ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2540
https://elibrary.ru/GESSLE

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Сверхкритические экстракты бурых водорослей в технологии рыбных пресервов

О. В. Табакаева*, А. В. Табакаев, Ю. В. Приходько, Т. В. Владыкина, С. В. Капуста

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Поступила в редакцию: 01.08.2024
Принята после рецензирования: 28.08.2024
Принята к публикации: 03.09.2024

**О. В. Табакаева: yankovskaya68@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7068-911X*
А. В. Табакаев: https://orcid.org/0000-0001-5658-5069
Ю. В. Приходько: https://orcid.org/0000-0002-6585-0546
Т. В. Владыкина: https://orcid.org/0000-0002-1449-721X
С. В. Капуста: https://orcid.org/0009-0005-8740-1249

© О. В. Табакаева, А. В. Табакаев, Ю. В. Приходько, Т. В. Владыкина, С. В. Капуста, 2024

Аннотация.
Изучение и выбор натуральных консервантов, применяемых в производстве рыбных пресервов для обеспечения их качества и безопасности, представляют собой важное направление исследований. Экстракты водорослей, в том числе и сверхкритические, проявляют антиоксидантные и антибактериальные свойства и могут использоваться в качестве антиокислителей и консервантов в пищевых системах. Цель данной работы – исследование влияния сверхкритических экстрактов бурых водорослей *Undaria pinnatifida* и *Ascophyllum nodosum* на качество и безопасность рыбных пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках.
Объектами исследования являлись опытные и контрольные образцы пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках. В опытных образцах в заливки вносили сверхкритические экстракты бурых водорослей в количестве 3 %. Исследуемые образцы хранили при температуре от 0 до 5 °С в течение 6 мес. Показатели безопасности устанавливали стандартными методами в аккредитованном испытательном центре «Океан» Дальневосточного федерального университета. Значение кислотного числа осуществляли нейтрализацией свободных жирных кислот, содержащихся в навеске, спиртовым раствором гидрооксида натрия, перекисного числа – титриметрическим методом. Органолептические показатели (внешний вид, состояние заливки, консистенция, цвет, запах, вкус) определяли по пятибалльной шкале.
В результате исследований выявили, что сверхкритические экстракты бурых водорослей оказывали влияние на развитие микроорганизмов в пресервах в масляной и майонезной заливках при их хранении. КМАФАнМ в опытных образцах с добавлением сверхкритических экстрактов бурых водорослей приблизилось к контрольному значению в течение 6 мес. хранения, что обеспечивает возможность продления срока хранения на 2 мес. по сравнению с контрольными образцами. Значения перекисного и кислотного чисел опытных образцов были ниже контрольных. Пресервы из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках с сверхкритическими экстрактами морских бурых водорослей характеризовались более высокими органолептическими показателями в сравнении с контролем.
Сверхкритические экстракты морских бурых водорослей *U. pinnatifida* и *A. nodosum* оказывают влияние на качество и безопасность пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках. Введение таких экстрактов снижает скорость накопления КМАФАнМ, а также микроскопических грибов, замедляет процессы окисления и гидролиза липидного компонента пресервов.

Ключевые слова. Бурые водоросли, *Undaria pinnatifida*, *Ascophyllum nodosum*, сельдь тихоокеанская, сверхкритические экстракты, пресервы

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (Соглашение № 23-26-00197)

Для цитирования: Сверхкритические экстракты бурых водорослей в технологии рыбных пресервов / О. В. Табакаева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 4. С. 731–744. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2540

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2540
https://elibrary.ru/GESSLE

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of Supercritical Extracts of Brown Algae on Fish Preserves

Oksana V. Tabakaeva*, Anton V. Tabakaev, Yury V. Prikhodko, Tatyana V. Vladykina, Svetlana V. Kapusta

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Received: 01.08.2024
Revised: 28.08.2024
Accepted: 03.09.2024

**Oksana V. Tabakaeva: yankovskaya68@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7068-911X*
Anton V. Tabakaev: https://orcid.org/0000-0001-5658-5069
Yury V. Prikhodko: https://orcid.org/0000-0002-6585-0546
Tatyana V. Vladykina: https://orcid.org/0000-0002-1449-721X
Svetlana V. Kapusta: https://orcid.org/0009-0005-8740-1249

© O.V. Tabakaeva, A.V. Tabakaev, Y.V. Prikhodko, T.V. Vladykina, S.V. Kapusta, 2024

Abstract.
Natural preservatives make it possible to maintain the quality and safety of fish products, which makes this matter a relevant and promising research area. This article describes the effect of supercritical extracts of marine brown algae *Undaria pinnatifida* and *Ascophyllum nodosum* on the quality and safety of fish preserves from Pacific herring in oil and mayonnaise.
The experimental samples contained 3% of supercritical extracts of brown algae in the fillings. The samples were stored at 0–5°C for six months. The authors used standard research methods to study the microbiological, sensory, and physicochemical variables. The safety indicators were established by standard methods in the accredited test center of the Far Eastern Federal University. The acid number was determined by neutralizing free fatty acids with an alcohol solution of sodium hydroxide while the peroxide number was determined by the titrimetric method. The sensory profile included appearance, consistency, color, smell, taste, and the general state of the filling, which were assessed on a five-point scale.
The supercritical extracts of brown algae affected the development of microorganisms in both kinds of preserves during storage. The QMAFAnM in the test samples approached that in the control during 6 months of storage, which indicated an opportunity to extend the shelf life of the experimental samples by two months. The experimental samples had lower peroxide and acid numbers, as well as better sensory indicators.
In this research, supercritical extracts of *U. pinnatifida* and *A. nodosum* improved the quality and safety status of oil and mayonnaise herring preserves. The extracts reduced the accumulation of QMAFAnM and microscopic fungi while slowing down lipid oxidation and hydrolysis.

Keywords. Brown algae, *Undaria pinnatifida*, *Ascophyllum nodosum*, Pacific herring, supercritical extracts, preserves

Funding. The research was supported by the Russian Science Foundation (Agreement No. 23-26-00197)

For citation: Tabakaeva OV, Tabakaev AV, Prikhodko YV, Vladykina TV, Kapusta SV. Effect of Supercritical Extracts of Brown Algae on Fish Preserves. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(4):731–744. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2540

Введение

Рыба и продукты ее переработки являются одним из важных источников ценных нутриентов в питании современного человека. Рыба – питательный продукт, потребление которого способствует росту и защите организма от различных заболеваний, таких как сердечно-сосудистые и ишемическая болезнь сердца, предотвращает рахит и психические заболевания у детей [1]. Рыба и рыбные продукты характеризуются высоким содержанием полноценных, сбалансированных и легко усвояемых белков, а также наличием липидов с эссенциальными уникальными жирными кислотами, относящимися к семействам омега 6 и омега 3. Кроме того, рыба и рыбные продукты содержат достаточное количество разнообразных биологически активных соединений, таких как каротиноиды, жиро- и водорастворимые витамины, свободные аминокислоты, минеральные вещества [2]. Липиды рыб богаты полиненасыщенными жирными кислотами, особенно эйкозапентаеновой и докозагексаеновой, которые помогают предотвращать сердечно-сосудистые заболевания и ишемическую болезнь сердца, а также поддерживать психическое здоровье детей [3, 4]. Рыба содержит идеальный баланс всех необходимых витаминов, особенно витаминов A и D, является важным источником витамина B. Витамин B в основном пре-

дотвращает заболевания, связанные с дефицитом кальция, и рахит у детей. Минералы – это микроэлементы, которые варьируются от вида к виду, включая кальций, железо, цинк, селен, йод, фосфор и калий. Эти микроэлементы обладают высокой биодоступностью и антиоксидантными свойствами, которые полезны при лечении различных заболеваний [5].

