



ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья/Research article

УДК 664.951

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-192-205

Ирина Александровна Василевская^{1✉}, Светлана Анатольевна Елисеева²,
Геннадий Валентинович Алексеев³

^{1,2}Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³Университет при Межпарламентской ассамблее Евразийского ЭС, Санкт-Петербург, Россия

¹toropova_irina@mail.ru

²sel1847@mail.ru

³gva2003@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ ПРИ ПОСОЛЕ ФИЛЕ ФОРЕЛИ ПУТЕМ РЕГУЛИРУЕМОГО ИНЪЕКТИРОВАНИЯ

Цель исследования – изучение динамики потребительских свойств форели радужной (*Oncorhynchus mykiss*), обработанной путем регулируемого инъектирования посолочной смесью с добавкой антиокислителя дигидрокверцетина. Выделяемый из коры таких растений, как пихта Дугласа, лиственница, камфорная сосна, дигидрокверцетин имеет молекулярную массу 304,25, а его молекулярная формула – $C_{15}H_{12}O_7$. Объекты исследования – образцы форели радужной охлажденной и опытные образцы «Форель радужная филе-кусочек слабой соли в вакуумной упаковке». Для проведения исследований и выпуска опытно-промышленной партии в посолочную смесь добавляли антиоксидантные композиции в соотношении 0,02 % к массе рыбы, производимые компанией АО «Аметис»: дигидрокверцетин с добавлением и без добавления аскорбиновой кислоты. В процессе холодильного хранения слабосоленой форели радужной при температуре от 0 до 5 °С определяли показатели качества и безопасности рыбной продукции через семь, четырнадцать и двадцать одни сутки. Органолептические показатели сырья, полуфабрикатов и готовой продукции определяли стандартным методом с использованием балльных шкал в составе дегустационной комиссии предприятия-изготовителя по ГОСТ 7631-2008. Выбранный состав тузлука, полученный уточненным дозированием используемых ингредиентов, выявил существенное улучшение сохранности производимой продукции при посоле путем инъектирования. Для инъектирования филе форели использовали дозатор, усовершенствованный наличием впускного и выпускного клапанов с размещением в них источников ультразвуковых колебаний. Выполненные исследования позволили выявить особенности применения дигидрокверцетина для замедления процессов микробиологической порчи и окисления липидов при хранении слабосоленой рыбной продукции.

Ключевые слова: форель радужная, слабосоленая рыбная продукция, инъектирование, автоматический дозатор, тузлук, дигидрокверцетин

Для цитирования: Василевская И.А., Елисеева С.А., Алексеев Г.В. Особенности использования антиоксидантов при посоле филе форели путем регулируемого инъектирования // Вестник КрасГАУ. 2025. № 11. С. 192–205. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-192-205.

Irina Alexandrovna Vasilevskaya^{1✉}, Svetlana Anatolyevna Eliseeva²,
Gennady Valentinovich Alekseev³

^{1,2}Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

³University of the Interparliamentary Assembly of the Eurasian Economic Community, St. Petersburg, Russia

¹toropova_irina@mail.ru

²sel1847@mail.ru

³gva2003@mail.ru

FEATURES OF USING ANTIOXIDANTS IN SALTING TROUT FILLETS BY CONTROLLED INJECTION

*The objective of the study is to investigate the dynamics of the consumer properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed through controlled injection of a curing mixture supplemented with the antioxidant dihydroquercetin. Extracted from the bark of trees such as Douglas fir, larch, and camphor pine, dihydroquercetin has a molecular weight of 304.25 and a molecular formula of $C_{15}H_{12}O_7$. The subjects of the study were chilled rainbow trout samples and experimental samples of Rainbow Trout Fillet-Lump, Lightly Salted, in Vacuum Packaging. To conduct the research and produce a pilot batch, antioxidant compounds produced by Ametis JSC were added to the curing mixture at a ratio of 0.02 % to the fish weight: dihydroquercetin with and without the addition of ascorbic acid. During refrigeration storage of lightly salted rainbow trout at temperatures from 0 to 5 °C, the quality and safety indicators of fish products were determined after seven, fourteen and twenty-one days. The organoleptic properties of raw materials, semi-finished products, and finished products were determined using a standard method using scoring scales and a tasting committee at the manufacturer, in accordance with GOST 7631-2008. The selected brine composition, obtained through refined dosing of the ingredients, revealed a significant improvement in the shelf life of the products when salted by injection. A dispenser, modified with inlet and outlet valves containing ultrasonic vibration sources, was used for injecting the trout fillets. The conducted studies revealed the specific benefits of using dihydroquercetin to slow down microbiological spoilage and lipid oxidation during storage of lightly salted fish products.*

Keywords: rainbow trout, lightly salted fish products, injection, automatic dispenser, brine, dihydroquercetin

For citation: Vasilevskaya IA, Eliseeva SA, Alekseev GV. Features of using antioxidants in salting trout fillets by controlled injection. *Bulletin of KSAU*. 2025;(11):192-205. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-192-205.

Введение. Радужная форель обладает высокими потребительскими свойствами, что делает ее одной из самых востребованных среди пород лососевых рыб на продовольственном рынке. Химический состав радужной форели отличается содержанием полноценного легкоусвояемого белка, полиненасыщенных жирных кислот, в т. ч. семейства омега-3; жирорастворимых витаминов А, D, Е, водорастворимых витаминов группы В; микроэлементов: калия, селена, цинка, магния, железа, натрия, фосфора и др. [1, 2].

Форель из аквакультуры уверенно завоевывает свою нишу в потребительской корзине населения как доступный и качественный продукт с высокой пищевой ценностью. Стоит отметить, что цены на радужную форель ниже, а цвет мякоти, вкусовые характеристики и слой внутри-

мышечного жира существенно не отличаются от дикого и культивируемого лосося [3].

Форель часто используется для приготовления широкого ассортимента блюд и изделий на предприятиях общественного питания и в домашних хозяйствах как продукт здорового питания [4, 5].

Сохранение свежести рыбного сырья осуществляется с помощью низкотемпературных технологий. Мышечная ткань может сохранять свежесть в процессе посмертного окоченения, в то время как по мере устранения трупного окоченения мышцы размягчаются, а свежесть снижается. Существует взаимосвязь между свежестью и состоянием мышечного белка. Значительная часть белков расщепляется протеолитическими ферментами с образованием аммиака и азотистых соединений, что негативно влияет на

их безопасность и вкусовые качества [6]. Радужную форель чаще реализуют в охлажденном или слабосоленом виде [7].

