

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

Никифорова А.П., Хазагаева С.Н., Хамагаева И.С.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ,  
ул. Ключевская, д. 40в, стр. 1.

Статья посвящена изучению процесса ферментации байкальского омуля бактериальным концентратом *Lactobacillus sakei* LSK-104. О биохимической активности *L. sakei* LSK-104 судили по изменению pH и росту клеток. Установлено, что при ферментации мышечной ткани омуля активная кислотность в опытном образце снижалась быстрее, и через 14 суток значение pH достигало значения 5,05, тогда как в контрольном – 6,28, что свидетельствует об образовании органических кислот в процессе молочнокислого брожения, вызванного *L. sakei* LSK-104. При этом количество жизнеспособных клеток достигало максимального значения  $10^{11}$  КОЕ/г. Процесс молочнокислого брожения в рассоле протекал более интенсивно, чем в мышечной ткани. Полученные данные расширяют представление об адаптационных механизмах, обеспечивающих выживание *L. sakei* LSK-104 при неблагоприятных условиях культивирования<sup>1</sup>.

**Ключевые слова:** байкальский омуль, лактобактерии, молочнокислые бактерии, рыба, ферментация, *Lactobacillus sakei*.

## STUDY OF FERMENTATION PROCESS OF BAIKAL OMUL WITH THE USE OF LACTIC ACID BACTERIA

Nikiforova A.P., Khazagaeva S.N., Khamagaeva I.S.

East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Klyuchevskaya Str. 40v, bldg. 1.

The article describes fermentation process of the Baikal omul with the bacterial concentrate containing *Lactobacillus sakei* LSK-104. pH and microbiological analyses were used as indicators of biochemical activity of lactic acid bacteria. As found, during fermentation of omul, pH of the muscle tissue in the experimental sample decreased faster and reached 5.05 at 14 days of fermentation, while in the control sample the pH value was 6.28. It can be explained by the formation of organic acids during the fermentation with lactic acid bacteria *L. sakei* LSK-104. In this case, the number of viable cells reached a maximum value of  $10^{11}$  CFU/g. The lactic acid fermentation process in brine proceeded more intensively than in the muscle tissue. The data obtained in this study expand our understanding of the adaptive mechanisms that ensure survival of *L. sakei* LSK-104 under unfavorable cultivation conditions<sup>\*</sup>.

**Key words:** Baikal omul, lactobacilli, lactic acid bacteria, fish, fermentation, *Lactobacillus sakei*.

\* Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (номер гранта МК-128.2020.11). The work was financially supported by grant of the President of Russian Federation for young Russian scientists (MK-128.2020.11).

## ВВЕДЕНИЕ

Основным промысловым видом рыбы Байкальского региона является байкальский омуль *Coregonus migratorius*, являющийся эндемиком озера Байкал. Несмотря на то, что изучению биологических характеристик байкальского омуля уделяется большое внимание, изучению его химического состава посвящено лишь небольшое количество работ. В основном исследования касаются изучения жирнокислотного состава [Glyzina et al., 2010; Nikiforova et al., 2020].

Ассортимент продуктов из байкальского омуля очень разнообразен, представлен различными блюдами, в том числе солеными, копченными, вялеными. Представляет интерес особый способ изготовления омуля, распространенный у местного населения – ферментированный, так называемый омуль с душком, приготовленный путем посола и последующей выдержки при определенной температуре, обладающий своеобразным пикантным запахом, нежным по консистенции мясом и приятным вкусом. На сегодняшний день этот продукт промышленно не производится, его технология частично утеряна, а оценка качества, безопасности, изучение механизма формирования органолептических характеристик не проводились. Наибольшее распространение производство этого продукта получило в Кабанском и Баргузинском районах Республики Бурятия. Этот способ позволял сохранить наиболее качественную рыбу летнего лова в тех условиях, когда еще не было холодильного оборудования [Nikiforova A., Nikiforova O., 2015; Никифорова и др., 2017].

Во время приготовления в рыбе происходят биохимические реакции, за счет которых она приобретает своеобразный запах и вкус. Особенностью готового про-

дукта является нежная консистенция, приятный «маслянистый» вкус, характерный цвет мякоти рыбы – от розового до красноватого. Продукт обладает своеобразным ароматом, интенсивность которого может варьироваться от слабой до выраженной [Nikiforova A., Nikiforova O., 2015]. Недостатками метода является применение «неподконтрольной» ферментации, в результате которой возможен рост патогенной и условно патогенной микрофлоры, высокая продолжительность процесса посола и созревания, нестабильность органолептических характеристик продукта, которые во многом зависят от доминирующей микрофлоры. Необходим поиск современного подхода, позволяющий управлять процессом ферментации и сформировать органолептические характеристики, свойственные данному продукту.

