

Оригинальная статья / Original article

УДК 664.951+573.6

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-205-215>



Обоснование условий применения транsgлутаминазы в технологии формованной продукции из обводненного рыбного сырья

© Т.Н. Пивненко, Ю.В. Карпенко, Ю.М. Позднякова,
В.В. Кращенко, Р.В. Есипенко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет
(ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»), г. Владивосток, Российская Федерация

Резюме: Обоснованы условия применения препарата транsgлутаминазы ACTIVA® TG-TI (в сочетании со структурообразователями – желатином и хитозанами различной модификации) для применения в технологии формованной продукции из обводненного рыбного сырья на примере глубоководного объекта промысла – макруруса малоглазого. Показано, что сочетание различных видов структурообразователей обеспечивает сокращение времени становления гелей при незначительном изменении температур их становления и плавления. Добавление ферментного препарата приводит к образованию термостабильных гелей при увеличении их прочности в 1,5 раза. При формировании гелей из мышечной ткани макруруса в присутствии структурообразователей различной концентрации происходит снижение количества растворимых мышечных белков, наиболее выраженное в присутствии желатина и аскорбата хитозана. Измерения физико-химических параметров структурированных гелей мышечной ткани макруруса (влагоудерживающей способности, прочности на разрыв, активности воды) и их органолептические профили показали, что для использования в технологии формованной рыбной продукции можно рекомендовать внесение 3% желатина, 0,06% высокомолекулярного хитозана и 1% препарата транsgлутаминазы. Перевариваемость белковых компонентов полученных образцов не зависела от процесса ферментирования, суммарное накопление белка составило от 0,38 до 0,56% от массы образца. Общая биологическая ценность образцов при изучении их влияния на рост тест-культуры инфузории *T. pyriformis* составила от 78 до 134%.

Ключевые слова: транsgлутаминаза, желатин, хитозан, макрурус малоглазый, гелеобразование

Для цитирования: Пивненко Т.Н., Карпенко Ю.В., Позднякова Ю.М., Кращенко В.В., Есипенко Р.В. Обоснование условий применения транsgлутаминазы в технологии формованной продукции из обводненного рыбного сырья. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2021. Т. 11. N 2. С. 205–215. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-205-215>

Application of transglutaminase in moulded food processing from waterlogged fish raw materials

Tatiana N. Pivnenko, Yulia V. Karpenko, Yuliya M. Pozdnyakova,
Viktoria V. Kraschenko, Roman V. Esipenko

Far Eastern State Technical Fisheries University ("Dalrybvtus"),
Vladivostok, Russian Federation

Abstract: Application conditions of the ACTIVA® TG-TI transglutaminase combined with setting agents (gelatine and chitosans of various modifications) are substantiated for moulded food processing from waterlogged fish raw materials targeted by deep-water fishery, i.e. giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*). It was shown that combining different setting agents ensures time reduction of gel formation with a minor change in their development and melting temperatures. Adding an enzyme preparation leads to the formation of thermostable gels with a 1.5-fold increased strength. When forming gels from the grenadier muscle tissue in the presence of setting agents of different concentrations, the quality of soluble muscle proteins reduces, most prominently with gelatine and chitosan ascorbate. Physicochemical parameters of the structured gels prepared from the muscle tissue of giant grenadier (moisture retention capacity, tensile strength, water activity) and their organoleptic profiles were measured. Based on the results, we have shown that adding 3% of gela-

tine, 0.06% of high-molecular chitosan and 1% of transglutaminase may be employed for processing moulded fish products. The digestibility of the protein components in obtained samples did not depend on fermentation. The overall protein deposition was between 0.38 and 0.56% of the sample mass. The total biological value of samples ranged from 78 to 134% when studying their effect on the growth of *T. pyriformis* testing culture.

Keywords: transglutaminase, gelatine, chitosan, giant grenadier, gel formation

For citation: Pivnenko TN, Karpenko YuV, Pozdnyakov YuM, Kraschenko VV, Esipenko RV. Application of transglutaminase in moulded food processing from waterlogged fish raw materials. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(2):205–215. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-205-215>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время промышленный промысел глубоководных видов рыб имеет большие перспективы благодаря оснащению судов современными ярусно-постановочными комплексами. Одним из самых многочисленных глубоководных видов рыб северной части Тихого океана является макрурус малоглазый (*Albatrossia pectoralis*) [1]. По данным российских рыболовецких компаний, величину запасов этого объекта характеризует возможность вылова до 30–40 т в сутки, тогда как для традиционных объектов средний результат составляет 4–6 т в сутки. Также, по мнению сотрудников компании «Восток 1», макрурусы в недалеком будущем составят конкуренцию минтаю, самому массовому объекту Дальневосточного бассейна (<http://www.vostok1.com/produktsiya/makrurus/>). Однако макрурусы, несмотря на хорошие питательные свойства и большие запасы, остаются недоиспользованными из-за особенностей их химического состава: высокой обводненности мышечной ткани и неспособности миофибриллярных белков удерживать воду при различных способах технологической обработки [2].