По сравнению с говядиной, бараниной, свиной, рыбные тушки содержат меньше соединительных тканей, а мышечные ткани рыб сильно обводнены, за счет чего лучше усваиваются организмом. С другой стороны, это делает их склонными к гидролизу мышечных белков и их окислительной порче.

Воздействие антиоксидантов сводится к их реакции с кислородом или кислородсодержащими радикалами, благодаря чему химическое взаимодействие последних с пищевым продуктом замедляется. Процессы окисления протекают при производстве и хранении и особенно выражены для продуктов с высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, окисление которых приводит к прогорканию и образованию неприятного запаха и привкуса. Контролировать процесс автоокисления липидов можно с помощью синтетических антиоксидантов, однако в настоящее время все чаще используют натуральные антиокислительные добавки [8, 9].

На предприятиях по переработке рыбы используется целый ряд противомикробных препаратов. Это химические соединения, которые добавляются для замедления роста или уничтожения микроорганизмов в рыбе во время переработки, хранения и реализации [8]. Важно отметить, что нередко синтетические противомикробные препараты и антиоксиданты ассоциируются с токсичностью, канцерогенностью и проблемами со здоровьем. Поэтому использование их строго регламентируется. В последние годы интерес населения к натуральным продуктам, не содержащим добавленных химикатов, постоянно растет. Таким образом резко усиливается потребительская и промышленная ориентация в сторону использования противомикробных препаратов и антиоксидантов, полученных из природных источников [9].

В связи с вышеизложенным для производителей существует острая необходимость в поиске натуральных противомикробных и антиокислительных добавок для обеспечения безопасности пищевой продукции с пролонгированными сроками годности [10]. Некоторые технологии, такие как инкапсуляция этих добавок для prolongации стабильности и использования в качестве системы доставки, могут быть полезны для по-

вышения эффективности вышеупомянутых добавок [11].

Разложение рыбы – сложный механизм, который запускается сразу после того, как рыба выловлена, погибает или забивается. Порча рыбы протекает по-разному в зависимости от условий обработки и хранения. После смерти рыбы активируются эндогенные ферменты и микроорганизмы, что приводит к разложению тканей рыбы. Существует два вида порчи рыбы, которые приводят к серьезным потерям: микробиологическая и окислительная [12].

Микробиологическая порча отражает фактическую порчу, связанную с потерей качества и безопасности рыбы. Рыба содержит большое количество воды (60–80 %), свободных аминокислот, в частности с нейтральным посмертным pH, что способствует росту как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий, особенно при неблагоприятных условиях хранения, таких как высокая температура или обращение, приводящее к физическому повреждению [13].

Свежевыловленная рыба обсеменена большим количеством микроорганизмов, присутствующих на коже, жабрах и в кишечнике рыбы. Однако после гибели рыбы некоторые из этих микроорганизмов, называемых специфическими организмами порчи, проникают в толщу мышц рыбы, вызывая разложение, вырабатывая протеолитические, липолитические и гидролитические ферменты, придающие рыбе неприятные вкус и запах [14].

Микроорганизмы в процессе своего роста используют молочную кислоту и небелковые азотистые соединения, в частности триметиламин-оксид, который в изобилии содержится во всех видах морских и некоторых пресноводных рыб. Бактерии расщепляют триметиламин-оксид, образуя летучие соединения, в т. ч. общий летучий азот, состоящий из диметиламина, триметиламина и аммиака, что приводит к появлению неприятных запахов и неприемлемости для потребителей. Триметиламин используется в качестве индикаторов брака с различными предписанными ограничениями. Как правило, предельное содержание триметиламина в форели составляет около 30 мг/100 г. Известно, что триметиламин усиливает выраженный рыбный запах при длительном хранении рыбы [15, 16].

Антимикробные препараты и антиоксиданты замедляют рост и развитие микроорганизмов и протекание окислительных процессов. Эти добавки должны быть недорогими, нетоксичными и не изменять вкус готовой рыбной продукции. Антимикробные препараты могут инактивировать микроорганизмы путем электростатического взаимодействия с клеточной мембраной, липидами и другими способами воздействия, приводящими к гибели клеток [17]. Различные способы действия различаются в зависимости от типов противомикробных препаратов. Некоторые исследователи предлагают подкислять цитоплазму клеток, иницируя их кислотоустойчивость и системы реагирования на стресс с помощью органических кислот и их производных. Такие кислоты, как уксусная кислота и ацетаты, влияют на экспрессию генов. Бензойная кислота и бензоаты вызывают протекание окислительных процессов в клетках, в то время как молочная кислота и лактаты препятствуют клеточному метаболизму, накапливая кислоту и нарушая функцию мембран. Сорбиновая кислота и сорбаты могут диссоциировать, образуя слабые кислоты, которые подавляют активность прорастания спор и рост микроорганизмов в более низких концентрациях ($< 0,3\%$), вызывая подкисление внутриклеточных компонентов и нарушая катаболические пути. Некоторые перечисленные синтетические антиокислители и противомикробные препараты запрещены в пищевой промышленности из-за отрицательного действия на живой организм, так как их повышенные концентрации могут вызывать разрушение клеток [18].

В отличие от синтезированных химическим способом, антиоксиданты и противомикробные препараты, полученные из природных источников, содержат несколько фитокомпонентов, обычно фенолы, которые обладают антимикробными свойствами, варьирующимися в зависимости от механизма действия. Известно, что фенольные соединения снижают протонную движущую силу, тем самым ингибируют синтез аденозинтрифосфата (АТФ) и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), вызывая гибель микробных клеток. Так, коричный альдегид, содержащийся в корице, подавляет рост микроорганизмов, нарушая активность ферментов, а тимол и карвакрол – фенольные соединения пряной травы душицы (орегано) способны разрушать фосфолипидный слой, что приводит к повышению прони-

цаемости и потере клеточных компонентов. Фитокомпонент эвгенол, содержащийся в пряности гвоздике, предотвращает ряд нежелательных метаболических процессов [19, 20].

Антиоксиданты натурального происхождения приобретают все большее значение из-за способности увеличивать срок хранения, сохранять питательные вещества и обеспечивать преимущества для здоровья. Антиоксидантная активность соединений классифицируется на основе реактивности антиоксиданта по отношению к свободным радикалам и стехиометрического показателя (количество нейтрализованных свободных радикалов на молекулу антиоксиданта), жирорастворимости (способность антиоксиданта достигать места образования свободных радикалов) и вторичных реакций (способность образующихся вторичных свободных радикалов нейтрализоваться).

