova, E. Anisimova, A. Gabdelkhadieva [et al.] // *BMC Microbiology*. — 2019. — Vol. 19. — № 1. — P. 248.
9. Tang K.X. Effect of starter cultures on taste-active amino acids and survival of pathogenic *Escherichia coli* in dry fermented beef sausages / K.X. Tang, T. Shi, M. Ganzle // *European Food Research and Technology*. — 2018. — Vol. 244. — № 12. — P. 2203–2212.
10. Zhang H. The effects of amine oxidase-producing starter culture on biogenic amine accumulation in traditional Chinese smoked horsemeat sausages / H. Zhang, B. Li, L. Zhao [et al.] // *Journal of Food Safety*. — 2019. — Vol. 39. — P. 12638.
11. Candogan K. Effect of starter culture on proteolytic changes during processing of fermented beef sausages / K. Candogan, F. B. Wardlaw, J. C. Acton // *Food Chemistry*. — 2009. — Vol. 116. — № 3. — P. 731–737.
12. Shang H. The effects of *Lactiplantibacillus plantarum* 3-19 and *Pediococcus pentosaceus* 18-1 on preventing the accumulation of biogenic amines and promoting the production of volatile organic compounds during sour meat fermentation / H. Shang, Y. Yue, B. Guo [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. — 2024. — Vol. 421. — P. 110806.
13. Sirini N. Applicability of the probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* BFL as an adjunct culture in a dry fermented sausage / N. Sirini, M. Stegmayer, M. J. Ruiz [et al.] // *Meat Science*. — 2023. — Vol. 200. — P. 109166.
14. Tukul O. Production of probiotic fermented salami using *Lactocaseibacillus rhamnosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, and *Bifidobacterium lactis* / O. Tukul, I. Sengun // *Journal of Food Science*. — 2024. — Vol. 89. — № 5. — P. 2956–2973.
15. Sungatullina A. Effect of flaxseed mucilage on the probiotic, antioxidant, and structural-mechanical properties of the different *Lactobacillus* cells / A. Sungatullina, T. Petrova, M. Kharina [et al.] // *Fermentation*. — 2023. — Vol. 9. — P. 486.