Ферментированные рыбные продукты производятся в других регионах мира (Юго-Восточной Азии, Северной Европе и др.) и отличаются широким ассортиментом [Безопасность ..., 2009]. Для их производства применяют стартовые культуры различных микроорганизмов [Безопасность ..., 2009; Speranza et al., 2015]. Молочнокислые палочки относят к классическим пробиотикам. Они имеют высокий уровень безопасности GRAS, присвоенный Food & Drug Administration (FDA). Известно, что бактерии *Lactobacillus sakei* способны ферментировать мясо и активно применяются при производстве мясных продуктов, в том числе ферментированных колбас. *L. sakei* улучшают показатели безопасности мясных продуктов в связи с синтезом молочной кислоты и бактериоцинов. Эти бактерии были также обнаружены в составе микрофлоры саке, традиционного алкогольного напитка из риса [Katagiri et al., 1934]. Они играют важную роль при формировании характеристик

традиционного ферментированного рыбного продукта – ракфиска, производимого в Норвегии [Bjerke et al., 2019], входят в состав микрофлоры другого ферментированного рыбного продукта – jeotgal, производимого в Корее [Koo et al., 2016]. Также эти бактерии были обнаружены в ферментированных продуктах из овощей, таких как кимчи и квашеная капуста, заквасках из гречихи, пшеницы и тэфа [Jung et al., 2014; Lhomme et al., 2014; Moroni et al., 2011; Vogel et al., 1993].

Целью данной работы является изучение процесса ферментации байкальского омуля бактериальным концентратом *L. sakei* LSK-104.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований служили: омуль байкальский мороженый; омуль байкальский ферментированный с применением бактериального препарата молочнокислых бактерий; препарат бактериальный, содержащий штамм молочнокислых бактерий *L. sakei* LSK-104, полученный из фонда Национального биоресурсного центра – Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НБЦ ВКПМ) ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ГосНИИгенетика) [Всероссийская коллекция...]. Активизация штамма была проведена биотехнологическим способом, разработанным в Восточно-Сибирском государственном технологическом университете [Хамагаева, 2005].

При изучении ферментации посол рыбы осуществлялся тузлучным способом, при этом применяли рассол с содержанием поваренной соли 7%. Также в опытных образцах в качестве источника энергии ис-

пользовалась декстроза (1% от массы рассола). Перед последующей обработкой образцы байкальского омуля были разморожены при температуре  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Из рыбы были удалены внутренности и жабры.

При проведении эксперимента было изготовлено две партии ферментированного байкальского омуля:

– партия № 1 – контрольная партия (без добавления стартовых культур);

– партия № 2 – для ферментации применяли бактериальный концентрат молочнокислых бактерий *L. sakei* LSK-104 с содержанием бактериальных клеток  $1 \cdot 10^8$  КОЕ/мл в расчете 2 мл на 1 л рассола.

Ферментацию рыбы проводили при следующих условиях: 24 ч при температуре  $20^\circ\text{C}$ , затем 27 суток при температуре  $6\text{--}8^\circ\text{C}$ .

Органолептическая оценка рыбных продуктов проводилась при помощи простого дескриптивного метода по ГОСТ ISO 6658–2016, при этом экспертам предлагалось описать следующие органолептические характеристики: внешний вид, консистенцию, цвет, вкус, запах.

Микробиологические исследования проводили по ГОСТ Р 56139–2014. Количественный учет молочнокислых бактерий проводили в пробирках с применением метода предельных разведений на плотной питательной среде MRS (De Man, Rogosa, Sharpe). Посевы молочнокислых бактерий инкубировали при температуре  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Подсчет колоний проводили через 48 ч. Из выросших колоний микроорганизмов готовили препараты и окрашивали их по Граму [Красникова и др., 2013].

Активную кислотность рыбы и рыбных продуктов определяли по ГОСТ 7636–85 с использованием pH-метра «Анион-4100» (Инфраспак-Аналит, Новосибирск, Россия).

Микроскопирование образцов ферментированного байкальского омуля проводили в Центре коллективного пользования

«Прогресс» ВСГУТУ при использовании растрового электронного микроскопа JSM-6510LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments), настольной установкой JFC-1600 и столиком для нагрева и охлаждения образцов Deben COOLSTAGE.