Изучение природного биологически активного флавоноида дигидрокверцетина ($C_{15}H_{12}O_7$) показало ряд его антибактериальных свойств. Так, дигидрокверцетин препятствует адгезии и колонизации золотистым стафилококком пластиковой поверхности [21]. Дигидрокверцетин обладает сходными фармакологическими эффектами с вышеупомянутыми флавоноидами, но обладает более высокой антиоксидантной активностью, что тесно связано с его фенольными гидроксильными группами. Он широко распространен, поэтому его технологическая ценность постепенно становится общепризнанной.

Известно, что дигидрокверцетин состоит из двух фенильных групп А- и В-кольца, которые соединены гетероциклическим кольцом (С-кольцо) [21, 22]. 5- и 7-ОН-группы, присутствующие в А- и С-кольцах, выполняют функцию 4-оксо, что позволяет дигидрокверцетину оказывать мощное поглощающее действие на свободные радикалы. Кроме того, сильные свойства дигидрокверцетина обусловлены его сопряженной структурой и резонансной стабильностью двух фенольных колец [23]. Существует прямая связь между количеством гидроксильных групп, присоединенных к ароматическому кольцу, и антиоксидантной активностью молекулы.

Комплексная структура обеспечивает разнообразные фармакологические свойства дигидрокверцетина, наиболее важными из которых для целей данной работы являются антиоксидантные и антимикробные характеристики.

Слабосоленая радужная форель, будучи высокопитательным продуктом с большим содержанием жира и влаги, относится к категории скоропортящихся продуктов. Ее порча обусловлена активностью микроорганизмов и химическими реакциями, в частности окислением липидов, что ведет к снижению качества и рыночной стоимости. Микробиологическое и липидное разрушение рыбной продукции не только уменьшает ее пищевую ценность, но и представляет потенциальную угрозу для здоровья человека. В связи с растущим спросом на безопасные рыбные продукты, поиск альтернативных методов консервации без использования химических добавок приобретает особую актуальность [24, 25].

Натуральные соединения, обладающие антимикробными и антиоксидантными свойствами, такие как флавоноид дигидрокверцетин, являются перспективной альтернативой. Данное вещество эффективно подавляет рост микроорганизмов, вызывающих порчу рыбы, а также замедляет процесс окисления жиров. Дигидрокверцетин, благодаря своей способности ингибировать механизмы микробной и окислительной порчи, может быть использован для продления срока годности рыбной продукции, в т. ч. слабосоленой радужной форели, сохраняя при этом ее органолептические характеристики и питательную ценность [26].

Эффективность применения дигидрокверцетина зависит от качества исходного сырья, технологических параметров производства, методов упаковки и условий хранения.

Цель исследования – изучить влияние натурального антиоксиданта дигидрокверцетина в составе посолочной смеси на формирование показателей качества слабосоленой форели радужной из аквакультуры путем регулируемого инъектирования.

Объекты и методы. Влияние внесения антиоксидантных композиций в посолочную смесь изучали в соответствии с технологической схемой выработки экспериментальной партии слабосоленой форели радужной из аквакультуры. На первом этапе механическую обработку (тримминг) рыбы производили ручным способом на разделочных досках.

На следующем этапе подготовленное филе подвергали комбинированному посолу, включающему регулируемое инъектирование и до-

саливание. Затем филе помещали в камеру для созревания не менее, чем на 12 ч, при температуре $(2 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Следующий этап включал нарезку рыбы на куски, дозирование и упаковывание с помощью вакуума на термоформовочной линии «Мультивак». Готовую продукцию «Форель слабосоленая филе-кусочек» помещали в холодильную камеру при температуре $(2 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и хранили в течение 21 сут.

Через каждые 7 сут в образцах слабосоленой форели определяли: массовую долю влаги – по ГОСТ 7636-85; массовую долю хлористого натрия (NaCl , %) – аргентометрическим методом; массовую долю жира – экстракционным методом в аппарате Сокслета. Активную кислотность – по ГОСТ 31795-2012. Азот летучих оснований (АЛО, мг/кг) определяли по ГОСТ 31795-2012. Активность воды (A_w) измеряли на установке HygroLab 2 с программным обеспечением HW3. Массовую долю общего белка (%) определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 7636. Степень созревания рыбы анализировали путем определения буферности (град.) по ГОСТ 19182-89. Микробиологические показатели определяли по стандартным методикам. Органолептические показатели сырья, полуфабрикатов и готовой продукции оценивала дегустационная комиссия предприятия-изготовителя с использованием балльных шкал по ГОСТ 7631-2008.

Для изучения влияния антиоксидантов на показатели качества форели слабосоленой использовали два вида добавок: дигидрокверцетин (ДК) и комбинацию дигидрокверцетина и аскорбиновой кислоты (ДК+АК). Концентрация пищевых добавок в посолочной смеси составляла 0,02 % (в соответствии с общими рекомендациями производителя добавки и ТР ТС 029/2012). Отношение массы инъектируемого тузлука в мышечную ткань рыбы варьировали от 10 до 20 % с шагом в 5 % к массе полуфабриката до инъектирования.

Для повышения однородности тузлука с добавленными антиоксидантами использовали автоматический дозатор, усовершенствованный наличием впускного и выпускного клапанов с размещением в них источников ультразвуковых колебаний, инициирующих эффекты кавитации для обеспечения гомогенности дозируемой для инъектирования смеси рецептурных компонентов (рис. 1).

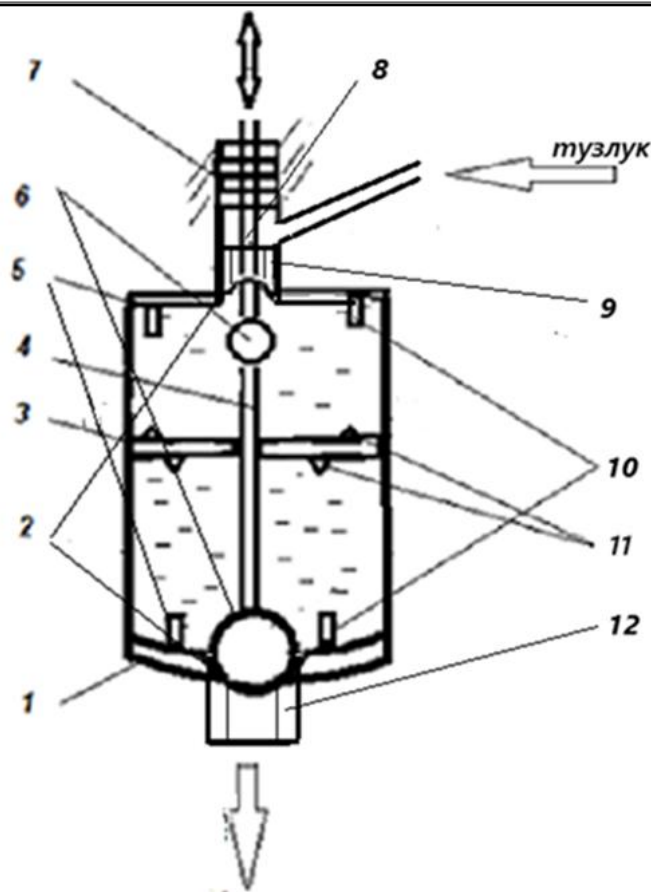


Рис. 1. Усовершенствованный дозатор для инъектирования
Improved dispenser for combined brine