Ранее нами была показана целесообразность сочетания двух различных типов структурообразователей – желатина и хитозана – в технологии желеобразных продуктов типа студней из мышечной ткани макруруса малоглазого. Полученные студни имеют доказанные высокие биологическую ценность, питательные и органолептические качества [3, 4]. Тем не менее данный вид кулинарной продукции имеет ограниченный потребительский спрос, предпочтительными являются формованные рыбные изделия, выдерживающие тепловую обработку без потери текстуры. Такие продукты из глубоководных объектов могут быть получены с помощью процесса реструктурирования с использованием фермента, обеспечивающего межмолекулярные белковые сшивки – трансглутаминазы (ТГ). Однако концентрация миофибриллярных белков в мышечной ткани макруруса настолько мала, что под действием вносимой экзогенной ТГ образующиеся белковые сшивки не обеспечивают достаточного укрепления структуры и повышения влагоудерживающей способности (ВУС) [3, 5, 6].

Известно, что желатин является хорошим субстратом для ТГ, а сшивки образуются между молекулами различных белков (например, между желатином и миозином) [7]. Поэтому применение желатина в процессе ферментативной реструктуризации мышечной ткани целесообразно и требует дополнительных исследований. Использование различных форм хитозана в этом процессе находится на начальной стадии исследований. В настоящее время имеются противоречивые данные об участии молекул хитозана в образовании сшивок между ними и молекулами белков [8, 9]. В то же время отмечаются полезные качества хитозана благодаря его антимикробной и антиоксидантной активности, что обеспечивает увеличение сроков хранения продукции.

Цель данной работы – исследование процессов ферментативного структурообразования в модельных системах, включающих желатин, различные виды хитозана и миофибриллярные белки макруруса малоглазого для обоснования использования этих процессов в технологии изготовления рыбных продуктов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследований служил макрурус малоглазый – *Albatrossia pectoralis*, выловленный в Охотском море в 2019 г. Для исследования брали замороженные образцы сроком хранения 3–4 мес. Масса рыбы целиком составляла 2–2,4 кг при длине тела – 67–93 см.

В качестве структурообразователей использовали пищевой желатин (ГОСТ 11293-89), высокомолекулярный (588 кДа) хитозан (ООО «ФармОушенЛаб», Россия) в виде его уксуснокислого раствора и аскорбат хитозана, полученный в лабораторных условиях по методу, представленному в работе [10], а также препарат АСТИВА® TG-TI («Аджиномото Ко. Инк.», Япония). Данный препарат содержит 99% мальтодекстрина, активность ТГ по гидроксаматному методу [11] составляет 42–87 Е/г препарата, температурный оптимум – 40–50 °С, pH-оптимум – 5,0–7,0. Согласно рекомендациям, в предварительных экспериментах использовали 1%-ую концентрацию препарата.

Количество растворимого белка определяли по методу Лоури. Величину прочности образцов

на разрыв H определяли на приборе Валента ВЦ-1 с грибовидным индентором. Активность воды A_w определяли на гигрометре Rotronic модификации HygroPalm HP23-Aw-A при температуре $21 \pm 0,5$ °C. ВУС определяли методом прессования навески под нагрузкой в 1 кг в течение 10 мин, расчет проводили по отношению разницы масс до и после прессования к массе исходного образца, выражали в процентах.

При исследовании гелеобразующей способности точки гелеобразования и плавления образцов оценивали визуально. Образцы помещали в пробирки, выдерживали на водяной бане при скорости повышения температуры воды на 1 °C за $2,5 \pm 0,5$ мин. Температуру, при которой гель переходил в жидкое агрегатное состояние, отмечали как его температуру плавления, в твердое – температуру гелеобразования.

Для определения степени гидролиза белковых компонентов в полученных продуктах была использована модельная система, повторяющая последовательность переваривания в желудоч-

но-кишечном тракте при использовании пепсина в кислой среде, а трипсина – в слабощелочной [12]. Относительную биологическую ценность (ОБЦ) исследуемых образцов определяли методом культивирования инфузорий *Tetrahymena pyriformis* в растворе 0,1%-й пептонной воды с добавлением исследуемых компонентов [13]. Динамику роста инфузорий наблюдали в течение 4 сут., ОБЦ рассчитывали как процентное отношение количества выросших инфузорий на среде, содержащей исследуемые продукты, к контролю (среда с добавлением казеина).

Для характеристики органолептических свойств полученных продуктов использовали балльную шкалу, результаты оценки представлены в табл. 1.