Все исследования проводили в 3–5-кратной повторности. Полученные данные обработаны с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2010 с использованием критерия Манна – Уитни. Статистически достоверные различия обсуждались при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе экспериментальных исследований изучали влияние ферментации байкальского омуля с использованием *Lactobacillus sakei* LSK-104 на микробиоло-

гические показатели рыбных продуктов. Данные количественного учета жизнеспособных клеток микроорганизмов представлены в таблице 1. Отбор проб производился отдельно из рыбы и из рассола. О биохимической активности *L. sakei* LSK-104 судили по изменению активной кислотности (рН) и росту клеток (табл. 2).

Из анализа данных таблиц 1 и 2 видно, что при использовании бактериального концентрата *L. sakei* LSK-104 процесс ферментации протекает достаточно активно с образованием органических кислот, о чем свидетельствует изменение активной кислотности в мышечной ткани и рассоле. Максимальное снижение рН в мышечной ткани наступает на 14-й день культивирования (значение рН составляет 5,05), а в рассоле молочнокислое брожение интенсифицируется за счет источника энергии декстрозы, и через семь суток рН снижается до 4,41.

Таблица 1. Количественный учет бактерий *L. sakei* LSK-104 в рыбе и рассоле в процессе посола и ферментации рыбы

Table 1. Changes of lactic acid bacteria *L. sakei* LSK-104 cells in fish and brine during fermentation process

Контрольная точка, суток	Количество молочнокислых микроорганизмов	
	В рыбе, КОЕ/г	В рассоле, КОЕ/мл
0	Не измерялось	$7 \cdot 10^5$
1	$1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^7$
7	$1 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^9$
14	$2 \cdot 10^{11}$	$8 \cdot 10^8$
21	$7 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^8$
28	$2 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$

Таблица 2. Значения рН рыбы и рассола в процессе ферментации

Table 2. Values of pH in fish and brine during fermentation process

Контрольная точка, суток	рН			
	Рыба		Рассол	
	Контроль	С добавлением <i>Lactobacillus sakei</i>	Контроль	С добавлением <i>Lactobacillus sakei</i>
0	6,80	6,80	6,36	6,36
1	6,45	6,44	6,30	5,44
7	6,16	5,35	6,26	4,41
14	6,28	5,05	6,45	4,73
21	6,40	5,46	6,64	5,01
28	6,48	5,63	6,80	5,20

Активный рост *L. sakei* LSK-104 обусловлен достаточным содержанием в среде питательных веществ и декстрозы, выступающей в качестве источника энергии. Кроме того, исследованиями зарубежных ученых было установлено, что в лабораторных условиях штаммы *L. sakei* в основном ферментируют глюкозу, N-ацетил-Д-глюкозамин, сахарозу, фруктозу и маннозу, также способны ферментировать рибозу и альтернативные источники углерода, такие как нуклеозиды или N-ацетилнейраминовую кислоту [Zagorec, Champomier-Vergès, 2017]. За счет этих особенностей этот вид бактерий показывает хороший рост в мясе и рыбе и считается характерным для мясных и рыбных продуктов [Nyquist et al., 2011; Zagorec, Champomier-Vergès, 2017].

Результаты наших исследований коррелируют с исследованиями других ученых, показавших снижение значения pH при проведении ферментации рыбы [Bjerke et al., 2019; Speranza et al., 2015]. Снижение pH в рыбе и рассоле обусловлено образованием *L. sakei* LSK-104 в процессе ферментации молочной кислоты. При дальнейшем культивировании отмечается повышение pH: в рассоле – через 14 суток, в мышечной ткани – через 21 сутки. Повышение pH, аналогичное представленному в данной работе, было отмечено при ферментации традиционного продукта ракфиска [Bjerke et al., 2019].

Как показали наши исследования, наиболее активно *L. sakei* LSK-104 развивается в мышечной ткани омуля, поскольку через семь суток количество жизнеспособных клеток составило  $10^{10}$  КОЕ/г, тогда как в рассоле на порядок ниже –  $10^9$  КОЕ/г, что, вероятно, обусловлено высоким содержанием питательных веществ и благоприятными условиями культивирования. На 14-е сутки количество клеток *L. sakei*

LSK-104 достигло максимального значения ( $10^{11}$  КОЕ/г), а в рассоле снизилось до  $10^8$  КОЕ/г. Отметим, что *L. sakei* LSK-104 адаптировались к высокой концентрации соли 7% и низкой температуре посола, что подтверждается их активным ростом в мышечной ткани. На 21-е сутки количество жизнеспособных клеток *L. sakei* LSK-104 в мышечной ткани и рассоле снизилось до  $10^8$  КОЕ/г, затем это значение стабилизировалось и не изменялось в процессе хранения до 28 суток.