Прогнозируется, что к 2025 г. производство рыбы во всем мире достигнет 196 млн т [6]. Спрос на рыбу значительно возрастает с увеличением численности населения планеты из-за ее приятных вкусовых качеств, эффективной переработки в корма и высокой коммерческой ценности [7]. Однако высокое количество водыв тканях рыбы, нейтральный pH, значительное содержание низкомолекулярных белковых молекул и наличие микробиоты, адаптированной к низким температурам, в совокупности создают благоприятные условия для биохимической и микробиологической порчи рыбы и рыбных продуктов с достаточно высокой скоростью. В настоящее время, 20 % рыбы теряет качество после вылова [8]. Определены три различных механизма порчи рыбы: аутолитическая (главным образом протеолиз, но также и липолиз), окислительная (окисление ненасыщенных жирных кислот) и микробиологическая (главным образом размножение психротолерантных видов с образованием биогенных аминов) [9–11].

С целью сохранения качества рыбы и продуктов ее переработки применяются традиционные методы консервирования (соление, сушка и замораживание), приводящие к резкому снижению активности воды [12]. Переработка рыбы с получением рыбных пресервов позволяет получить традиционные продукты питания с высокой пищевой и биологической ценностью, т. к. технологии производства пресервов позволяют сохранять нативные макро- и микронутриенты гораздо лучше, чем в традиционных консервах. Однако отсутствие жесткой термической обработки является фактором, создающим благоприятные условия для развития процессов порчи, что приводит к необходимости использования консервантов. Пресервы, характеризующиеся низкой величиной активности воды, обладают более высокой стойкостью в хранении [11]. Исходя из этого, заливки, используемые в технологии рыбных пресервов, должны иметь низкую влажность, это относится к масляным и майонезным заливкам. Сельдь тихоокеанская является качественным сырьем, из которого изготавливается много пресервов. Рыбной промышленностью Российской Федерации выпускаются пресервы из неразделанной сельди специального, пряного посола и из разделанной на филе в мелкой расфасовке в разнообразных соусах и заливках, что позволяет производить пресервы из сельди в широком ассортименте с различными вкусовыми свойствами. Для изготовления пресервов «Сельдь специального посола» в качестве основного сырья используют сельдь-сырец или мороженую [13].

В процессе получения пресервной продукции из сельди тихоокеанской при созревании и хранении происходит значительное количество биохимических реакций, приводящих к изменениям азотсодержащих соединений, в первую очередь белков, активно происходит гидролиз и окисление липидов. Окисление липидов сельди приводит не только к появлению неприятного прогорклого вкуса и запаха, но и порче продукции, происходит накопление токсичных веществ – первичных и вторичных продуктов окисления [8]. Так как сельдь тихоокеанская является сырьем с высоким содержанием жира – содержание липидов может достигать 30 %, необходимо применять приемы, способствующие снижению окисления и повышению качества мало- и слабосоленой продукции из сельди [14]. Для уменьшения взаимодействия липидов рыбы с кислородом воздуха при производстве соленой продукции применяются вакуумирование, инактивация липолитических ферментов, внесение заливок и соусов, различных антиокислительных препаратов – синтезированных и натуральных [15, 16]. К натуральным антиокислителям относятся токоферолы, содержащиеся во многих растительных маслах. Ярко выраженным антиокислительным действием обладают фенолы, ароматические амины, хиноны, аскорбиновая и лимонная кислоты, прополис. Таким образом, натуральные пряности, коптильные препараты, многие растительные компоненты могут выступать в качестве добавок-антиокислителей при производстве соленой продукции. Выделение из природного сырья веществ, обладающих антиокислительными свойствами, является одним из перспективных направлений.

В настоящее время изучается вопрос об использовании натуральных консервантов, поскольку многие потребители считают, что синтетические консерванты потенциально опасны для здоровья [13]. Исходя из этого, исследование, подбор и анализ натуральных консервантов, используемых в технологии рыбных пресервов для сохранения качества и безопасности данных пищевых систем, является актуальным направлением исследований.

Перспективным видом сырья, используемым в качестве источников веществ с антиоксидантной и антибактериальной активностью, которые могут влиять на качество пищевой продукции в процессе хранения, являются широко распространенные морские растения – водоросли. Существует значительное количество исследований, доказывающих высокий антиоксидантный потенциал водорослей [17–20]. Кроме исследования антиоксидантных свойств большое внимание уделяется исследованию антибактериальных свойств биологически активных соединений водорослей и использованию водорослей в качестве антибактериальных агентов [21–23]. Биологически активные соединения водорослей показали себя в качестве эффективных консервантов в мясных продуктах, напитках, рыбных продуктах [24–27].

Основными БАВ водорослей, проявляющими антибактериальные свойства, являются:

– полисахариды (альгинаты, фукоиданы и ламинаран), сульфатированные полисахариды *Laminaria japonica*, *Ascophyllum nodosum* и *Undaria pinnafitida* продемонстрировали ингибирующий эффект на рост патогенных бактерий [28];
– липиды, жирные кислоты, в частности различные классы сульфолипидов, выделенные из двух видов *Ulva fasciata*, *Laurencia papillosa*, *Gingicithara cylindriea*, *Dilophus fasciola* и *Taonia Atomaria* [29–32];
– полифенолы, в частности флоротанины [33];
– каротиноиды, в частности фукоксантин [34].

Биологически активные соединения водорослей используются в виде экстрактов, получаемых различными способами с использованием классической экстракции органическими растворителями, микроволновой, ультразвуковой, сверхкритической и др. Сверхкритическая жидкостная экстракция – это экологичная аналитическая методика, используемая для извлечения ценных биологически активных соединений из сложных матриц [35]. По сравнению с другими традиционными методами экстракции, сверхкритическая экстракция обладает рядом преимуществ, а именно: использованием минимального количества растворителей, высокой селективностью экстракции, коротким временем обработки и низкой способностью экстракта к разложению, что свидетельствует о широком применении для получения различных биологически активных соединений [36]. Термодинамические свойства диоксида углерода, низкая токсичность, невысокая стоимость, низкая взрывоопасность, легкая доступность и экологичность делают его предпочтительным растворителем для процессов экстракции [37, 38].

Сверхкритическая экстракция находит применение для извлечения ценных биологически активных молекул из водорослей, в частности арктических бурых водорослей вида *Fucus vesiculosus*. Экстракты арктических бурых водорослей вида *F. vesiculosus* содержат преимущественно жирные кислоты полифенолы, каротиноиды и хлорофиллы, обладают выраженной бактериальной, фунгицидной и иммуностимулирующей активностью [39, 40].

Экстракты водорослей, в том числе и сверхкритические, проявляют антиоксидантные и антибактериальные свойства и могут использоваться в качестве антиокислителей и консервантов в пищевых системах.

Целью данной работы являлось исследование влияния сверхкритических экстрактов из бурых водорослей *U. pinnatifida* и *A. nodosum* на качество и безопасность рыбных пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках.

Объекты и методы исследования

В качестве растительной матрицы для получения сверхкритических экстрактов использовались сухие бурые водоросли *Undaria pinnatifida* и *Ascophyllum nodosum*. Обе водоросли произрастают в морях РФ, *A. nodosum* является промысловой водорослью в морях Северного Ледовитого океана, *U. pinnatifida* – условно промысловая водоросль Японского моря.

Бурая водоросль *A. nodosum* относится к семейству Fucaceae, является многолетним растением, прикрепляется подошвой, характеризуется слоевищем, достигающим 1–1,5 м в длину, на котором располагаются длинные, редко дихотомически ветвящиеся ветви, затем идут более короткие ветви [41, 42]. Водоросль характеризуется богатым составом, содержит значительное количество полифенолов, каротиноидов, биологически активных ПНЖК, экстракты проявляют различные виды биологической активности [43–45].