Дозатор тузлука для инъектирования содержит резервуар 1 с впускным и выпускным отверстиями 2, снабженный датчиком уровня 3 и впускным 9 и выпускным 12 клапанами, на которые периодически опираются верхний и нижний шарики 6, жестко соединенных с вертикально установленным якорем 4, взаимодействующим с катушкой управления 7, а впускной 9 и выпускной 12 клапаны выполнены в виде верхней и нижней полых втулок с продольными сквозными прямоугольными проточками по всей высоте втулок, при этом ширина проточки равна величине $a = (0,45-0,55) \cdot D$, где D – внешний диаметр соответственно, верхней или нижней втулок, а на внутренних плоскостях проточек имеющих большую ширину и обращенных в сторону дозируемого тузлука, размещены две пары магнитостриктеров, в виде вертикальных полос 13, установленных друг напротив друга, с расстоянием между полосами $b = (1/3) \cdot H$, где H – ширина большей стороны прямоугольных проточек соответственно, верхней и нижней втулок, и на таком же расстоянии до боковых поверхностей проточек. Датчик уровня при этом выполнен в

виде диска 3 из материала более низкой плотности, чем дозируемая жидкость, и установлен с зазором относительно корпуса резервуара 1. На верхней и нижней его плоскостях установлено по два диаметрально противоположных концевых микровыключателя 11, с возможностью контактирования с аналогичными микровыключателями 10, установленными на верхней и нижней крышках резервуара со стороны дозируемого тузлука, при этом отрезок якоря 8 выше верхнего клапана, выполнен из ферромагнитного материала и размещен внутри катушки управления 7.

Работает автоматический дозатор тузлука для инъектирования следующим образом. При подаче внутрь резервуара 1 через впускное отверстие 2 тузлука в виде, например, смеси рассола и пищевых добавок дигидрокверцетина и аскорбиновой кислоты в начальный момент времени подаваемое на управляющую катушку 7 электропитание, включенное замкнутыми микровыключателями 5 и 11, удерживает вертикально установленный якорь 4 в крайнем нижнем положении, которое обеспечивает совмест-

ную работу верхнего и нижнего впускного и выпускного шариков 6 таким образом, что поступающая в резервуар 1 по специальному трубопроводу смесь беспрепятственно проходит в него благодаря открытому верхнему 9 и перекрытому нижнему 12 клапанам. В это же время подается питание на магнитоотрикатры 13 верхнего 9 клапана, которые возбуждают ультразвуковое поле, инициирующее кавитационные эффекты в поступающей через впускное отверстие 2 дозируемой смеси. Достижением нескольких десятков атмосфер мгновенное давление внутри мельчайших частичек газа в смеси гомогенизирует смешиваемые ингредиенты. По мере заполнения резервуара 1 жидким продуктом, начинает всплывать диск 3, выполненный из материала с более низкой плотностью, чем подаваемая смесь жидких продуктов. В это время электропитание на управляющей катушке 7 остается без изменения. По мере всплывания диска 3 тузлук перетекает из верхней части корпуса 1 в нижнюю часть, постепенно ее заполняя. Этот процесс длится до тех пор, пока не смыкаются микровыключатели 11, установленные на диске 3 на его верхней поверхности с микровыключателями 10, установленными на корпусе резервуара 1 и обращенные навстречу перемещающемуся диску. При замыкании этих концевых микровыключателей меняется направление тока на управляющей катушке 7, вследствие чего отрезок якоря 8 втягивается внутрь управляющей катушки 7. Одновременно с этим происходит запертие входного отверстия 2 резервуара 1 и открытие выпускного клапана 12 для опорожнения резервуара. В это же время включаются магнитоотрикатры 13 выпускного клапана 12 и происходит возбуждение ультразвукового поля, инициирующего кавитационные эффекты в удаляемой через выпускное отверстие 2 дозируемой смеси с дополнительной ее гомогенизацией. По мере убывания жидкого продукта диск 3 опускается вниз, но полюса управляющей катушки не дают возможности перемещаться якорю 4 и обеспечивают полное истечение отмеренной дозы. В момент замыкания концевых микровыключателей 11, установленных на нижней поверхности диска 3, и микровыключателей 10, обращенных внутрь резервуара 1, меняются полюса управляющей катушки 7,

после чего якорь 4 перемещается вниз, запирая нижнее выпускное отверстие 2, и открывает впускное отверстие во впускном клапане 9. Далее процесс повторяется.

Как показали испытания, в предлагаемом техническом решении однородность дозируемого тузлука с дополнительными ингредиентами исключает при инъектировании существенную разницу составов тузлука, подаваемых в разные иглы, что позволяет избежать порчи и других негативных последствий по всему объему обрабатываемого сырья.

Полученный материал обработан общепринятыми методами математической статистики с использованием программы Statistica 10 и MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Для изучения динамики показателей качества слабосоленой форели в зависимости от добавки антиоксидантов в посолочную смесь, внесенной в мышечную ткань рыбы путем регулируемого инъектирования, определяли: активность воды (A_w), активную кислотность (pH), массовую долю азота летучих оснований, массовую долю белковых веществ, массовую долю воды, массовую долю жира, массовую долю соли пищевой.

Анализ динамики выбранных показателей качества проводили графическим методом с помощью специально построенных лепестковых диаграмм (рис. 2–4). Для обеспечения сопоставимости показателей динамики каждого из изучаемых параметров исходную таблицу полученных данных нормализовали путем деления, полученного в процессе хранения значения, на его «фоновое» значение (1), то есть величину соответствующего параметра, характеризующего его значения у образца, закладываемого на хранение. Такую процедуру проводили для трех групп образцов:

- с традиционным составом ингредиентов (контроль) (см. рис. 2);
- с добавлением дигидрохлоркверцетина (ДК) (см. рис. 3);
- с добавлением дигидрохлоркверцетина и аскорбиновой кислоты (ДК+АК) (рис. 4).