Ранее было установлено, что бактерии вида *L. sakei* являются перспективными для применения в составе стартовых культур для мясоперерабатывающей промышленности в связи с более высокой устойчивостью к поваренной соли по сравнению с другими видами молочнокислых бактерий, например, *L. curvatus* или *L. pentosus*. В то же время установлено, что присутствие поваренной соли в среде снижает синтез бактериоцинов *L. sakei* CTC 494 [Leroy, de Vuyst, 1999].

Результаты роста *L. sakei* LSK-104 коррелируют с данными, полученными при исследовании pH. Максимальное количество клеток *L. sakei* LSK-104 ( $10^{11}$  КОЕ/г) соответствует минимальному значению pH, равному 5,05, что объясняется активным молочнокислым брожением, происходящим в мышечной ткани.

Необходимо отметить, что в контрольных образцах процесс ферментации проходил медленно за счет остаточной микрофлоры, содержащейся в дефростированной рыбе. Как в мышечной ткани омуля, так и в рассоле наблюдали незначительное изменение активной кислотности. Через 21 сутки количество жизнеспособных клеток в мышечной ткани и рассоле составило  $10^7$  КОЕ/г и при хранении сохранялось на этом уровне. Вероятно, это связано с тем, что при замораживании рыбы остается

только психротрофная микрофлора, которая активизируется после дефростации и принимает участие в ферментации.

Таким образом, наши исследования показали, что в процессе длительного посола изменялись физико-химические условия культивирования, связанные с исчерпанием питательных веществ, источника энергии глюкозы, снижением pH, что вызывало частичную гибель клеток *L. sakei* LSK-104 в результате автолиза. Полученные результаты демонстрируют гибкое реагирование *L. sakei* LSK-104 на изменение окружающей среды. В ответ на изменение условий культивирования *L. sakei* LSK-104 включают механизмы адаптации к стрессовым ситуациям и переходят в состояние покоя (анабиоза), что обеспечивает их выживание при длительном хранении в экстремальных условиях. Эти результаты подтверждаются литературными данными о том, что молочнокислые бактерии, как и другие неспорообразующие бактерии, формируют в циклах развития их культур или при неблагоприятных для роста условиях клетки, обладающие всеми признаками покоящихся форм: длительным сохранением жизнеспособности в условиях, способствующих автолизу (хранение при низкой температуре в жидких средах), отсутствием метаболической активности, устойчивостью к стрессовым воздействиям [Симон, 2009; Golod et al., 2009].

Таким образом, при длительном посоле создаются лимиты источников питания *L. sakei* LSK-104, экстремальные условия культивирования (температура 4°C и высокая концентрация соли 7%) приводят к перестройке метаболизма и образованию покоящихся анабиотических форм. Представленные данные также свидетельствуют о высокой активности штамма *L. sakei* LSK-104, поскольку он способен расти при

низких положительных температурах и в присутствии в среде поваренной соли.

Данные, представленные в таблицах 1 и 2, свидетельствуют о том, что при созревании рыбы биохимические процессы идут более активно в опытных образцах в сравнении с контролем. С увеличением продолжительности выдержки количество жизнеспособных клеток бактерий повышается. Через 21 день этот показатель достигает  $10^{10}$  КОЕ/см<sup>3</sup> в рыбе и  $10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup> – в рассоле. Интересным является тот факт, что количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий в рыбе на порядок выше, чем в рассоле. Вероятно, это обусловлено тем, что в рыбе создаются более благоприятные условия для роста *L. sakei* в связи с более высоким содержанием питательных веществ.

На следующем этапе исследований проводилась органолептическая оценка, результаты которой приведены в таблице 3. В качестве сравнения в таблице также приведены требования ГОСТ 16079-2017 «Рыбы сиговые соленые. Технические условия». Нами было установлено, что по внешнему виду контрольный и опытный образцы омуля выглядели практически одинаково. Консистенцию контрольного образца можно охарактеризовать как нежную и сочную, образца с добавлением молочнокислых бактерий – как мягкую, нежную и сочную. Цвет рыбы в контрольной и опытной партиях был однородным, цвет мышечной ткани на разрезе контрольной партии рыбы был сероватый, тогда как цвет на разрезе рыбы опытной партии имел приятный розоватый оттенок.