Статистический анализ проводили с использованием прикладного пакета Statistica 6. Выборочные параметры: средняя арифметическая, M ; стандартное отклонение, σ ; объем анализируемой подгруппы, n . Уровень доверительной вероятности – 95%.

Таблица 1. Шкала для определения органолептических показателей образцов структурированных рыбных фаршей по групповому дескриптору «консистенция»

Table 1. Scale for determining the organoleptic characteristics of structured minced fish samples by the group descriptor «consistency»

Единичные дескрипторы									
Плотность		Жесткость		Упругость		Хрупкость		Рыхлость	
Описание	Балл	Описание	Балл	Описание	Балл	Описание	Балл	Описание	Балл
Плотная	5	Умеренная	5	Упругая	5	Отсутствует	5	Отсутствует	5
Уплотненная	4								
Мягковатая	3	Очень жесткая	3	Слабая	3	Незначительная	3	Незначительная	3
Мягкая	2								
Очень мягкая	1	Слабо выражена	1	Не упругая	1	Хрупкая	1	Рыхлая	1

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На отечественном рынке комплексных пищевых добавок представлено большое количество препаратов ТГ микробиального происхождения (мТГ), соответствующих требованиям Технического регламента Таможенного Союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Наиболее известны такие коммерческие марки, как BioBond («Shanghai Kinry Pharmaceutical Co., Ltd.», Китай); ACTIVA® TG-TI («Аджиномото Ко. Инк.», Япония); Revada TG (BDF Natural Ingredients, Испания). Рекомендации по условиям использования препаратов при производстве мясных, молочных и рыбных продуктов включают параметры температуры и pH среды [14]. Качество получаемых ферментированных продуктов напрямую зависит от количества использованной добавки: как низкое, так и завышенное ее количество приводят к нежелательным результатам.

Физико-химические свойства желатина определяются пространственной структурой, молекулярно-массовым распределением, условиями среды (pH, ионная сила) и реакцией с другими компонентами, а функциональные – способностью к гелеобразованию и показателями прочности геля, временем гелеобразования, температурами становления и плавления, вязкостью и адгезией. Аминокислотный состав желатина свидетельствует о высокой концентрации именно тех аминокислот (глутаминовая кислота и лизин), боковые радикалы которых под действием ТГ образуют поперечные сшивки между отдельными молекулами белков и создают сетчатую структуру, удерживающую воду [4, 6].

Хитозан способен повышать структурно-механические свойства пищевых масс, соединять в упорядоченную уплотненную структуру фрагменты продуктов различной влажности¹ [15, 16]. При этом использование высокомолекулярного хитозана возможно только в виде его

¹Максимова С.Н., Сафронова Т.М., Полещук Д.В. Хитиновые материалы в технологии водных биоресурсов: учеб. пособие. СПб.: Лань. 2017. 176 с.

растворов при pH менее 5. Альтернативой ему могут служить низкомолекулярные производные, растворимые в воде, в частности, аскорбат хитозана.

Для исследования гелеобразующей способности желатина и хитозана измеряли температуру становления и температуру плавления гелей, а также время гелеобразования (рис. 1). После набухания в воде желатин нагревали для его растворения, после охлаждения фиксировали происходящие изменения.

При 1%-й концентрации желатина образуется продукт с выраженной текучестью, с увеличением концентрации упругость и плотность гелей возрастают при увеличении температур их становления и плавления. После достижения 6%-й концентрации желатина гель приобретает повышенную плотность и упругость, становится жестким и ломким. Для дальнейших исследований использовали концентрации желатина не выше 6,0%.

При добавлении МТГ в раствор желатина разных концентраций становление геля наблюдали в течение 3–5 мин при температуре 50 °С. Плавления геля не происходило даже при температуре инактивации фермента 90 °С в течение 30 мин и более. Это свидетельствует об образовании термостабильных ковалентных сшивок между белками.

Для исследования гелеобразующей способности комбинированного структурообразователя использовали высокомолекулярный кислоторастворимый хитозан и его водорастворимое производное – аскорбат хитозана. В качестве растворителей были взяты 1%-ая уксусная кислота и дистиллированная вода. Поскольку хитозан в твердофазном и растворенном состоянии имеет горький вяжущий вкус, то его применение в технологии пи-

щевых продуктов ограничено¹ [15, 16]. Приемлемыми органолептическими свойствами обладают образцы, в которых количество хитозана не превышает 0,1%, поэтому дальнейшие исследования проводили в диапазоне концентраций раствора хитозана 0,0–2,0% (см. рис. 1). С ростом концентрации хитозана температуры гелеобразования и плавления возрастали. Зависимость этих показателей от концентрации хитозана носила линейный характер во всех образцах. Время становления плотной гелеобразной структуры занимало от 40 до 50 мин, в то время как в контрольном образце, содержащем только желатин, оно составило 3–3,5 ч. В ряду концентраций раствора хитозана от 0,5 до 2,0% гелеобразующая способность комбинированного структурообразователя менялась незначительно. Так, температура плавления геля при увеличении концентрации хитозана от 0 до 2% возросла лишь на 12,2%; температура становления геля при тех же условиях возросла на 7,0%.