В случае анализа контрольных образцов в результате проведенных экспериментов для наиболее важных характеристик получили лепестковую диаграмму (рис. 2).

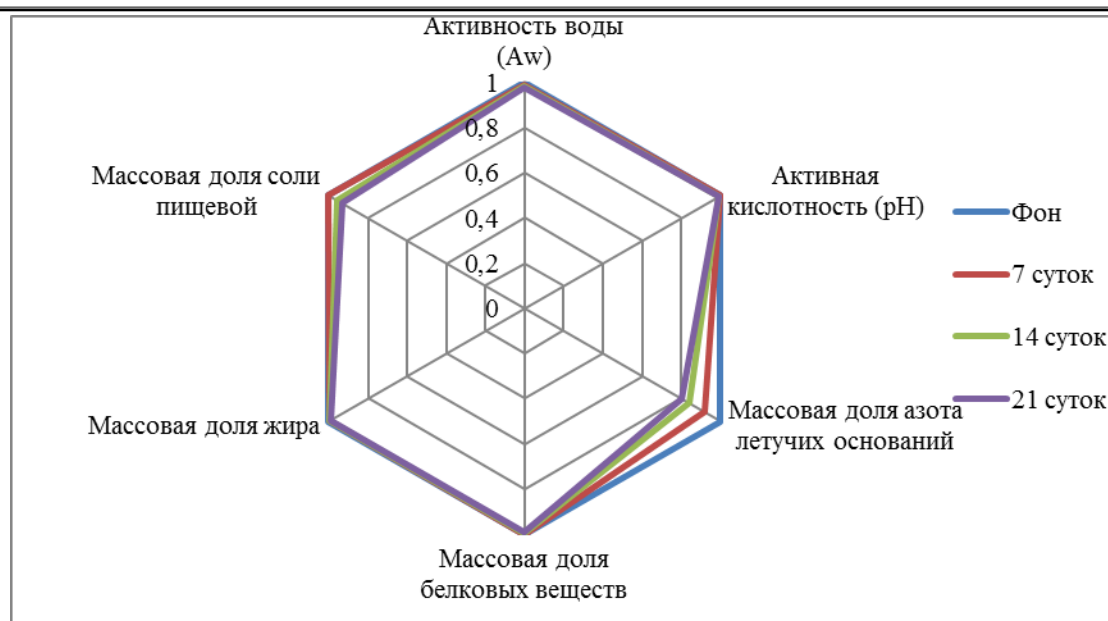


Рис. 2. Динамика изменения потребительских свойств контрольных образцов
Dynamics of changes in consumer properties of samples

Для второй группы образцов филе радужной слабосоленой в состав тузлука добавляли антиоксидант в виде дигидрокверцетина в соот-

ветствии с ТР ТС 029/2012. Соответствующие результаты испытаний приведены на лепестковой диаграмме (рис. 3).

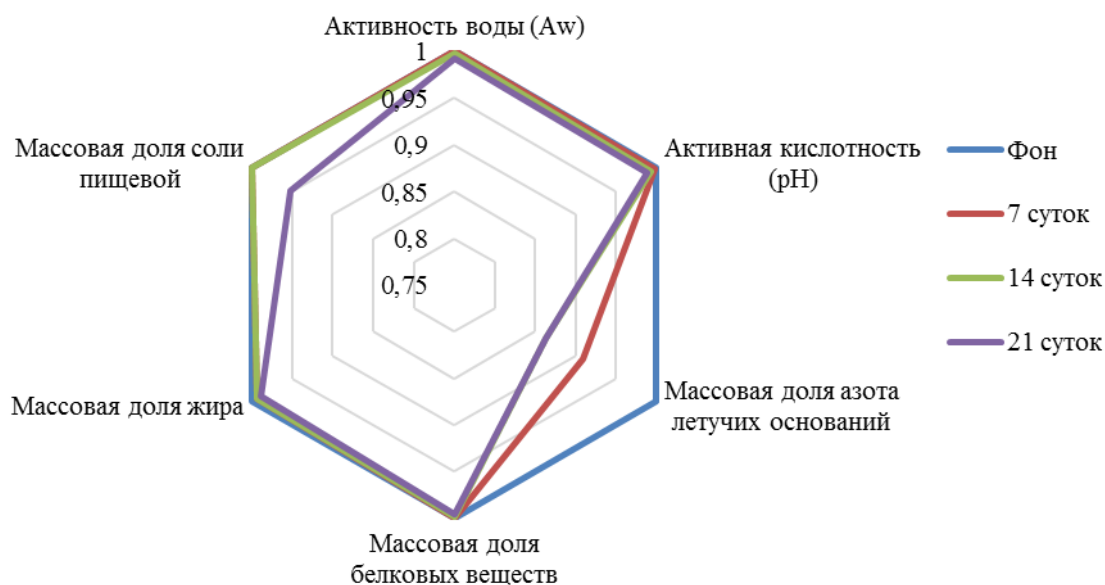


Рис. 3. Динамика изменения потребительских свойств образцов (с добавкой дигидрокверцетина)
Dynamics of changes in consumer properties of samples (with added dihydroquercetin)

Экспериментальные образцы третьей группы приготавливались точно так же, как второй, но кроме дигидрокверцетина в тузлук добавлялась аскорбиновая кислота. Вместе с тем, как и у предыдущей группы образцов, выполнялось условие, при котором общая концентрация пи-

щевых добавок в рассоле составляла 0,02 % (в соответствии с рекомендациями производителя добавки и ТР ТС 029/2012). Результаты определения показателей качества образцов приведены на рисунке 4.