Запах и вкус рыбы опытной и контрольной партий был интенсивным. Для рыбы контрольной партии были характерны интенсивный, с выраженным гнилостными нотками запах и слабосоленый вкус с посторонним привкусом, тогда как для

опытной партии – выраженный кисловатый, сырный аромат и слабосоленый, своеобразный, кисловатый вкус. Вероятно, кисловатый вкус рыбы опытной партии обусловлен формированием в процессе ферментации органических кислот. Интенсивные, выраженные вкус и аромат характерны для большинства ферментированных рыбных продуктов [Skåra et al., 2015]. Следует отметить, что органические кислоты, в том числе пропионовая, масляная и уксусная, вместе с другими веществами считаются способствующими формированию характерного аромата ферментированных продуктов, например, шведского продукта сюрстремминга (surströmming) [Skåra et al., 2015].

Экспертами было отмечено, что по органолептическим характеристикам контрольные образцы не соответствовали традиционному продукту Байкальского региона «омуль с душком». Вероятно, это обусловлено тем, что при проведении эксперимента использовалась размороженная

рыба, что повлияло на состав микрофлоры продукта. Опытный образец не полным образом соответствовал традиционному продукту, но при этом были отмечены нежная консистенция, приятный розоватый цвет, характерные для традиционного продукта, а также своеобразный кисловатый вкус, который обусловлен происходящим в процессе ферментации молочнокислым брожением. Ароматообразующая способность является важным свойством бактерий, применяемых в составе стартовых культур для пищевой промышленности. Так, авторы Gutsche et al. [2012] исследовали формирование летучих соединений, синтезируемых двумя штаммами *L. sakei*, и установили, что в присутствии  $\alpha$ -кетоизокапроновой,  $\alpha$ -кето-3-метилпентановой и  $\alpha$ -кетоизовалериановой кислот оба штамма синтезировали валериановую, изовалериановую, изомасляную кислоты, которые являются важными компонентами аромата некоторых пищевых продуктов, в том числе ферментированных колбас.

Таблица 3. Органолептическая оценка рыбных продуктов с применением молочнокислых бактерий

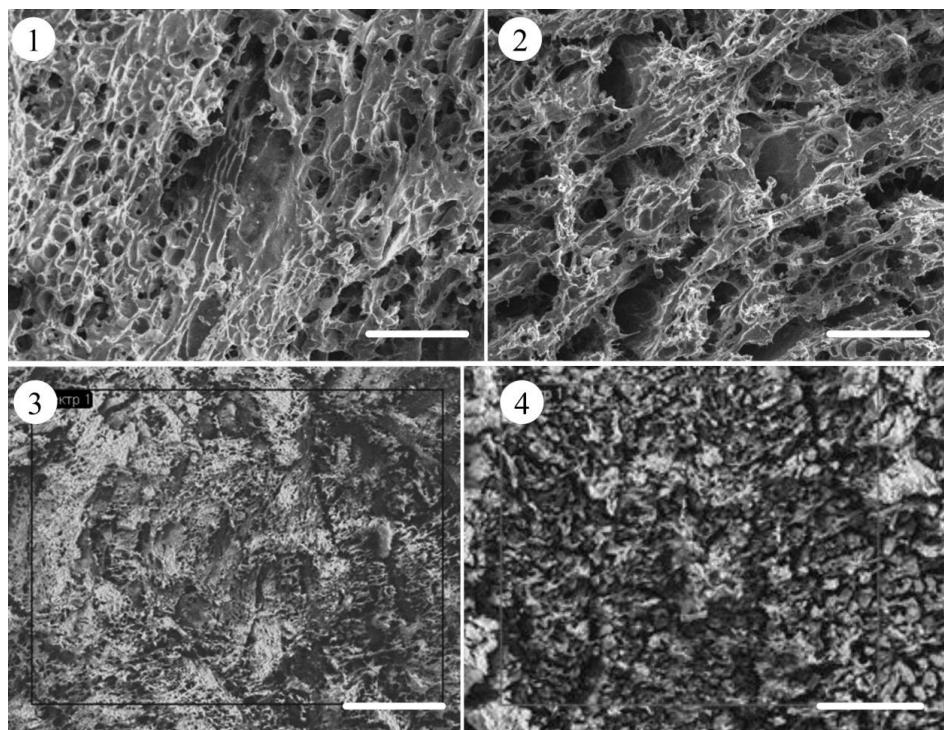
Table 3. Organoleptic evaluation of fish products manufactured with the use of lactic acid bacteria