При добавлении МТГ в комбинированный раствор желатина и хитозана становление гелей происходило так же, как в предыдущем случае – в течение 5–7 мин. Плавления гелей также не наблюдали при 90 °С в течение 30 мин и более.

При использовании аскорбата хитозана отсутствует необходимость его растворения в кислых растворах, что является выгодным преимуществом. Исследований процесса реструктуризации белковых продуктов с этим препаратом ранее не проводилось. При изучении температурных характеристик становления и плавления гелей отличий между гелями желатина с добавлением как кислоты, так и водорастворимого хитозанов обнаружено не было. При добавлении МТГ в этом случае также были получены термоустойчивые продукты.

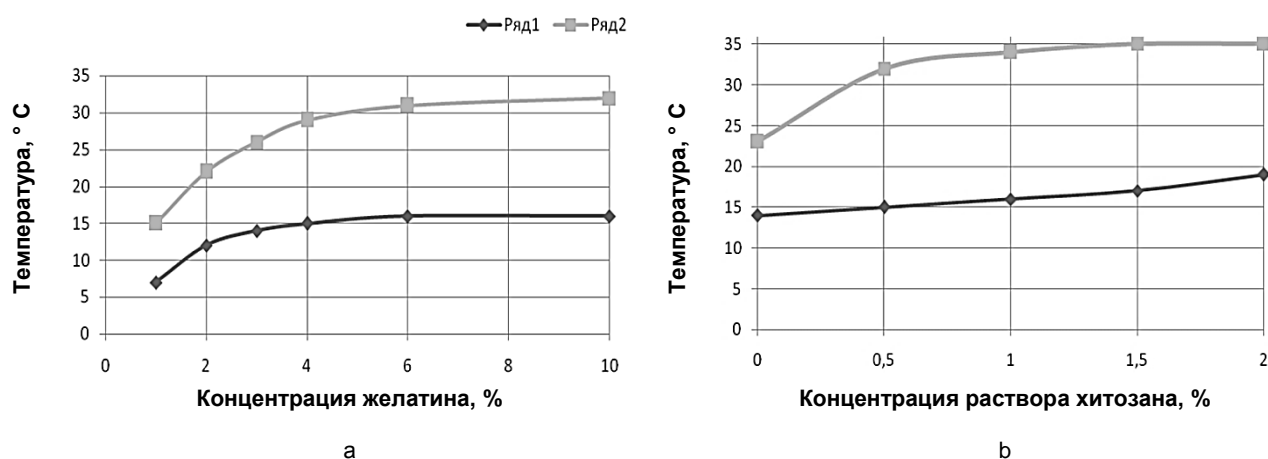


Рис. 1. Температура становления (ряд 1) и плавления (ряд 2) гелей:
 а – при различных концентрациях желатина; б – при различных концентрациях хитозана в присутствии 3% желатина

Fig. 1. Temperature of formation (row 1) and melting (row 2) of gels:
 а – at various gelatin concentration; б – at various chitosan concentrations in the presence of 3% gelatin

Далее полученные гели оценивали по изменению прочностных характеристик (рис. 2). В контрольных образцах (без мТГ) наиболее прочными оказались образцы, полученные без добавления хитозана, при этом различия были не существенными. Несмотря на то что органолептическая оценка гелей на основе желатина с различными концентрациями и кислото-, и водорастворимого хитозана позволяет характеризовать их как плотные и упругие, инструментальный контроль прочности на разрыв показал снижение этого показателя наиболее значительно в случае кислоторастворимого хитозана. Сопоставляя эти результаты с приведенными выше, можно говорить о том, что внесение хитозанов обоих типов влияет на процессы становления и плавления гелей, но не усиливает их прочность.