Бурая водоросль *U. Pinnatifida* (Harv.) Sur. является однолетним растением, анатомически состоит из пластины (таллома), стволика и ризоидов. Таллом обычно темно-зеленого или оливкового цвета, длина составляет 40–80 см, ширина – 25–45 см, тонкий, перепончатый, перисто-рассеченный. *U. pinnatifida* является достаточно широко распространенным видом бурых водорослей, в странах Юго-Восточной Азии считается объектом марикультуры. Основные места произрастания – литораль и сублитораль, глубина произрастания варьируется от 0,5 до 6,0 м, на скалистом и каменистом грунтах, у открытых, прибойных участков побережья. Достаточно часто данная водоросль образует небольшие заросли между крупными камнями и валунами. Встречается в сообществах с бурыми водорослями и морскими травами, является объектом культивирования в странах Юго-Восточной Азии. Биомасса до 2 кг/м^2, плотность поселения 1–10 экз./м^2, масса одного слоевища до 0,4 кг [42]. Особенностями фитохимического состава является высокое содержание биологически активных соединений (полифенолов, ксантофиллов, высоконепредельных жирных кислот), обеспечивающих биологическую активность [46–48].

Сверхкритические экстракты получали с использованием системы TharSCF SFE-500 (Waters, Pittsburgh, США). В качестве модификатора использовали этанол, массовая доля 5 %. Скорость потока составляла 10 мл/мин для сверхкритического CO_2 и 1,0 мл/мин для этанола. Для экстракции использовали образцы по 28 г сухой бурой водоросли. Используемое давление – 300 бар, время экстракции – 60 мин, температура процесса – 60 °C.

Полученные экстракты представляли собой прозрачные жидкости светло-зеленого цвета со слабым характерным запахом водорослей. Фитохимический состав сверхкритических экстрактов *U. pinnatifida* и *A. nodosum* характеризовался высоким содержанием гидро- и липофильных соединений – жирных кислот, полифенолов, маннита и пигментов [49–52]. Ранее проведенными исследованиями доказаны высокие антиоксидантные свойства сверхкритического экстракта *U. Pinnatifida* и способность стабилизировать качество растительных масел при хранении [53, 54].

Опытные и контрольные образцы пресервов готовили следующим образом. В качестве сырья для получения пресервов использовали филе сельди тихоокеанской мороженое, которое размораживали, подвергали мойке и стеканию. Для изготовления соленого полуфабриката из филе сельди использовался способ охлажденного мокрого законченного посола при –1 °С. Массовая доля соли в соленом полуфабрикате составила 4,50 ± 0,02 %. После созревания филе подвергали стеканию с целью удаления избыточной влаги в течение 10 мин, затем подвергали подмораживанию до температуры в толще от –5 до –7 °С. Подмороженное филе порционировали, фасовали в тару, вносили масляную и майонезную заливки. Массовая доля филе сельди составляла 75,0 %, заливки – 25 %. Заливкой для контрольных образцов пресервов являлось растительное соевое рафинированное масло (Контроль 1) и майонезная заливка (Контроль 2), полученная по стандартной технологии без сверхкритического экстракта бурых водорослей, в качестве консерванта использовали бензоат натрия в соответствии с технологической инструкцией [55]. В опытных образцах сверхкритические экстракты бурых водорослей вносили в заливки в массовой доле 3 %.

Показатели качества контрольных и опытных образцов пресервов из сельди тихоокеанской в заливках исследовали после приготовления и в процессе хранения при температуре от 0 до 5 °С в течение 6 мес.

Определение органолептических показателей проводили при температуре 20 °С через 12 ч после изготовления продукта (табл. 1). Дегустацию проводили сотрудники Дальневосточного федерального университета в количестве 12 человек. Органолептические показатели определяли в следующей последовательности: внешний вид, состояние заливки, консистенция, цвет, запах, вкус. Для оценки органолептических характеристик пресервов использована пятибалльная шкала согласно рекомендациям Т. М. Сафроновой [56].

Таблица 1. Шкала органолептической оценки пресервов из филе сельди в заливке

Table 1. Sensory evaluation scale for marinaded herring preserves

Показатель	Количество баллов, характеристика показателей				
	5	4	3	2	1
Запах	Свойственный созревшей сельди	Приятный, созревшей сельди	Слегка неприятный запах окисленного жира	Порочащий	Неприятный, резкий, кислый
Цвет	Свойственный созревшей сельди, светло-бежевый	Бежевый	Бежевый с незначительными пожелтениями	Желтоватый	Выраженное пожелтение
Консистенция	Нежная, сочная, не дряблая	Умеренно мягкая	Слегка ослабленная	Слабая	Мазеобразная
Вкус	Приятный, свойственный созревшей сельди	Свойственный созревшей сельди	Кисловатый	Неприятный кислый	Прогорклый, свойственный старой рыбе, кислый
Заливка масло / майонез	Прозрачная, приятного светло-желтого цвета, без посторонних привкуса и запаха, вкус присущий растительному маслу с привкусом соленой сельди / однородной сметанообразной консистенции, желтовато-кремового, однородного по всей массе цвета, вкус нежный, слегка острый, запах свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха и привкуса	Прозрачная, желтого-цвета, без посторонних привкуса и запаха, вкус присущий растительному маслу с привкусом соленой сельди / однородной сметанообразной консистенции, желтовато-кремового, неоднородного по всей массе цвета, вкус кисловатый, слегка острый, запах свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха и привкуса	Прозрачная, темно-желтого цвета, без посторонних привкуса и запаха, вкус присущий растительному маслу с привкусом соленой сельди / однородной сметанообразной консистенции, желтовато-кремового, неоднородного по всей массе цвета, вкус кислый, слегка острый, запах свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха и привкуса	Непрозрачная, темно-желтого цвета, кислый вкус / неоднородной сметанообразной консистенции, присутствует расслоение, желтовато-кремового, неоднородного по всей массе цвета, вкус неприятно кислый, слегка острый, запах несвойственный данному виду продукта	Непрозрачная, темно-желтого цвета, прогорклый вкус / неоднородной консистенции, расслоение на воду и сгустки, желтого, неоднородного по всей массе цвета, вкус, запах неприятный, несвойственный данному виду продукта

Определение кислотного числа осуществляли нейтрализацией свободных жирных кислот, содержащихся в навеске, спиртовым раствором гидрооксида натрия – ГОСТ 31933-2012, перекисного числа по ГОСТ Р 51487-99. Показатели безопасности определяли стандартными методами в аккредитованном испытательном центре «Океан» Дальневосточного федерального университета. Определение КМАФАнМ осуществляли согласно ГОСТ 10444.15-94, *Staphylococcus aureus* – ГОСТ 10444.2-94, сульфитрудуцирующих клостридий – ГОСТ 10444.9-88, патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл и *Listeria monocytogenes* – ГОСТ 31659-2012, *Vibrio parahaemolyticus* – ГОСТ ISO/TS 21872–2013. Количество дрожжеподобных и плесневых грибов в пресервах определяли по ГОСТ 10444.12-88. Буферность определяли титриметрическим методом по ГОСТ 19182–89.

Статистический анализ. Данные были получены в виде среднего и стандартного отклонения (СО) и проанализированы с помощью односторонней ANOVA в SPSS версии 11.5 для Windows. Разница в средних значениях считалась достоверной при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Исследование контрольных и опытных образцов пресервов из сельди тихоокеанской в заливках в течение 6 мес. хранения показало закономерное увеличение КМАФАнМ. Динамика изменения численности микроорганизмов в хранении представлена на рисунке 1.

Представленные данные демонстрируют, что в контрольном образце, как с использованием масляной, так и майонезной заливки, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов практически достигает контрольного значения и определяет срок годности 4 мес. Нарастание численности микроорганизмов в контрольных образцах идет существенно быстрее, чем в опытных с использованием сверхкритических экстрактов бурых водорослей, что позволяет утверждать об их антибактериальных свойствах. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в опытных образцах приближается к контрольному значению в течение 6 мес. хранения, что обеспечивает возможность продлить срок хранения на 2 мес. по сравнению с контрольными образцами. Необходимо отметить, что сверхкритический экстракт *Undaria pinnatifida* снижает интенсивность развития микроорганизмов немного ниже, чем сверхкритический экстракт *Ascophyllum nodosum*, что вероятно определяется составом и содержанием биологически активных веществ с антибактериальной направленностью.

Кроме изменения численности микроорганизмов исследовали другие микробиологические показатели безопасности контрольных и опытных образцов пресервов из сельди тихоокеанской в процессе хранения в течение 6 мес., результаты представлены в таблице 2.