Органолептические показатели рыбных продуктов	Регламентируемые органолептические показатели в соответствии с ГОСТ 16079-2017	Описание органолептических свойств рыбных продуктов		
		Контрольный образец	Образец с применением молочнокислых бактерий	
Внешний вид	Поверхность чистая; окраска, свойственная данному виду рыбы. Чешуйчатый покров целый	Поверхность чистая; окраска, свойственная данному виду рыбы. Наблюдается незначительная сбитость чешуи		
Наружные повреждения	Для рыбы первого сорта: рыба без наружных повреждений	Рыба без наружных повреждений		
Консистенция	Мягковатая, нежная, сочная	Нежная, сочная	Мягкая, нежная, сочная	
Цвет	Не регламентируется	Цвет мышечной ткани рыбы сероватый	Цвет мышечной ткани рыбы розоватый	
Вкус	Свойственные рыбе данного вида без постороннего привкуса и запаха	Слабосоленый, имеется посторонний привкус	Слабосоленый, своеобразный, кисловатый	
Запах		Интенсивный, с выраженным гнилостными нотками	Выраженный кисловатый, сырный аромат	

Далее мы исследовали микроструктуру ферментированного рыбного продукта в опытной и контрольной партиях рыбных продуктов после 28 суток ферментации (рис., 1–2). Наши исследования показали, что для опытной партии продукта характерны большая разволокненность мышечной ткани, наличие больших промежутков между волокнами, что может быть обусловлено более низким значением pH, а также влиянием протеолитической активности ферментов молочнокислых бактерий. Можно предположить, что ферментированный рыбный продукт, изготовленный с применением бактериального препарата молочнокислых бактерий, имеет более разреженную структуру мышечных волокон, поскольку обработка им рыбы приводит к изменению структуры, размягчению волокон, что подтверждается данными проведенных органо-

лептических исследований. Для окончательного заключения необходимо проведение полноценного гистологического анализа, отражающего изменения, происходящие в рыбе в процессе ферментации.

Следующий этап работ был посвящен изучению элементного состава объектов исследования (рис., 3–4, табл. 4). Данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют о том, что в контрольном образце содержалось больше натрия и хлора, несмотря на то, что при посоле и ферментации рыбы применялся рассол с одинаковой концентрацией поваренной соли. Возможно, это обусловлено более высоким значением pH в контрольном образце по сравнению с опытным, что способствует увеличению влагосвязывающей способности и, следовательно, большему удержанию рассола мышечной тканью рыбы.



Микрофотографии структуры ферментированного рыбного продукта (1–2) и участки с набором спектров для изучения элементного состава: 1, 3 – контрольный образец; 2, 4 – рыбный продукт, ферментированный *L. sakei* LSK-104. Масштаб: 1, 2 – 100  $\mu$ m; 3, 4 – 500  $\mu$ m

Micrographs of the structure of a fermented fish product (1–2) and areas with a set of spectra for studying composition of elements: 1, 3 – control sample; 2, 4 – fish product fermented with *L. sakei* LSK-104. Scale: 1, 2 – 100  $\mu$ m; 3, 4 – 500  $\mu$ m

Таблица 4. Элементный состав рыбных продуктов после ферментации

Table 4. Elemental composition of fish products after fermentation process

Исследуемые образцы	Элементный состав, в весовых %								
	C*	O*	Na*	P	S	Cl*	K	Ca*	Итого
Контроль	30,70	33,46	10,05	0,82	0,96	22,47	1,17	0,37	100,00
С добавлением <i>Lactobacillus sakei</i>	38,31	36,10	6,13	0,86	1,14	15,71	1,18	0,57	100,00

Также следует отметить более высокое содержание углерода и кислорода в опытном образце, что также может быть обусловлено более низким значением pH в опытном образце и связанным с ним более низким содержанием влаги. Более высокое содержание кальция в образце с использованием *L. sakei* LSK-104 может быть обусловлено способностью пробиотических культур аккумулировать на своей поверхности значительное количество ионов кальция в различных формах [Щекотова и др., 2019].

Таким образом, в результате проведенных нами исследований было проведено изучение процесса ферментации байкальского омуля. Результаты показали возможность применения стартовых культур молочнокислых бактерий при изготовлении ферментированных рыбных продуктов. Предложенный способ ферментации позволяет получить продукт с высоким содержанием пробиотических микроорганизмов, характерным вкусом и ароматом, нежной консистенцией.