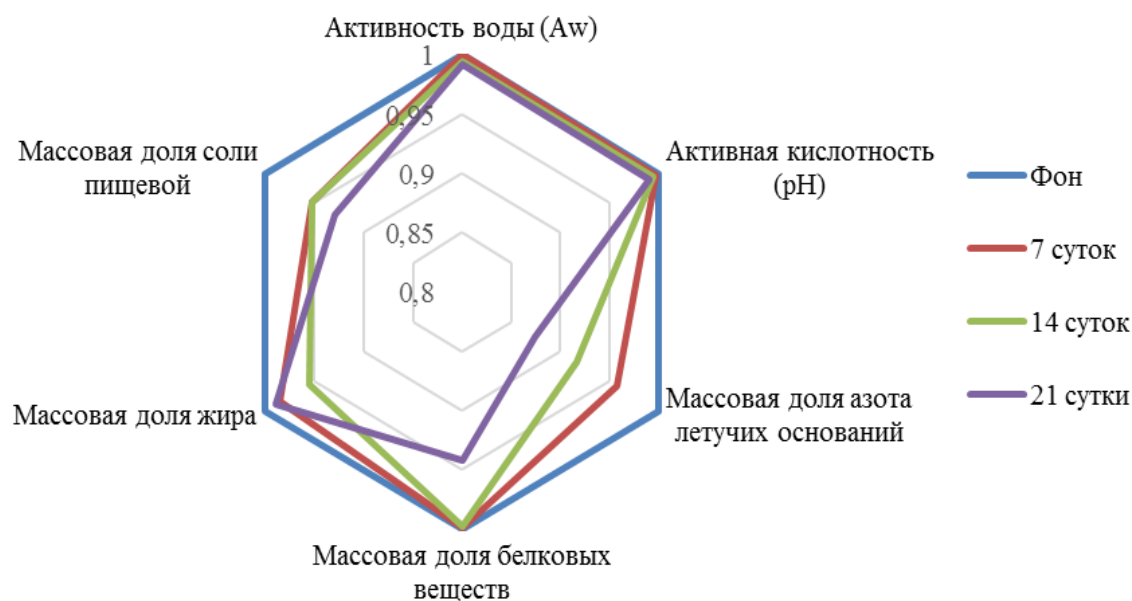


Рис. 4. Динамика потребительских свойств образцов
(с добавкой дигидрокверцетина и аскорбиновой кислоты)

Dynamics of changes in consumer properties of samples (with added dihydroquercetin and ascorbic acid)

Показатель «активность воды» является важным параметром, определяющим устойчивость пищевых продуктов к порче и влияющим на их срок годности. Согласно представленным диаграммам, активность воды в исследуемых образцах практически не изменяется, независимо от типа используемой посолочной смеси. Это наблюдается как в контрольных образцах, так и в образцах с добавлением ДК и их комбинации с АК. Аналогично, показатели активной кислотности во всех образцах слабосоленой форели демонстрируют схожую динамику в ходе холодильного хранения. Наиболее заметно колебание в процессе хранения от наличия антиоксидантов массовой доли азота летучих оснований (АЛО). Снижение АЛО говорит о торможении развития микроорганизмов и потенциале увеличения сроков годности продукта. Доля белковых веществ значительно изменяется в процессе хранения во всех образцах слабосоленой форели. Максимальное уменьшение этого показателя наблюдается в экспериментальных образцах после 21 дня хранения. Практически все лепестковые диаграммы в процессе холодильного хранения отражают некоторое снижение массовой доли жира в образцах сла-

босоленой форели с добавлением антиоксидантов.

По результатам исследований видно, что физико-химические и микробиологические показатели оказались благоприятнее у рыбной продукции с добавлением дигидрокверцетина по сравнению с контрольными образцами, выработанными по стандартам предприятия. Это свидетельствует, что продукция, обработанная дигидрокверцетином, сохранилась в лучшем состоянии, а показатели на 21-е сут хранения находятся ниже предельно допустимых значений, что свидетельствует о наличии потенциала для дальнейших экспериментов по увеличению срока хранения слабосоленой рыбной продукции. Вместе с тем в некоторых случаях требуется более точная оценка комплексного влияния изученных параметров на динамику процесса хранения. Для такой оценки может быть выбран некоторый обобщенный показатель качества связанный, например, с площадью соответствующего многоугольника лепестковой диаграммы. Такой показатель можно легко определить, используя простую компьютерную программу (рис. 5).

$$\begin{aligned}
 n &:= 6 & \varphi &:= 2 \frac{\pi}{n} & S &:= n \cdot \sin(\varphi) \\
 \text{ORIGIN} &:= 1 \\
 \text{СТАНДАРТ} \\
 a &:= \begin{pmatrix} 0.985 \\ 0.997 \\ 0.92 \\ 0.999 \\ 0.994 \\ 1 \end{pmatrix} & b &:= \begin{pmatrix} 0.984 \\ 0.992 \\ 0.84 \\ 0.993 \\ 0.994 \\ 0.96 \end{pmatrix} & c &:= \begin{pmatrix} 0.974 \\ 0.99 \\ 0.8 \\ 0.991 \\ 0.989 \\ 0.93 \end{pmatrix} \\
 P1 &:= \sin(\varphi) \cdot (a_1 a_2 + a_2 a_3 + a_3 a_4 + a_4 a_5 + a_5 a_6 + a_6 a_1) \\
 P2 &:= \sin(\varphi) \cdot (b_1 b_2 + b_2 b_3 + b_3 b_4 + b_4 b_5 + b_5 b_6 + b_6 b_1) \\
 P3 &:= \sin(\varphi) \cdot (c_1 c_2 + c_2 c_3 + c_3 c_4 + c_4 c_5 + c_5 c_6 + c_6 c_1) \\
 \Delta 1 &:= S - P1 & \Delta 2 &:= S - P2 & \Delta 3 &:= S - P3 \\
 \Delta 1 &= 0.182 & \Delta 2 &= 0.408 & \Delta 3 &= 0.499
 \end{aligned}$$

Рис. 5. Программа оценки динамики параметров в процессе хранения
 Program for assessing the dynamics of parameter changes during storage

В приведенной программе количество оцениваемых параметров указывается как n , а их значения по мере срока хранения задаются в матричном виде в соответствующих столбцах. Параметр S характеризует отклонение комплексного показателя качества свежеприготовленного продукта от наилучшего достижимого принятым способом обработки, принятого за 1, а P_i – комплекс качества продукта с измененным составом тузлука по мере хранения продукта.

Заключение. Использование природного антиоксиданта дигидрохверцетина в технологии посола филе форели является актуальным и перспективным направлением за счет пролонгирования сроков годности, сохранения стабильных органолептических характеристик и питательных веществ в слабосоленой рыбной продукции. Дигидрохверцетин успешно нейтра-

лизует механизмы микробной и окислительной порчи и может быть использован для обеспечения безопасности, качества и продления срока годности форели радужной слабосоленой из аквакультуры.

Приведенные в статье результаты оценки динамики параметров в процессе хранения подтверждают, что свежеприготовленные регулируемым инъектированием тузлука образцы слабосоленой рыбной продукции из форели радужной наиболее близко соответствуют принятым стандартам, а прошедшие хранение образцы практически им не уступают. Технологический потенциал повышения качества рыбной продукции, возможно, связан с повышением качества самого тузлука, в частности с более тщательным регулируемым дозированием его отдельных компонентов.