Первоначально, после изготовления во всех образцах пресервов, как контрольных, так и опытных, санитарно-показательные, условно-патогенные и патогенные формы микроорганизмов не обнаружены, отсутствовали микроскопические грибы и дрожжи. После 4 мес. хранения в контрольных образцах, как в масляной, так и майонезной заливке, в 0,01 г были обнаружены бактерии группы кишечной палочки и в 1,0 г – непатогенные штаммы бактерий рода *Staphylococcus*. Во всех опытных образцах пресервов с сверхкритическими

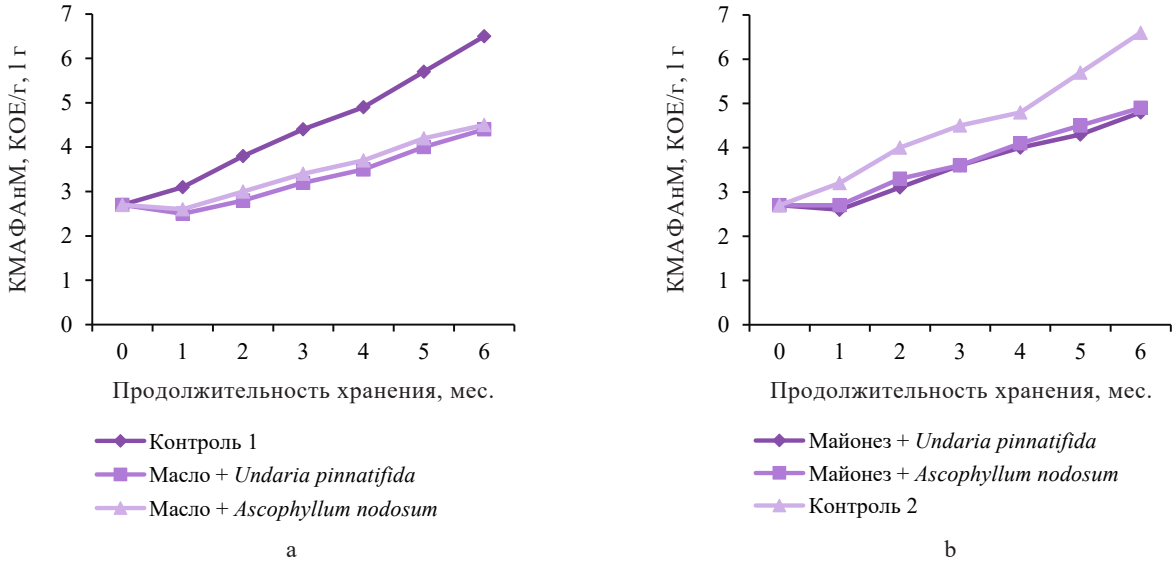

Рисунок 1. Изменение численности микроорганизмов при хранении пресервов: a – в масляной заливке, b – в майонезной заливке

Figure 1. Microbial count in Pacific herring preserves during storage: a – oil, b – mayonnaise

Таблица 2. Микробиологические показатели безопасности пресервов из сельди тихоокеанской в заливках

Table 2. Microbiological safety indicators of Pacific herring marinaded in oil and mayonnaise

Наименование показателя	ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», Приложение 1	Масляная заливка			Майонезная заливка		
		Контроль 1	с *Undaria pinnatifida*	с *Ascophyllum nodosum*	Контроль 2	с *Undaria pinnatifida*	с *Ascophyllum nodosum*
Получение							
Бактерии группы кишечной палочки (коли-формы), в 0,1 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Staphylococcus aureus, в 1 г	не допускается						
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы в 25 см^3	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Сульфитредуцирующие клостридии, в 1 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Listeria monocytogenes, в 25 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Vibrio parahaemolyticus, в 0,01 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Плесени, КОЕ/г	не более 10	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Дрожжи, КОЕ/г	не более 100	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
1 мес. хранения							
Бактерии группы кишечной палочки (коли-формы), в 0,1 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Staphylococcus aureus, в 1 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы в 25 см^3	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Сульфитредуцирующие клостридии, в 1 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Listeria monocytogenes, в 25 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Vibrio parahaemolyticus, 0,01 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Плесени, КОЕ/г	не более 10	3,0 ± 0,1	н/о	н/о	5,0 ± 0,2	н/о	н/о
Дрожжи, КОЕ/г	не более 100	15,0 ± 0,7	н/о	н/о	20,0 ± 0,8	н/о	н/о
4 мес. хранения							
Бактерии группы кишечной палочки (коли-формы), в 0,1 г	не допускается	о	н/о	н/о	о	н/о	н/о
Staphylococcus aureus, 1 г	не допускается	о	н/о	н/о	о	н/о	н/о
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы в 25 см^3	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Сульфитредуцирующие клостридии, в 1 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Listeria monocytogenes, в 25 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Vibrio parahaemolyticus, 0,01 г	не допускается	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Плесени, КОЕ/г	не более 10	10	2	3	12	4	5
Дрожжи, КОЕ/г	не более 100	95	20	22	99	25	30
6 мес. хранения							
Бактерии группы кишечной палочки (коли-формы), в 0,1 г	не допускается	о	н/о	н/о	о	н/о	н/о
Staphylococcus aureus, в 1 г	не допускается	о	н/о	н/о	о	н/о	н/о
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы в 25 см^3	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Сульфитредуцирующие клостридии, в 1 г	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Listeria monocytogenes, в 25 г	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Vibrio parahaemolyticus, в 0,01 г	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Плесени, КОЕ/г	не более 10	55	9	10	75	10	10
Дрожжи, КОЕ/г	не более 100	255	90	95	300	95	99

Примечание: о – обнаружены; н/о – не обнаружены.

Note: о – detected; н/о – not detected.

экстрактами бурых водорослей данные виды микроорганизмов не обнаружены в течение 6 мес. хранения.

Представители условно-патогенной и патогенной группы бактерий (*Clostridium perfringens*, *Vibrio parahaemolyticus*, сальмонелл и *Listeria monocytogenes*) отсутствовали в контрольных и опытных образцах пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках как после изготовления, так и в процессе хранения.

Дрожжи и плесени в пресервах из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках после изготовления пресервов отсутствовали как в контрольных, так и опытных образцах. Хранение в течение 1 мес. продемонстрировало наличие в указанной массе контрольных образцов пресервов микроскопических грибов:плесени были выявлены в количестве 5–10 клеток, дрожжи – в количестве 15–20 клеток. В опытных образцах микроскопические грибы после 1 мес. хранения не обнаружены. Увеличение продолжительности хранения привело к существенному увеличению численности микроскопических грибов в контрольных образцах – плесени – 10–12 клеток/г, дрожжи – 95–99, через 6 мес. хранения – плесени – 55–75, дрожжи – 255–300. Причинами являются отсутствие факторов ингибирования или стабилизации развития микромицетов. Факторы температуры и pH не влияют на плесени и дрожжи, содержание соли в концентрации не более 5 % и бензоат натрия проявляют очень слабое действие на них. В опытных образцах пресервов из тихоокеанской сельди в масляной и майонезной заливках с сверхкритическими экстрактами бурых водорослей численность дрожжей не превышала 30 клеток, плесени были выявлены единичными клетками (2–5 клеток) только после хранения в течение 4 мес. При хранении в течение 6 мес. численность микроскопических грибов увеличилась, но не достигла верхнего предела.

Таким образом, полученные данные позволяют утверждать, что сверхкритические экстракты бурых водорослей ингибировали развитие плесеней и дрожжей в процессе хранения пресервов из тихоокеанской сельди в масляной и майонезной заливках.

Помимо исследования влияния сверхкритических экстрактов бурых водорослей на изменение микробиологических показателей пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках дана оценка изменения кислотного и перекисного чисел липидного компонента пресервов, как показателей качества и безопасности. Полученные данные представлены на рисунках 2, 3.

Процессы окисления и гидролиза липидов пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках в процессе хранения в контрольных образцах протекают с более высокой скоростью, чем в опытных образцах, о чем говорит динамика изменения кислотного и перекисного чисел.