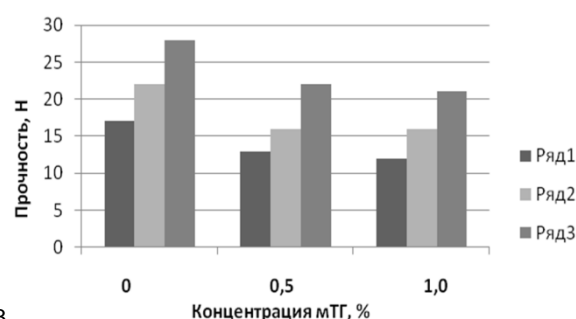


Рис. 2. Зависимость прочности гелей от концентрации мТГ: ряд 1 – 5% желатин; ряд 2 – 5% желатин + 2% раствор высокомолекулярного хитозана; ряд 3 – 5% желатин + 2% раствор аскорбата хитозана

Fig. 2. Dependence of the gels strength on the mTG concentration: row 1 – 5% gelatin; row 2 – 5% gelatin + 2% solution of high molecular weight chitosan; row 3 – 5% gelatin + 2% solution of chitosan ascorbate

Добавление мТГ приводило к увеличению прочности гелей во всех рассмотренных образцах, при этом рост этого показателя имел линейную зависимость от дозы ферментного препарата. Наиболее прочные гели были получены в присутствии только одного желатина, а наименее прочные – при добавлении аскорбата хитозана. Вероятно, молекулы хитозана не принимают участия в образовании поперечных сшивок, а в определенной степени снижают концентрацию белкового субстрата, за счет чего может снижаться частота сшивок.

На основании полученных данных были проведены эксперименты по изучению влияния желатина и хитозанов в присутствии мТГ на формирование структуры мышечной ткани рыб на примере макруруса малоглазого, миофибрилярные белки которого, как показано ранее, не способны к достаточному влагоудержанию и сохранению структуры. За основу способа получения формованных рыбных продуктов с применением дополнительных белковых и углеводных субстратов была положена ранее разработанная

технология получения рыбных студней без ферментирования [17]. Для этого макрурус размораживали до температуры -5°C , разделяли на филе, предварительно грубо измельчали, куттеровали 15 ± 2 мин при скорости вращения ножей 3000 об./мин. В процессе куттерования вносили 1,5% поваренной соли, подготовленные структурообразователи, препарат мТГ. Полученную смесь помещали в полимерные стаканы массой 150 г, укупоривали их и нагревали до 85°C в центре образца и выдерживали 5 мин. После охлаждения проводили измерения. Полученные образцы рассматривали как модельные для получения полуфабрикатов или продуктов, готовых к употреблению.

Для исследования влияния мТГ на формирование гелей из мышечной ткани макруруса и их физико-химические и органолептические свойства в присутствии различных концентраций желатина были приготовлены следующие образцы (табл. 2).

Таблица 2. Наименование и состав образцов для исследования влияния мТГ (1% от массы) на свойства гелей из мышечной ткани макруруса

Table 2. Names and composition of samples for studying the effect of mTG (1% by weight) on the properties of gels from the grenadier muscle tissue

Шифр образца	Состав образца, % ингредиентов к массе фарша		
	Желатин	Высокомолекулярный хитозан	Аскорбат хитозана
A1	2	–	–
A2	3	–	–
A3	5	–	–
B1	3	0,02	–
B2	3	0,03	–
B3	3	0,06	–
V1	3	–	0,02
V2	3	–	0,03
V3	3	–	0,06

Как показано ранее, при реакции полимеризации в мышечной ткани различных объектов происходит снижение содержания растворимых белков, что является косвенным подтверждением прохождения ферментативной реакции [18]. На рис. 3 показано изменение количества растворимых белков в полученных образцах.

В качестве нулевой точки на рис. 3, б и 3, с даны образцы, содержащие только 3% желатина без хитозанов. Количество растворимого белка в присутствии желатина и мТГ действительно снижается, что свидетельствует о прохождении ферментативной реакции между белками мышечной ткани и желатином. При этом наибольшее снижение (почти вдвое) показано для 1%-й концентрации желатина. Дальнейший рост концентрации желатина приводит к увеличению содержания растворимого белка. Возможным объяснением этого факта является то, что при повы-

шении концентрации желатина ферментативные сшивки в большей степени образуются между молекулами этого белка и не затрагивают молекулы миофибриллярных белков макроуруса.

Добавление 2%-х и 3%-х растворов высокомолекулярного хитозана в присутствии желатина приводит к слабому росту количества белка в растворе, однако существенно меньшему, чем для образцов в отсутствии структурообразователей (см. рис. 3). Повышение концентрации хитозана до 5% приводит к снижению изучаемого показателя, он становится значимо меньше, чем полученный в присутствии только одного желатина. Следовательно, можно предположить, что хитозан либо сам принимает участие в ферментативной реакции в качестве субстрата, либо облегчает образование связей между желатином и миофибриллярными белками.

Поскольку аскорбат хитозана хорошо растворим в воде, в фаршевую смесь его добавляли

в сухом виде, где он растворялся благодаря наличию большого количества воды в самом фарше. Количество растворимого белка в образцах с добавлением аскорбата хитозана значительно снизилось по сравнению с тем, что наблюдали в образце сравнения (A2), и было почти вдвое меньше, чем в образцах с высокомолекулярным хитозаном и желатином, а также только с одним желатином. В табл. 3 представлены физико-химические характеристики образцов. При увеличении концентрации желатина от 2 до 5% прочность полученных образцов возросла в 2 раза. Хотя эта величина почти в 20 раз меньше, чем полученная для геля чистого желатина в присутствии мТГ, образцы сохраняли форму как до, так и после термообработки. Одновременно наблюдалось достоверное увеличение ВУС несмотря на некоторое увеличение содержания воды.