Список источников

1. Соколов А.В. Пищевая и биологическая ценность второстепенных частей радужной форели, выращенной в аквакультуре // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 1. С. 105–111. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-1-105-111. EDN: HGIIQK.
2. Щербаков Ю.С., Тыщенко В.И. Биометрические показатели роста и развития радужной форели и их связь с воспроизводительными качествами // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 10–1 (112). С. 68–72. DOI: 10.23670/IRJ.2021.112.10.011. EDN: EMRMH.
3. Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В. Рыбоводные технологии в искусственном воспроизводстве: современное состояние, проблемы, решения // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 137–153. EDN: UADYLV.
4. Москвичев А.С., Москвичева Е.В. Разработка технологии функционального паштета на основе побочных продуктов переработки рыбного сырья // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2025. № 1 (63). С. 12–23. DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-1-12-23. EDN: DLZJYJ.
5. Василевская И.А., Елисеева С.А. Особенности производства и хранения слабосоленой форели радужной с применением натуральных антиоксидантов. В сб.: Международный научно-исследовательский конкурс «Научный дебют – 2025». Петрозаводск: МЦНП «НОВАЯ НАУКА». 2025. С. 31–42. DOI: 10.46916/19032025-978-5-00215-711-2.
6. Степаненко Е.И., Нехамкин Б.Л. Роль отдельных компонентов солевого раствора в сохранении качества лосося инъекционного посола // Труды АтлантНИРО. 2021. Т. 5, № 1 (11). С. 147–156. EDN: EILCLG.
7. Гребенюк А.А., Базарнова Ю.Г. Технологические аспекты производства слабосоленой деликатесной продукции из форели // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2008. № 4. С. 20–24. EDN: KGMOQV.
8. Мезенова О.Я. Современная пищевая биотехнология: основные проблемы и вызовы // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 35–46. DOI: 10.17586/1606 4313 2023 22 1-35-46.
9. Шульгина Л.В., Якуш Е.В., Шульгин Ю.П., и др. Антибиотики в объектах аквакультуры и их экологическая значимость. Обзор // Известия ТИНРО. 2015. Т. 181. С. 216–230. EDN: TVWUTX.
10. Базарнова Ю.Г. Фитозэкстракты – природные ингибиторы порчи пищевых продуктов (обзор) // Процессы и аппараты пищевых производств. 2010. № 2. С. 32–42. EDN: NCCNXB.
11. Awulachew M.T. A systematic review of encapsulation and control release technology in food application // J Agric Sc Food Technol. 2021. Vol. 7 (3). P. 292–296. DOI: 10.17352/2455-815X.000122.
12. Лукина Е.В. Анализ опыта применения натурального созревателя в технологии малосоленой рыбной продукции из лососевых рыб // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. № 3. С. 50–68.
13. Тыщенко В.И. Oncorhynchus Mykiss в аквакультуре: биотехнологические и генетические основы разведения и селекции // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7-1 (109). С. 141–144.
14. Харенко Е.Н., Жукова К.А. Посмертные изменения мышечной ткани минтая // Труды ВНИРО. 2017. Т. 165. С. 127–133. EDN: YUJDQH.
15. Абрамова Л.С., Козин А.В., Гусева Е.С., et al. Аналитический контроль содержания общего азота летучих оснований, как показателя качества рыбной продукции // Рыбное хозяйство. 2021. № 4. С. 89–97. DOI: 10.37663/0131-6184-2021-4-89-97.
16. Наумова А.В., Утсаль В.А., Ишевский А.Л., и др. Поиск биомаркеров для оценки качества и безопасности рыбы при ее хранении // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2023. № 66 (92). С. 84–91. DOI: 10.36807/1998-9849-2023-66-92-84-91. EDN: RKQQQG.
17. Лукина Е.В., Левшина Е.О., Кожухова Е.В., и др. Сравнительный анализ микробиологических изменений в деликатесной малосоленой продукции из лососевых рыб, изготовленной с использованием пищевых добавок – созревателей натурального и синтетического происхожде-

- ния, в процессе хранения // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2024. № 1. С. 49–56. EDN: BHADYQ.
18. Червоткина Д.Р., Борисова А.В. Антимикробные препараты природного происхождения: обзор свойств и перспективы применения // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12 (1). С. 254–267. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-254-267.
19. Прокопенко А.В., Чубенко Г.И., Бубинец О.В. Антимикробная активность растительных полифенолов // Амурский медицинский журнал. 2018. № 4 (24). С. 83–84. DOI: 10.22448/AMJ.2018.4.83-84. EDN: YSZLBJ.
20. Чукичева И.Ю., Кучин А.В. Природные и синтетические терпенофенолы // Российский химический журнал. 2004. № 3. С. 21–37.
21. Миняйло Л.А., Корчина Т.Я., Корчин В.И., и др. Оценка антиоксидантного действия дигидрокверцетина у взрослых жителей Севера в условиях неблагоприятных воздействий среды обитания. Здоровье населения и среда обитания. 2023. 31 (4). С. 63–69. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-4-63-69.
22. Дергачева Д.И., Машкова А.А., Исакова Е.П., и др. Действие ресвератрола и дигидрокверцетина на физиолого-биохимические характеристики полиэкстремофильных дрожжей *Yarrowia lipolytica* в условиях температурного стресса // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55 (2). С. 158–165. DOI: 10.1134/S0555109919020041. EDN: YXZBTN.
23. Ушкалова А.А., Чжан Т., Баочэнь Т. Состояние и перспективы применения дигидрокверцетина в пищевой промышленности // Пищевые системы. 2024. Т. 7 (3). С. 355–362. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-3-355-362. EDN: IUJYCH.
24. Радаева И.А., Галстян А.Г., Туровская С.Н., и др. Изучение технологических свойств дигидрокверцетина // Молочная промышленность. 2017. № 3. С. 67–68. EDN: YIAMMD.
25. Taghavi Takyar M.B., Khajavi S.H., Safari R. Evaluation of antioxidant properties of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* and their application in order to extend the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage // LWT – Food Science and Technology. 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.10.079.
26. Flieger J., Flieger W., Baj J., et al. Antioxidants: Classification, Natural Sources, Activity/Capacity Measurements, and Usefulness for the Synthesis of Nanoparticles // Materials. 2021. Vol. 14 (15). article 4135. DOI: 10.3390/ma14154135.