Кроме кислотного и перекисного чисел, достаточно важным физико-химическим показателем качества пресервов из тихоокеанской сельди является буферность, нормальное значение которой составляет 130–180 градусов. Изменение буферности пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках в процессе хранения представлено на рисунке 4.

В контрольных образцах пресервов из тихоокеанской сельди значение буферности практически достигало верхнего порогового значения после 3 мес. хранения. При использовании в составе заливок для

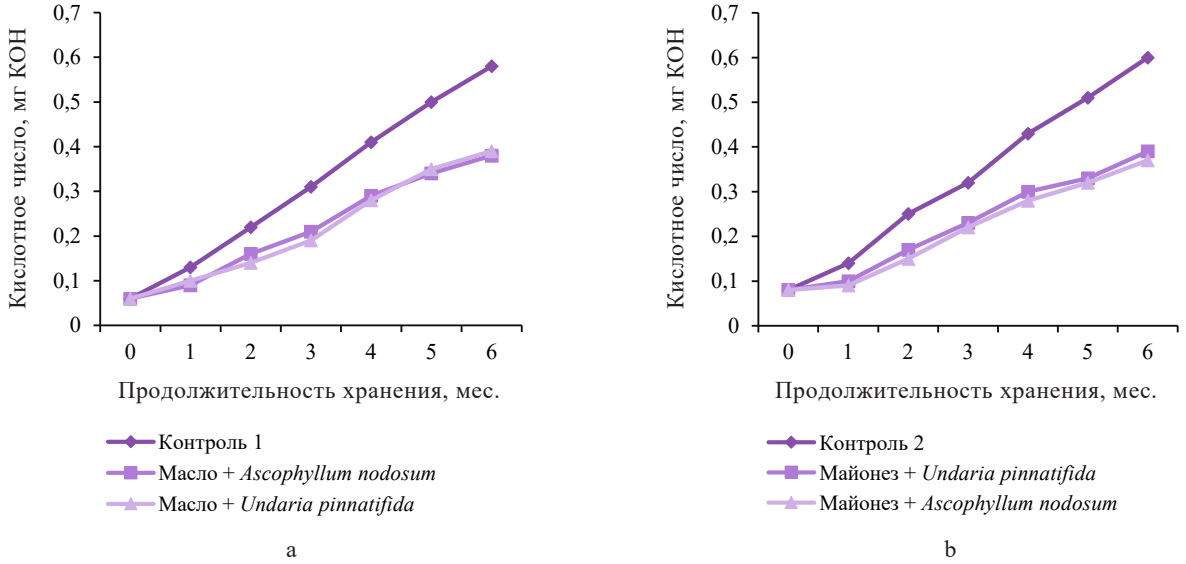

Рисунок 2. Динамика изменения кислотного числа липидного компонента пресервов из сельди тихоокеанской при хранении: a – в масляной заливке, b – в майонезной заливке

Figure 2. Acid number of lipid component in Pacific herring preserves during storage: a – oil, b – mayonnaise

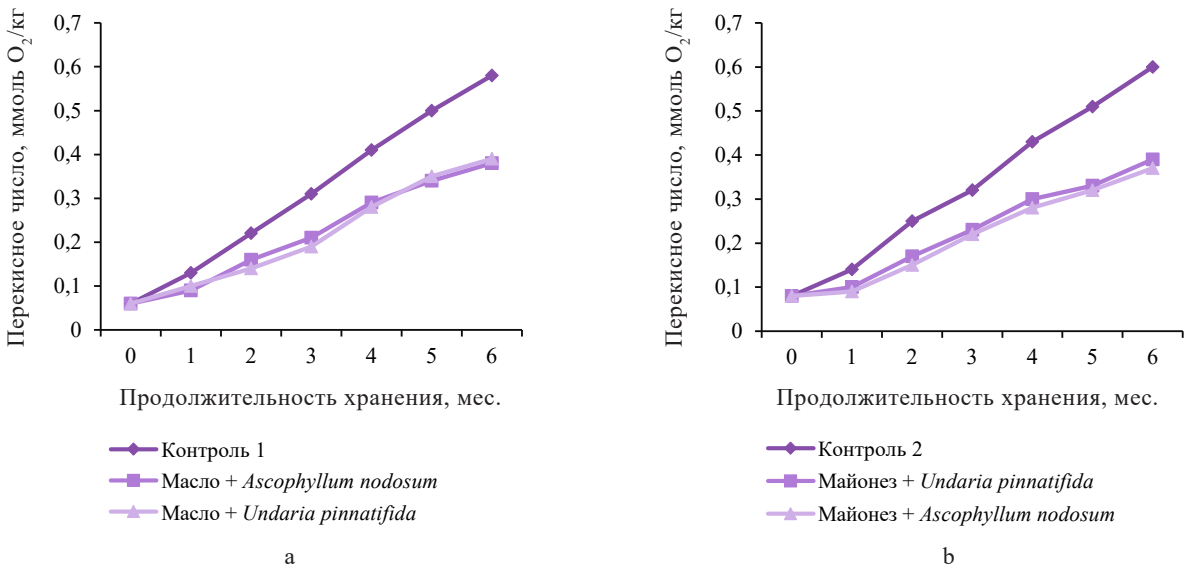

Рисунок 3. Динамика изменения перекисного числа липидного компонента пресервов из сельди тихоокеанской при хранении: a – в масляной заливке, b – в майонезной заливке

Figure 3. Peroxide number of lipid component in Pacific herring preserves during storage: a – oil, b – mayonnaise

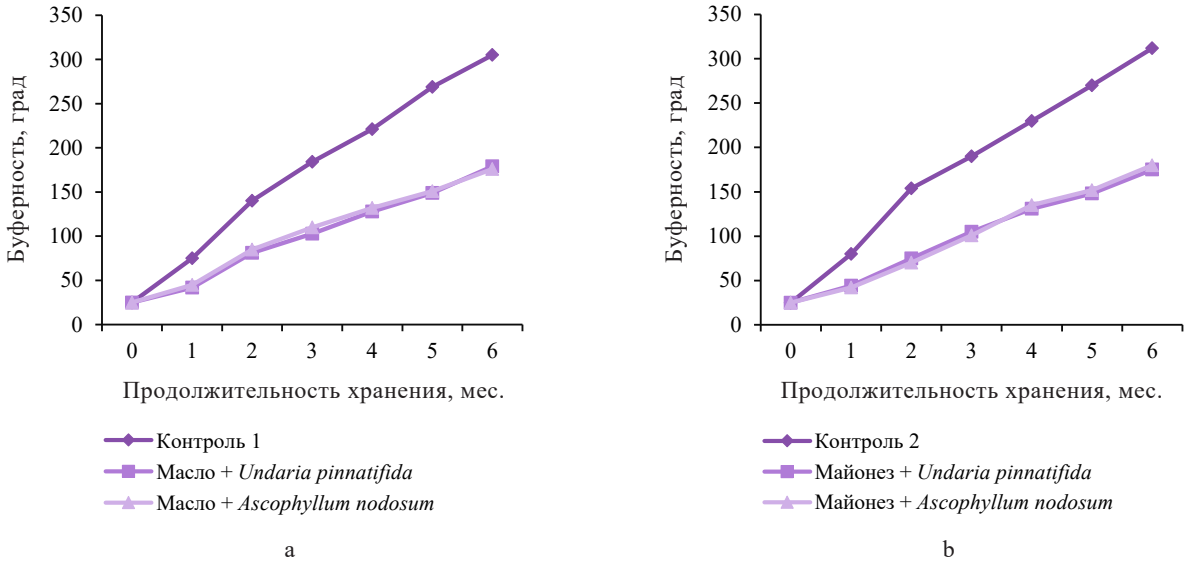

Рисунок 4. Динамика изменения буферности пресервов из сельди тихоокеанской при хранении: a – в масляной заливке, b – в майонезной заливке

Figure 4. Buffer capacity of Pacific herring preserves during storage: a – oil, b – mayonnaise

пресервов из сельди тихоокеанской сверхкритических экстрактов из бурых водорослей процесс нарастания буферности существенно замедлялся, причем сверхкритические экстракты из *U. pinnatifida* и *A. nodosum* проявляли практически одинаковые свойства. Во всех опытных образцах пресервов из тихоокеанской сельди в масляной и майонезной заливках в процессе хранения буферность не превышала предельного значения 180 °C в течение 6 мес. хранения. Полученные данные позволяют предположить, что введение сверхкритических экстрактов бурых водорослей в заливки для пресервов из сельди тихоокеанской приводит к снижению интенсивности ферментативных изменений в тканях рыбы под действием собственных и микробных ферментов.