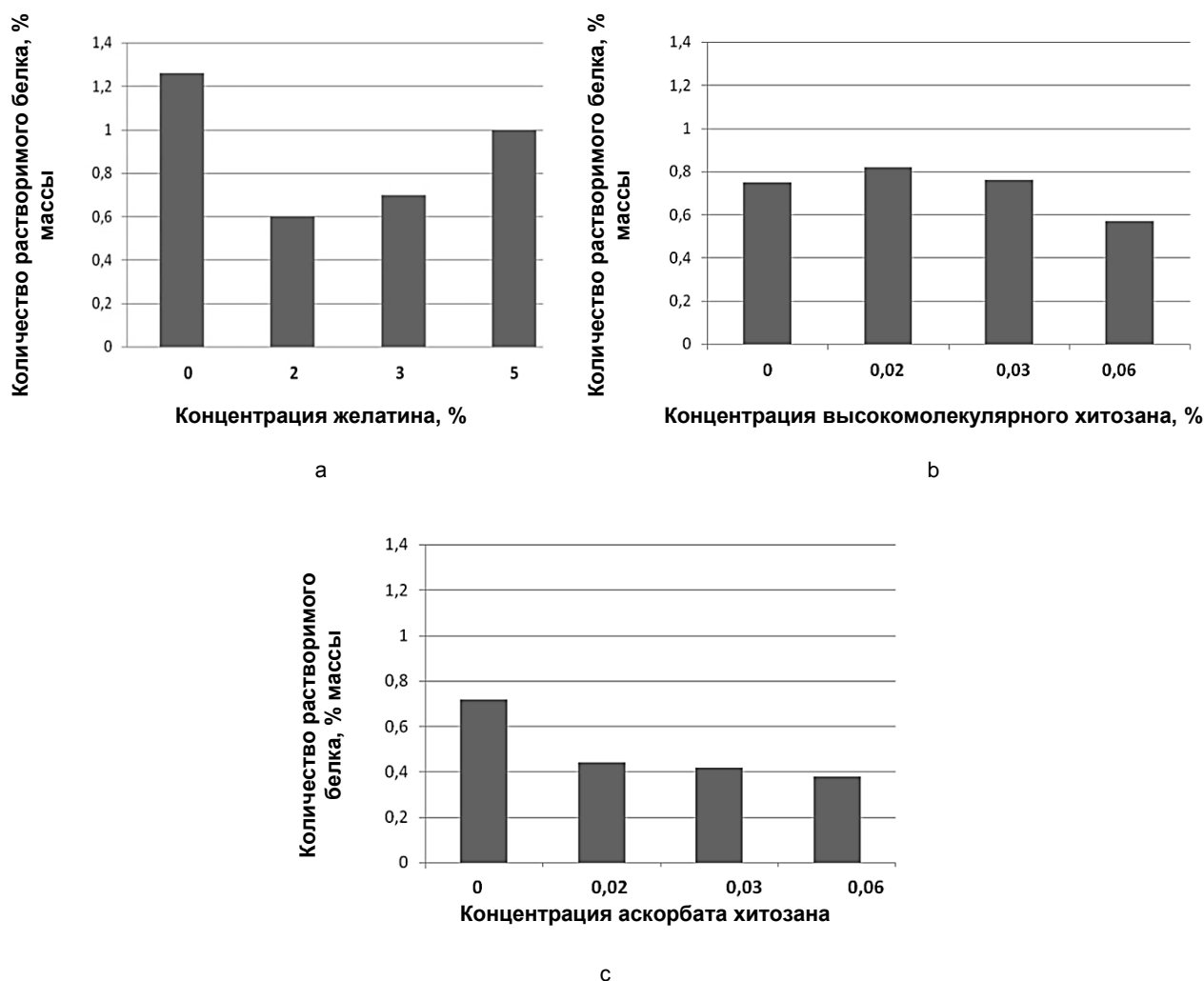


Рис. 3. Зависимость содержания растворимого белка в образцах мышечной ткани макроуруса в присутствии мТГ: а – желатин; б – 3% желатин + высокомолекулярный хитозан; в – 3% желатин + аскорбат хитозана

Fig. 3. Dependence of the soluble protein content in grenadier muscle tissue samples in the presence of mTG: а – gelatin; б – 3% gelatin + high molecular weight chitosan; в – 3% gelatin + chitosan ascorbate