## ЛИТЕРАТУРА

## REFERENCES

Безопасность и качество рыбо- и морепродуктов. Г. Аллан Бремнер (ред.). 2009. Санкт-Петербург: Профессия, 512 с.  
*Safety and Quality Issues in Fish Processing. G. Allan Bremner (ed.). 2009. Saint Petersburg: Professiya. 512 p. (in Russian).*

Красникова Л.В., Гунькова П.И., Маркелова В.В. 2013. Микробиология молока и молочных продуктов: Лабораторный практикум: Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ. 130 с.

*Krasnikova L.V., Gunkova P.I., Markelova V.V. 2013. Microbiology of milk and dairy products: Laboratory workshop: Textbook. Saint Petersburg: ITMO. 130 p. (in Russian).*

Никифорова А.П., Никифорова О.П., Антохонова И.В. 2017. Оценка тенденций потребления рыбных продуктов жителями Республики Бурятия. Экономика региона. Т. 13. № 3. С. 948–958.

*Nikiforova A.P., Nikiforova O.P., Antokhonova I.V. 2017. Assessment of trends in fish products consumption by the citizens of the Republic of Buryatia. Economy of Region. Vol. 13. № 3. P. 948–958. (in Russian).*

Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов (НБЦ ВКПМ). ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (<https://vkpm.genetika.ru/>).

*State Research Institute of Genetics and Selection of Industrial Microorganisms (“Genetika”) Federal Institution “State Research Institute of Genetics and Selection of Industrial Microorganisms of the National Research Center” Kurchatov Institute*

- tov Institute (<https://vkpm.genetika.ru/>) (in Russian).*
- Симон Н.А. 2009. Биотехнологические аспекты внутрипопуляционной вариабельности молочнокислых бактерий: *Диссертация ... канд. биол. наук. Москва.* 151 с.
- Simon N.A. 2009. Biotechnological aspects of intrapopulation variability of lactic acid bacteria: Candidacy dissertation for technical sciences. Moscow. 151 p. (in Russian).*
- Хамагаева И.С. 2005. Научные основы биотехнологии кисломолочных продуктов для детского и диетического питания: Монография. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ. 279 с.
- Khamagaeva I.S. 2005. Scientific bases of biotechnology of fermented milk products for child and dietary nutrition: Monograph. Ulan-Ude: ESSTU Publishing House. 279 p. (in Russian).*
- Щекотова А.В., Хамагаева И.С., Цыренов В.Ж., Дарбакова Н.В., Хазагаева С.Н. 2019. Исследование процессов биотехнологической обработки коллагенсодержащего сырья для создания функциональных продуктов питания. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* Т. 9. № 2 (29). С. 250–259.
- Shchekotova A.V., Khamagaeva I.S., Tsyrenov V.Zh., Darbakova N.V., Khazagaeva S.N. 2019. Biotechnological processing procedures of collagen-containing raw materials for creation of functional foods. Proceedings of universities. Applied Chemistry and Biotechnology. Vol. 9. № 2 (29). P. 250–259 (in Russian).*
- Бјерке Г.А., Руди К., Авершина Е., Муен Б., Блом Х., Акселссон Л. 2019. Exploring the brine microbiota of a traditional Norwegian fermented fish product (Rakfisk) from six different producers during two consecutive seasonal productions. *Foods.* Vol. 8 (2). № 72.
- Глызина О.Я., Дзыба Е.В., Смирнова-Залуми Н.С. 2010. Spectrum of fatty acids for different morpho-ecological groups of Baikal omul *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi, 1775). *Chemistry for Sustainable Development.* Vol. 18. P. 133–138.
- Голод Н.А., Лоико Н.Г., Мулюкин А.Л., Гал'ченко В.Ф., Ель-Регистан Г.И., Неиматов А.Л., Воробьева Л.И., Сузина Н.Е., Шаненко Е.Ф. 2009. Adaptation of lactic acid bacteria to unfavorable growth conditions. *Microbiology (Mikrobiologiya).* Т. 78. № 3. P. 280–289.
- Гутчке К., Тран Т., Вогель Р. 2012. Production of volatile compounds by *Lactobacillus sakei* from branched chain alpha-keto acids. *Food microbiology.* Vol. 29. P. 224–228.
- Джунг Ж.Й., Ли С.Х., Чон С.О. 2014. Kimchi microflora: history, current status, and perspectives for industrial kimchi production. *Applied Microbiology and Biotechnology.* Vol. 98 (6). P. 2385–2393.
- Катагири Х., Китахара К., Фукаи К. 1934. The characteristics of the lactic acid bacteria isolated from moto, yeast mashes for sake manufacture. Part IV. Classification of the lactic acid bacteria. *Bulletin of the Agricultural Chemical Society of Japan.* Vol. 10. P.156–157.
- Куу О., Ли С., Чунг К., Янг Х., Квон Д. 2016. Korean traditional fermented fish products: Jeotgal. *Journal of Ethnic Foods.* Vol. 3 (2). P. 107–116.
- Лероу Ф., де Вюст Л. 1999. The presence of salt and a curing agent reduces bacteriocin production by *Lactobacillus sakei* CTC 494, a potential starter culture for sausage fermentation. *Applied and Environmental Microbiology.* Vol. 65 (12). P. 5350–5356.