Статистическая обработка результатов, полученных путем исследования изменения КМАФАнМ, перекисного и кислотного чисел, а также буферности пресервов

из тихоокеанской сельди в масляной и майонезной заливках в процессе хранения позволила получить уравнения регрессии, представленные в таблице 3.

Коэффициент аппроксимации, характеризующий полученные уравнения, позволяет утверждать об их адекватности и возможности использования для описания исследованных процессов, т. к. составляет не менее 0,97.

Органолептическая оценка качества исследуемых образцов пресервов из тихоокеанской сельди в масляной и майонезной заливках после 4 мес. хранения проведена с использованием пятибалльной шкалы. Результаты представлены в виде профилограмм на рисунке 5.

Органолептические показатели контрольных образцов продемонстрировали заметные различия после 4 мес. хранения. Из представленных профилограмм видно, что опытные образцы существенно отличались от контрольных по всем исследованным показателям. Сверхкритические экстракты из бурых водорослей *U. pinnatifida* и *A. nodosum* существенно улучшали органолептические показатели пресервов из сельди

Таблица 3. Уравнения регрессии, описывающие динамику изменения КМАФАнМ и буферности пресервов из тихоокеанской сельди в масляной и майонезной заливках в процессе хранения

Table 3. Effect of storage time on QMAFAnM and buffer capacity of Pacific herring preserves in oil and mayonnaise: regression equations

Модельная система	КМАФАнМ		Буферность	
	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации
Контроль 1	$Y_1 = 0{,}0024x^2 + 0{,}6238x + 1{,}9857$	$R^2 = 0{,}9929$	$Y_2 = -2{,}0119x^2 + 62{,}845x - 37$	$R^2 = 0{,}9981$
Масло + *Ascophyllum nodosum*	$Y_1 = 0{,}0274x^2 + 0{,}1131x + 2{,}4429$	$R^2 = 0{,}9797$	$Y_2 = -1{,}0238x^2 + 33{,}619x - 10{,}571$	$R^2 = 0{,}9945$
Масло + *Undaria pinnatifida*	$Y_1 = 0{,}0452x^2 - 0{,}0476x + 2{,}5857$	$R^2 = 0{,}9792$	$Y_2 = -0{,}2262x^2 + 27{,}631x - 5$	$R^2 = 0{,}9944$
Контроль 2	$Y_1 = 0{,}0036x^2 + 0{,}6464x + 1{,}9857$	$R^2 = 0{,}9954$	$Y_2 = -2{,}7024x^2 + 68{,}655x - 40{,}429$	$R^2 = 0{,}9958$
Майонез + *Ascophyllum nodosum*	$Y_1 = 0{,}0167x^2 + 0{,}2595x + 2{,}3143$	$R^2 = 0{,}9855$	$Y_2 = -0{,}4524x^2 + 29{,}119x - 7$	$R^2 = 0{,}9959$
Майонез + *Undaria pinnatifida*	$Y_1 = 0{,}0214x^2 + 0{,}2071x + 2{,}3286$	$R^2 = 0{,}9766$	$Y_2 = 0{,}0714x^2 + 26{,}214x - 5{,}5714$	$R^2 = 0{,}9938$

Примечание: Y_1 – КМАФАнМ, КОЕ/г; Y_2 – буферность, град, x – продолжительность хранения, мес.

Note: Y_1 – QMAFAnM, CFU/g; Y_2 – buffering capacity, degrees; x – shelf life, months.

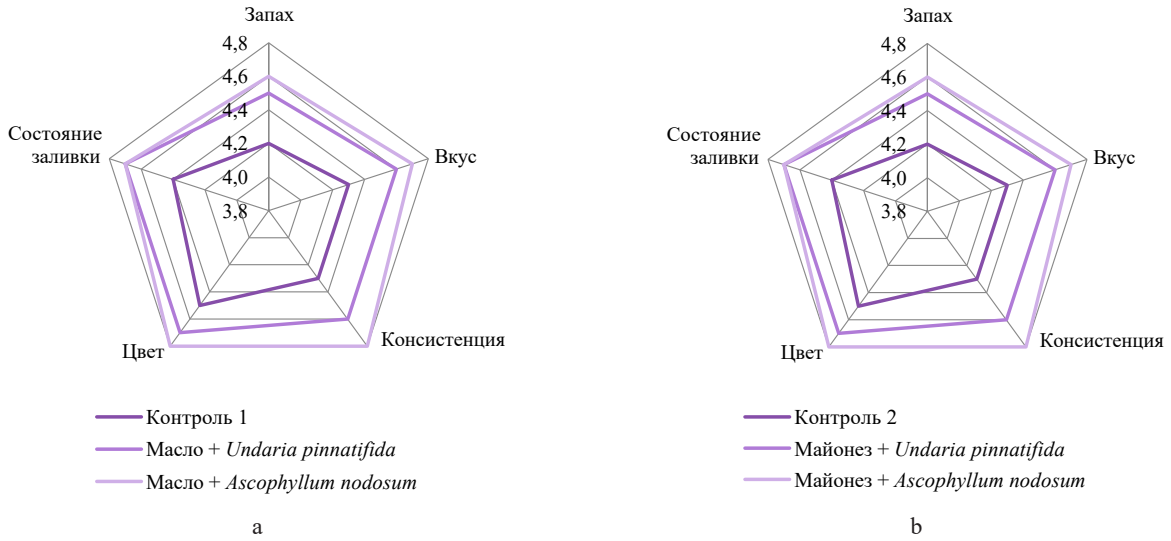

Рисунок 5. Профилограммы органолептической оценки пресервов из сельди тихоокеанской после 4 мес. хранения: a – в масляной заливке, b – в майонезной заливке

Figure 5. Sensory profile of Pacific herring preserves after four months of storage: a – oil, b – mayonnaise

тихоокеанской в масляной и майонезной заливках. Отмечались свойственные данной продукции запах и вкус, отсутствовал привкус и запах окисленного жира. Консистенция опытных образцов пресервов была плотная, сочная, нежная. Наиболее привлекательными явились образцы с сверхкритическими экстрактами *U. pinnatifida*. В контрольных образцах отмечались запах и привкус окисленного жира, прогорклость.

Выводы

Таким образом, экспериментально доказано, что сверхкритические экстракты морских бурых водорослей *Undaria pinnatifida* и *Ascophyllum nodosum* оказывают определенное влияние на качество и безопасность пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках. Введение сверхкритических экстрактов бурых водорослей *U. pinnatifida* и *A. nodosum* снижает скорость накопления КМАФАнМ, а также микроскопических грибов, замедляет процессы окисления и гидролиза липидного компонента пресервов, тормозит ферментативные процессы в мясе рыбы, что позволяет увеличить срок хранения на 2 мес. по сравнению с контролем. Опытные образцы характеризуются гораздо более низкими значениями перекисного и кислотного чисел в сравнении с контрольными.