Таблица 3. Физико-химические характеристики образцов ферментированной мышечной ткани макруруса при добавлении структурообразователей

Table 3. Physicochemical characteristics of fermented grenadier muscle tissue samples with the addition of structure formers

Шифр образца	Прочность на разрыв, Н	Активность воды, A_w	Массовая доля воды, %	ВУС, %
A1	0,5±0,01	0,770±0,41	69,51±4,0	34,20±2,0
A2	0,83±0,07	0,858±0,40	73,21±3,1	43,52±1,7
A3	1,01±0,06	0,801±0,57	73,38±4,4	53,14±2,9
B1	0,76±0,02	0,902±0,11	73,23±3,0	40,40±2,2
B2	1,57±0,02	0,880±0,10	72,78±2,4	45,29±3,0
B3	0,83±0,03	0,889±0,13	75,93±2,3	52,07±3,1
B1	0,16±0,04	0,929±0,21	72,41±1,9	57,43±3,2
B2	0,27±0,07	0,922±0,27	74,61±2,4	52,23±3,5
B3	0,35±0,01	0,978±0,25	69,86±2,0	51,92±2,0

Примечание. $n = 4$; $p < 0,05$.

Вода является дисперсной средой для многих химических реакций и метаболизма микроорганизмов в продуктах питания. Активность воды, A_w , влияет на срок годности, безопасность, структуру и запах пищевых продуктов [19]. Снижение этого показателя от 1 до 0,2 приводит к значительному замедлению химических и ферментативных реакций. Наименьшее значение A_w получено для образца с концентрацией желатина 2%, при его 3%-й концентрации оно несколько увеличивается, а затем вновь снижается до 0,801, что значительно ниже, чем для фарша макруруса без добавок – 0,898. Таким образом, мТГ можно рассматривать как реагент, обеспечивающий эффективное водосвязывание в присутствии мышечных белков и желатина.

Добавление высокомолекулярного хитозана в образцы, содержащие 3% желатина, приводило к неоднозначному изменению их прочности. Наиболее значительно возрос этот показатель при добавлении 3%-го раствора хитозана, что выше, чем у образца с добавлением только 3% желатина (образец сравнения). При 2%-й концентрации этот показатель был меньше, а при 5%-й концентрации совпадал с образцом сравнения. Значения A_w были существенно выше, чем у образца сравнения при незначительном различии между образцами группы Б. Массовая доля воды в этих же образцах также была практически равной, но при этом ВУС возросла.

По прочности образцы с аскорбатом хитозана были значительно слабее, чем полученные в двух предыдущих опытах, что находится в соответствии с более высоким содержанием воды. Однако при этом значительно возросли значения ВУС и A_w по сравнению с обоими предыдущими опытами. Величины всех результатов достоверны, однако находятся в противоречии друг с другом. Для объяснения полученной картины необходимо будет в дальнейшем обратиться к подробному анализу структуры полученных образцов и изучению взаимодействия аскорбата хитозана и миофибриллярных белков.

Результаты сенсорной оценки образцов

представлены на рис. 4 в виде органолептических профилей согласно табл. 1.

Образцы во всех группах имели приятный рыбный запах и вкус. При этом А1 имел плотную, но недостаточно упругую консистенцию, при нарезании проявлял некоторую рыхлость, ощущения от продукта при разжевывании определялись как суховатые; А2 имел плотную упругую консистенцию, был хорошо нарезаем, хорошо разжевывался, не вызывал нежелательных реакций; А3 имел плотную и упругую консистенцию, при нарезании проявлял повышенную жесткость и хрупкость, при разжевывании определялась крупитчатость. По всем исследованным свойствам образец А2 имел лучшие показатели и был использован в дальнейшей работе.

В группе Б для образца Б1 показана мягковатая консистенция, недостаточная упругость, по текстуре он был сопоставим с плотным суфле, хорошо нарезаем, имел незначительное количество отделившегося прозрачного бульона; Б2 обладал плотной консистенцией, был хорошо нарезаем при незначительном отделении бульона; Б3 имел плотную и жесткую структуру, при нарезании был рыхлым, крупитчатым, без отделения бульона. По указанным показателям наиболее приемлемым посчитали образец Б2 несмотря на наличие синерезиса. Этого недостатка можно избежать при фасовании в полиамидную оболочку, при этом отделившийся бульон будет включаться в структуру продукта в процессе охлаждения при перемешивании путем барботирования. Образец Б1 можно считать приемлемым вариантом при получении текстуры типа суфле.

В группе В образцы В1 и В2 совпали по органолептическим показателям – имели мягкую неупругую консистенцию, сопоставимую с мягким суфле мажущей консистенции, имели незначительную рыхлость, крупитчатость. В3 имел мягковатую, недостаточно упругую консистенцию, был рыхлым и крупитчатым. Все образцы имели текстуру типа суфле от мягкой до плотной консистенции или жесткого крема. После извлечения

из потребительской тары сохраняли форму.