- Lhomme E., Mezaize S., Bonnand Ducasse M., Chiron H., Champomier-Vergès M.C., Chaillou S., Zagorec M., Dousset X., Onno B. 2014. A polyphasic approach to study the dynamics of microbial population of an organic wheat sourdough during its conversion to gluten-free sourdough. *International Microbiology*. Vol. 17. P. 1–9.
- Moroni A.V., Arendt E.K., Dal Bello F. 2011. Biodiversity of lactic acid bacteria and yeasts in spontaneously-fermented buckwheat and teff sourdoughs. *Food Microbiology*. Vol. 28. P. 497–502.
- Nikiforova A., Nikiforova O. 2015. Traditional fermented fish products in Northern regions: review. Arctic dialogue in the global world. *Proceedings of the Joint Science and Education Conference*. Ulan-Ude: Buryat State University Publishing Department. P. 330–331.
- Nikiforova A., Zamaratskaia G., Pickova J. 2020. Fatty acid composition of salted and fermented products from Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*). *Journal of Food Science and Technology*. Vol. 57 (2). P. 595–605.
- Nyquist O.L., McLeod A., Brede D.A. 2011. Comparative genomics of *Lactobacillus sakei* with emphasis on strains from meat. *Molecular Genetics and Genomics*. Vol. 285. P. 285–297.
- Skåra T., Axelsson L., Stefansson G., Ekstrand B., Hagen H. 2015. Fermented and ripened fish products in the northern European countries. *Journal of Ethnic Foods*. Vol. 2 (1). P. 18–24.
- Speranza B., Racioppo A., Bevilacqua A., Beneduce L., Sinigaglia M., Corbo M.R. 2015. Selection of autochthonous strains as starter cultures for fermented fish products. *Journal of Food Science*. Vol. 80 (1). P. 151–160.
- Vogel R.F., Lohmann M., Nguyen M., Weller A.N., Hammes W.P. 1993. Molecular characterization of *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sakei* isolated from sauerkraut and their application in sausage fermentations. *Journal of Applied Bacteriology*. Vol. 74. P. 295–300.
- Zagorec M., Champomier-Vergès M.C. 2017. *Lactobacillus sakei*: a starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products. *Microorganisms*. Vol. 5 (3). P. 56.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Никифорова Анна Платоновна** – Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления; 670013, Россия, Улан-Удэ; кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и управление качеством»; anna.p.nikiforova@gmail.com. SPIN-код: 1595-7018, Author ID: 622812; Scopus ID: 57194715586.

**Nikiforova Anna Platonovna** – East Siberia State University of Technology and Management; 670013, Russia, Ulan-Ude; Candidate of Technical Sciences, Senior scientific researcher, Associate Professor of Department “Standardization, metrology and quality management”; anna.p.nikiforova@gmail.com. SPIN-код: 1595-7018, AuthorID: 622812; Scopus ID: 57194715586.

**Хазагаева Софья Николаевна** – Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления; 670013, Россия, Улан-Удэ; кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров»; xasagaevasonya82@mail.ru. SPIN-код: 9809-7531, Author ID: 836670.

**Khazagaeva Sofia Nikolaevna** – East Siberia State University of Technology and Management; 670013, Russia, Ulan-Ude; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Chair “Dairy technology. Merchandising and examination of goods”; xasagaevasonya82@mail.ru. SPIN-код: 9809-7531, Author ID: 836670.

**Хамагаева Ирина Сергеевна** – Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления; 670013, Россия, Улан-Удэ; доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров»; [ikhamagaeva@mail.ru](mailto:ikhamagaeva@mail.ru). SPIN-код: 9964-4020; Author ID: 545158.

**Khamagaeva Irina Sergeevna** – East Siberia State University of Technology and Management; 670013, Russia, Ulan-Ude; Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair “Dairy technology. Merchandising and examination of goods”; [ikhamagaeva@mail.ru](mailto:ikhamagaeva@mail.ru). SPIN-код: 9964-4020; Author ID: 545158.