Полученные уравнения регрессии, описывающие закономерности изменения КМАФАнМ и буферности пресервов из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках с сверхкритическими экстрактами морских бурых водорослей *U. pinnatifida* и *A. nodosum*, характеризуются высокими коэффициентами аппроксимации. Пресервы из сельди тихоокеанской в масляной и майонезной заливках с сверхкритическими экстрактами морских бурых водорослей Дальневосточного региона *U. pinnatifida* и *A. nodosum* характеризуются более высокими органолептическими показателями в сравнении с контролем.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что никакого конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи, нет.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Li X, Zheng S, Wu G. Nutrition and Functions of Amino Acids in Fish. In: Wu G, editor. Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in The Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals. Springer: Cham; 2021. pp. 133–168. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_8

2. Chen J, Jayachandran M, Bai W, Xu B. A Critical Review on the Health Benefits of Fish Consumption and its Bioactive Constituents. Food Chemistry. 2022;369:130874. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874

3. Dael PV. Role of n-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids in Human Nutrition and Health: Review of Recent Studies and Recommendations. Nutrition Research and Practice. 2021;15(2):137–159. https://doi.org/10.4162/nrp.2021.15.2.137

4. Zhang X, Ning X, He X, Sun X, Yu X, Cheng Y, *et al.* Fatty Acid Composition Analyses of Commercially Important Fish Species from the Pearl River Estuary, China. PLoS One. 2020;15(1):e0228276. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228276

5. Tilami SK, Sampels S. Nutritional Value of Fish: Lipids, Proteins, Vitamins, and Minerals. Reviews in Fisheries Science and Aquaculture. 2018;26(2):243–253. https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1399104

6. Pedro S, Nunes ML. Reducing Salt Levels in Seafood Products. In: Reducing Salt in Foods. Woodhead Publishing; 2019. pp. 185–211. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100890-4.00008-1

7. Tavares J, Martins A, Fidalgo LG, Lima V, Amaral RA, Pinto CA, *et al.* Fresh Fish Degradation and Advances in Preservation Using Physical Emerging Technologies. Foods. 2021;10(4):780. https://doi.org/10.3390/foods10040780

8. Hao R, Roy K, Pan J, Shah BR, Mraz J. Critical review on the Use of Essential Oils Against Spoilage in Chilled Stored Fish: A Quantitative Meta-Analysis. Trends in Food Science and Technology. 2021;111;175–190. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.054

9. Hussain MA, Sumon TA, Mazumder SK, Ali MM, Jang WJ, Abualreesh MH, *et al.* Essential Oils and Chitosan as Alternatives to Chemical Preservatives for Fish and Fisheries Products. Food Control. 2021;129:108244. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108244

10. Ekonomou SI, Parlapani FF, Kyritsi M, Hadjichristodoulou C, Boziaris IS. Preservation Status and Microbial Communities of Vacuum-Packed Hot Smoked Rainbow Trout Fillets. Food Microbiology. 2022;103:103959. https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103959

11. Rathod NB, Ranveer RC, Benjakul S, Kim SK, Pagarkar AU, Patange S, *et al*. Recent Developments of Natural Antimicrobials and Antioxidants on Fish and Fishery Food Products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021;20(4):4182–4210. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12787

12. Hematyar N, Rustad T, Sampels S, Kastrup Dalsgaard T. Relationship Between Lipid And Protein Oxidation in fish. Aquaculture Research. 2019;50(5):1393–1403.https://doi.org/10.1111/are.14012

13. Bogdanov VD, Blagonravova MV, Saltanova NS. Modern technologies for marinaded Pacific herring and salmon. Petropavlovsk-Kamchatsky: New book; 2007. 235 p. (In Russ.). [Богданов В. Д., Благонравова М. В., Салтанова Н. С. Современные технологии производства соленой продукции из сельди тихоокеанской и лососевых. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2007. 235 с.].

14. Bogdanov VD, Karpenko VI, Norinov EG. Aquatic biological resources of Kamchatka: Biology, extraction, and processing. Petropavlovsk-Kamchatsky; 2005. 264 p. (In Russ.). [Богданов В. Д., Карпенко В. И., Норинов Е. Г. Водные биологические ресурсы Камчатки: Биология, способы добычи, переработка. Петропавловск-Камчатский, 2005. 264 с.].

15. Saltanova NS. Salting methods for preserves from pre-ripened herring. Modern science-intensive technologies. 2010;9:105–106. (In Russ.). [Салтанова Н. С. Обоснование способа посола при производстве пресервов из сельди предварительного созревания // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 9. С. 105–106]. https://elibrary.ru/NAWUHH

16. Solomko EN. Effect of potassium chloride on chemical and structural-mechanical indicators of herring. Natural resources: current state, protection, commercial and technical use: Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Technical University; 2011. P. 145–147. (In Russ.). [Соломко Е. Н. Исследование влияния хлорида калия на изменение химических и структурно-механических показателей сельди // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2011. С. 145–147.].

17. Jagtap AS, Manohar CS, Ayyapankutty AM, Meena SN. Antioxidant and Antiglycemic Properties of Macroalgae, an Underutilized Blue Economy Bioresource in India. Russian Journal of Marine Biology. 2021;47:489–497. https://doi.org/10.1134/S1063074021060067

18. Corsetto PA, Montorfano G, Zava S, Colombo I, Ingadottir B, Jonsdottir R, *et al.* Characterization of Antioxidant Potential of Seaweed Extracts for Enrichment of Convenience Food. Antioxidants. 2020;9(3):249. https://doi.org/10.3390/antiox9030249

19. Alloyarova YuV, Kolotova DS, Derkach SR. Nutritional and therapeutic potential of functional components of brown seaweed: A review. Foods and Raw Materials. 2024;12(2):398–419. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-616

20. Fung A, Hamid N, Lu J. Fucoxanthin Content and Antioxidant Properties of *Undaria pinnatifida*. Food Chemistry. 2013;136(2):1055–1062. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.024

21. Sari AP, Nurdin GM, Manguntungi B, Mustopa AZ. Potential of Red, Brown, and Green Macroalgae from Dato Beach, Majene, Indonesia as Natural Food Preservative. Philippine Journal of Science. 2023;152(4):1483–1493.

22. Silva A, Silva SA, Carpena M, Garcia-Oliveira P, Gullón P, Barroso MF, *et al.* Macroalgae as a Source of Valuable Antimicrobial Compounds: Extraction and Applications. Antibiotics. 2020:9(10):642. https://doi.org/10.3390/antibiotics9100642

23. Surendhiran D, Li C, Cui H, Lin L. Marine Algae as Efficacious Bioresources Housing Antimicrobial Compounds for Preserving Foods. International Journal of Food Microbiology. 2021;358:109416. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109416

24. Hamad GM, Samy H, Mehany T, Korma SA. Eskander M, Tawfik RG, *et al.* Utilization of Algae Extracts as Natural Antibacterial and Antioxidants for Controlling Foodborne Bacteria in Meat Products. Foods. 2023;12(17):3281. https://doi.org/10.3390/foods12173281

25. Silva A, Silva SA, Lourenço-Lopes C, Jimenez-Lopez C, Carpena M, Gullón P, *et al.* Antibacterial Use of Macroalgae Compounds Against Foodborne Pathogens. Antibiotics. 2020;9(10):712. https://doi.org/10.3390/antibiotics9100712

26. Hafez MSAE, Rashedy SH, Abdelmotilib NM, El-Hassayeb HEA, Cotas J, *et al.* Fillet Fish Fortified with Algal Extracts of Codium Tomentosum and *Actinotrichia Fragilis*, as a Potential Antibacterial and Antioxidant Food Supplement. Marine Drugs. 2022;20(12):785. https://doi.org/10.3390/md20120785

27. Miranda JM, Trigo M, Barros-Velázquez J, Aubourg SP. Antimicrobial Activity of Red Alga Flour (*Gelidium* sp.) and its Effect on Quality Retention of *Scomber scombrus* During Refrigerated Storage. Foods. 2022;11(7):904. https://doi.org/10.3390/foods11070904

28. De Jesus Raposo MF, De Morais AMB, De Morais RMSC. Marine Polysaccharides from algae with Potential Biomedical Applications. Marine Drugs. 2015;13(5):2967–3028. https://doi.org/10.3390/md13052967

29. El Baz FK, El Baroty GS, Abd El Baky HH, Abd El-Salam OI, Ibrahim EA. Structural characterization and biological activity of Sulfolipids from selected marine algae. Grasas Y Aceites. 2013;64(5):561–571.