References

1. Sokolov AV. Nutritional and biological value of secondary parts of rainbow trout raised in aquaculture. *Technologies of food and processing industry of AIC – healthy food*. 2021;1:105-111. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2021-1-105-111. EDN: HGIIQK.
2. Shcherbakov YuS, Tyshchenko VI. Biometric indicators of growth and development of rainbow trout and their relationship with reproductive qualities. *International Research Journal*. 2021;10–1:68-72. (In Russ.). DOI: 10.23670/IRJ.2021.112.10.011. EDN: EMRMIH.
3. Burlachenko IV, Yakhontova IV. Fish farming technologies in artificial reproduction: current state, problems, solutions. *Proceedings of VNIRO*. 2015;153:137-153. (In Russ.). EDN: UADYLV.
4. Moskvichev AS, Moskvicheva EV. Development of a technology for a functional pate based on by-products of fish raw material processing. *Scientific Journal of NRU ITMO. Series: Processes and Equipment for Food Production*. 2025;1:12-23. (In Russ.). DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-1-12-23. EDN: DLZJYJ.
5. Vasilevskaya IA, Eliseeva SA. Features of production and storage of lightly salted rainbow trout using natural antioxidants. In: *International research competition “Scientific Debut – 2025”*. Petrozavodsk: NEW SCIENCE; 2025. P. 31–42. (In Russ.). DOI: 10.46916/19032025-978-5-00215-711-2.
6. Stepanenko EI, Nekhamkin BL. The role of individual components of the saline solution in maintaining the quality of injection-salted salmon. *Proceedings of AtlantNIRO*. 2021;5(1):147-156. (In Russ.). EDN: EILCLG.

7. Grebenyuk AA, Bazarnova YuG. Technological aspects of production of lightly salted delicacy products from trout. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Low Temperature and Food Technologies*. 2008;4:20-24. EDN: KGMOQV.
8. Mezenova OYa. Modern food biotechnology: main problems and challenges. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2023;1:35-46. (In Russ.). DOI: 10.17586/1606 4313 2023 22 1-35-46.
9. Shulgina LV, Yakush EV, Shulgin YuP, et al. Antibiotics in aquaculture and their ecological significance. A review. *Izv. TINRO*. 2015;181:216-230. (In Russ.). EDN: TVWUTX.
10. Bazarnova YuG. Phytoextracts – natural inhibitors of food spoilage. *Scientific journal of NRU ITMO. Series «Processes and equipment of food production»*. 2010;2:1-11. (In Russ.).
11. Awulachew MT. A systematic review of encapsulation and control release technology in food application. *J Agric Sc Food Technol*. 2021;7(3):292:296. DOI: 10.17352/2455-815X.000122.
12. Lukina EV. Analysis of the experience of using a natural ripening agent in the technology of lightly salted salmon fish products. *Scientific works of the Far Eastern Technical University*. 2024;3:50-68. (In Russ.).
13. Tyshchenko VI. Oncorhynchus Mykiss in aquaculture: biotechnological and genetic bases of breeding and selection. *International research journal*. 2021;7-1:141-144-37. (In Russ.).
14. Kharenko EN, Zhukova KA. Postmortem changes in pollock muscle tissue. *Proceedings of VNIRO*. 2017;165:127-133. (In Russ.). EDN: YUJDQH.
15. Abramova LS, Kozin AV, Guseva ES, et al. Analytical control of the content of total nitrogen of volatile bases as an indicator of the quality of fish products. *Fisheries*. 2021;4:89-97. (In Russ.). DOI: 10.37663/0131-6184-2021-4-89-97.
16. Naumova AV, Utsal VA, Ishevsky AL, et al. Search for biomarkers for assessing the quality and safety of fish during its storage. *Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. 2023;66:84-91. (In Russ.). DOI: 10.36807/1998-9849-2023-66-92-84-91. EDN: RKQQQG.
17. Lukina EV, Levshina EO, Kozhukhova EV, et al. Comparative analysis of microbiological changes in delicatessen lightly salted salmon products made using natural and synthetic food additives-ripeners during storage. *News of higher educational institutions. Arctic region*. 2024;1:49-56. (In Russ.). EDN: BHADYQ.
18. Chervotkina DR, Borisova AV. Antimicrobial drugs of natural origin: a review of properties and application prospects. *News of universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2022;12:254-267. (In Russ.). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-254-267.
19. Prokopenko AV, Chubenko GI, Bubinets OV. Antimicrobial activity of plant polyphenols. *Amur Medical Journal*. 2018;4:83-84. (In Russ.). DOI: 10.22448/AMJ.2018.4.83-84. EDN: YSZLBJ.
20. Chukicheva IYu, Kuchin AV. Natural and synthetic terpenophenols. *Rossiiskij himicheskij zhurnal*. 2004;3:21-37. (In Russ.).
21. Minyailo LA, Korchina TYa, Korchin VI, et al. Evaluation of the antioxidant effect of dihydroquercetin in adult residents of the North under adverse environmental impacts. *Population Health and Environment*. 2023;31:63-69. (In Russ.). DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-4-63-69.
22. Dergacheva DI, Mashkova AA, Isakova EP, et al. Effect of resveratrol and dihydroquercetin on physiological and biochemical characteristics of polyextremophilic yeast *Yarrowia lipolytica* under temperature stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019;55:158-165. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0555109919020041. EDN: YXZBTN.
23. Ushkalova AA, Zhang T, Baochen T. Status and Prospects of Application of Dihydroquercetin in the Food Industry. *Food Systems*. 2024;7:355-362. (In Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-3-355-362. EDN: IUJYCH.
24. Radaeva IA, Galstyan AG, Turovskaya SN, et al. Study of technological properties of dihydroquercetin. *Dairy industry*. 2017;3:67-68. (In Russ.). EDN: YIAMMD.
25. Taghavi Takyar MB, Khajavi SH, Safari R. Evaluation of antioxidant properties of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* and their application in order to extend the shelf life of rainbow trout

- (Oncorhynchus mykiss) fillets during refrigerated storage. *LWT – Food Science and Technology*. 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.10.079.
26. Flieger J, Flieger W, Baj J, et al. Antioxidants: Classification, Natural Sources, Activity/Capacity Measurements, and Usefulness for the Synthesis of Nanoparticles. *Materials*. 2021;14(15):4135. DOI: 10.3390/ma14154135.

Статья принята к публикации 03.09.2025 / The article accepted for publication 03.09.2025.

Информация об авторах:

Ирина Александровна Василевская, аспирант Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

Светлана Анатольевна Елисеева, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств, кандидат технических наук, доцент

Геннадий Валентинович Алексеев, профессор, заведующий лабораторией «Инновационные технологии», доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

Irina Alexandrovna Vasilevskaya, Postgraduate student at the Higher School of Biotechnology and Food Production

Svetlana Anatolyevna Eliseeva, Associate Professor at the Higher School of Biotechnology and Food Production, Candidate of Technical Sciences, Docent

Gennady Valentinovich Alekseev, Professor, Head of the Laboratory of Innovative Technologies, Doctor of Technical Sciences, Professor