30. El Shafay SM, Ali SS, El-Sheekh MM. Antimicrobial Activity of Some Seaweed's Species from Red Sea, Against Multidrug Resistant Bacteria. Egyptian Journal of Aquatic Research. 2016;42(1):65–74. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.11.006

31. Kasanah N, Amelia W, Mukminin A, Triyanto, Isnansetyo A. Antibacterial Activity of Indonesian Red Algae *Gracilaria edulis* Against Bacterial Fish Pathogens and Characterization of Active Fractions. Natural Product Research. 2019;33(22):3303–3307. https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1471079

32. Anjali KP, Sangeetha BM, Devi G, Raghunathan R, Dutta S. Bioprospecting of Seaweeds (*Ulva lactuca* and *Stoechospermum marginatum*): The compound Characterization and Functional Applications in Medicine-A Comparative Study. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2019;200:111622. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111622

33. Nagayama K, Iwamura Y, Shibata, T, Hirayama I, Nakamura T. Bactericidal Activity of Phlorotannins from The Brown Alga *Ecklonia kurome*. Journal of Antimicrobial Chemotherapy. 2002;50(6):889–893. https://doi.org/10.1093/jac/dkf222

34. Karpinski TM, Adamczak A. Fucoxanthin–An Antibacterial Carotenoid. Antioxidants. 2019;8(8):239. https://doi.org/10.3390/antiox8080239

35. Sosa-Hernández JE, Escobedo-Avellaneda Z, Iqbal HMN, Welti-Chanes J. State-of-the-art Extraction Methodologies for Bioactive Compounds from Algal Biome to Meet Bio-Economy Challenges and Opportunities. Molecules. 2018;23(11):2953. https://doi.org/10.3390/molecules23112953

36. Gallego R, Bueno M, Herrero M. Sub- and Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds from Plants, Food-by-Products, Seaweeds and Microalgae–An Update. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2019;116:198–213. https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.04.030

37. Mendiola JA, Santoyo S, Cifuentes A, Reglero G, Ibáñez E, Javier Señoráns F. Antimicrobial Activity of Sub- and Supercritical CO_2 Extracts of The Green Alga *Dunaliella salina*. Journal of Food Protection. 2008;71(10):2138–2143. https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.10.2138

38. Saravana PS, Getachew AT, Cho YJ, Choi JH, Park YB, Woo HC, *et al.* Influence of Co-Solvents on Fucoxanthin and Phlorotannin Recovery from Brown Seaweed Using Supercritical CO_2. The Journal of Supercritical Fluids. 2017;120:295–303. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.05.037

39. Bogolitsyn KG, Kaplitsin PA, Dobrodeeva LK, Druzhinina AS, Ovchinnikov DV, Parshina AE, *et al*. Fatty Acid Composition and Biological Activity of Supercritical Extracts from Arctic Brown Algae *Fucus vesiculosus*. Russian Journal of Physical Chemistry B. 2017;11:1144–1152. https://doi.org/10.1134/S1990793117070065

40. Tyskiewicz K, Tyskiewicz R, Konkol M, Rój E, Jaroszuk-Sciseł J, Skalicka-Wozniak K. Antifungal Properties of *Fucus vesiculosus* L. Supercritical Fluid Extract Against *Fusarium culmorum* and *Fusarium oxysporum*. Molecules. 2019;24(19):3518. https://doi.org/10.3390/molecules24193518

41. Sukhoveeva MV, Podkorytova AV. Commercial amribe algae and seaweeds of the Far East: biology, distribution, reserves, and processing. Vladivostok: TINRO-center; 2006. 243 p. (In Russ.). [Суховеева М. В., Подкорытова А. В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. Владивосток: ТИНРО-центр, 2006. 243 с.].

42. Dizyurov VD, Kulepanov VN, Shaposhnikova TV. Atlas of algae and seaweeds of the Russian Far East. Vladivostok: Pacific Research Fisheries Center; 2008. 328 p.]. (In Russ.). [Дизюров В. Д., Кулепанов В. Н., Шапошникова Т. В. Атлас массовых видов водорослей и морских трав Дальнего Востока России. Владивосток: Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 2008. 328 с.].

43. Cassani L, Silva A, Carpena M, Pellegrini MC, García-Pérez P, Grosso C, *et al.* Phytochemical Compounds with Promising Biological Activities from *Ascophyllum nodosum* Extracts Using Microwave-Assisted Extraction. Food Chemistry. 2024;438:138037. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138037

44. Meng W, Sun H, Mu T, Garcia-Vaquero M. Extraction, Purification, Chemical Characterization and Antioxidant Properties *in vitro* of Polyphenols from The Brown Macroalga *Ascophyllum nodosum*. Algal Research. 2023;70:102989. https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.102989

45. Gisbert M, Franco D, Sineiro J, Moreira R. Antioxidant and Antidiabetic Properties of Phlorotannin's from *Ascophyllum nodosum* Seaweed Extracts. Molecules. 2023;28(13):4937. https://doi.org/10.3390/molecules28134937

46. Gan A, Baroutian S. Subcritical Water Extraction for Recovery of Phenolics And Fucoidan from New Zealand Wakame (*Undaria pinnatifida*) Seaweed. The Journal of Supercritical Fluids. 2022;190:105732. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105732

47. Park JS, Han JM, Park SW, Kim JW, Choi MS, Lee SM, *et al.* Subcritical Water Extraction of *Undaria pinnatifida*: Comparative Study of the Chemical Properties and Biological Activities Across Different Parts. Marine Drugs. 2024;22(8):344. https://doi.org/10.3390/md22080344

48. Kim SY, Roy VC, Park JS, Chun BS. Extraction and Characterization of Bioactive Compounds from Brown Seaweed (*Undaria pinnatifida*) Sporophyll Using Two Sequential Green Extraction Techniques. Algal Research. 2024;7:103330. https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103330

49. Tabakaev AV, Tabakaeva OV. Fatty-acid profile of Extracts of The Brown Seaweed *Ascophyllum nodosum.* Chemistry of Natural Compounds. 2024;60:300–302. https://doi.org/10.1007/s10600-024-04307-5; https://elibrary.ru/TYRMTZ

50. Tabakaeva OV, Razgonova MP, Tabakaev AV, Kapusta SV, Zinchenko YuN. Qualitative and Quantitative Composition of Carotenoids in Extracts of The Brown Alga *Ascophyllum nodosum.* Chemistry of Natural Compounds. 2023;59:999–1001. https://doi.org/10.1007/s10600-023-04178-2; https://elibrary.ru/TMVCUV

51. Tabakaeva OV, Tabakaev AV. Supercritical Extract from The Japanese Sea Brown Algae *Undaria pinnatifida* as a Source of Bioactive Compounds. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2023;13(3):416–424. (In Russ.) https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-3-416-424; https://elibrary.ru/JRWASG

52. Tabakaeva OV, Tabakaev AV. Comparative Characteristics of Carotenoid Profiles and Antiradical Properties of Extracts of Brown Kelp from The Sea of Japan. Chemistry of Natural Compounds. 2022;58(2):352–354. https://doi.org/10.1007/s10600-022-03678-x; https://elibrary.ru/DJLKSI

53. Tabakaeva OV, Tabakaev AV, Silantev VE, Kapusta SV. Antioxidant Properties of Supercritical Extracts of Brown Algae. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2024;14(2):253–264. (In Russ.) https://doi.org/10.21285/achb.922; https://elibrary.ru/PXLPLW

54. Tabakaev AV, Tabakaeva OV. Antioxidant Activity of Brown Algae CO_2 Extracts and Lipid Stability. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(3):585–597. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2524

55. Technological instructions for canned and preserved fish. Part 5. Leningrad: Giprorybflot; 1989;213–218. (In Russ.). Сборник технологических инструкций по производству рыбных консервов и пресервов. Часть 5. Л.: Гипрорыбфлот, 1989:213–218.].

56. Safronova TM. Fish and fish products taster's handbook. Moscow: VNIRO; 1998. 244 p. (In Russ.). [Сафронова Т. М. Справочник дегустатора рыбы и рыбной продукции. М.: ВНИРО, 1998. 244 с.].