Наиболее перспективным образцом по физико-химическим и органолептическим свойствам был признан образец Б2, содержащий 3% желатина и 0,06% высокомолекулярного хитозана.

При исследовании на перевариваемость пищеварительными ферментами в модельных экспериментах было показано, что образование низкомолекулярных белковых компонентов после последовательного переваривания пепсином и трипсином образцов, полученных в присутствии МТГ и без нее, было практически одинаковым.

Суммарное накопление переваренного белка составило от 0,38 до 0,56% от массы образца. Это позволяет говорить о том, что полученные продукты сохраняют хорошую усвояемость в желудочно-кишечном тракте. Общая биологическая ценность образцов при изучении их влияния на рост тест-культуры инфузории *Tetrahymena pyriformis* составила от 78 до 134% по отношению к контролю (гидролизату коллагена). Самый высокий показатель получен для образца А2, содержащего фарш макруруса, желатин и МТГ.

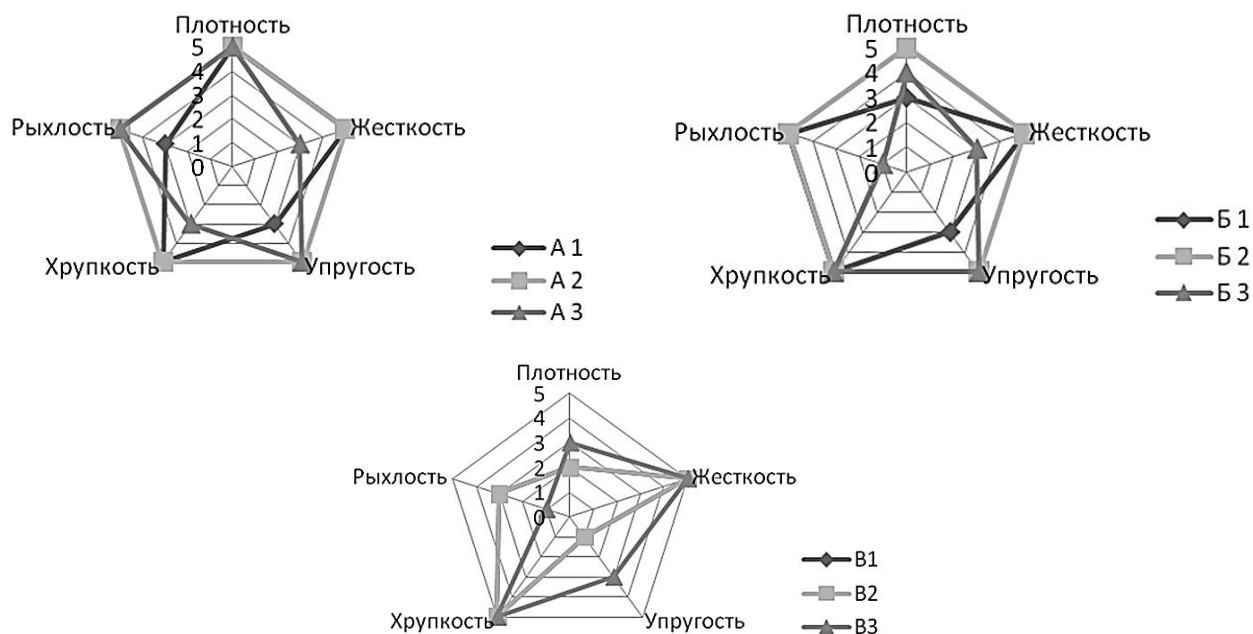


Рис. 4. Органолептические профили реструктурированных рыбных продуктов по групповому дескриптору «консистенция» (B1 и B3 совпадают)

Fig. 4. Organoleptic profiles of restructured fish products by group descriptor «consistency» (B1 and B3 are the same)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования по воздействию МТГ на формирование гелей из мышечной ткани макруруса малоглазого в присутствии желатина и хитозанов различной модификации – структурообразователей и потенциальных субстратов МТГ, образующих межбелковые ковалентные сшивки. Получены косвенные доказательства протекания ферментативной реакции: снижение количества растворимого белка и образование прочных термоустойчивых структур. Исследования показателей, характеризующих технологические качества образцов, подтвердили их соответствие требованиям, предъявляемым к формованной рыбной продукции. Это позволяет рассматривать МТГ в качестве реагента, обеспечивающего структуризацию и эффективное связывание воды в системе, содержащей лабильные мышечные белки макруруса малоглазого, желатина и хитозана.

Выявлены оптимальные концентрации структурообразователей для получения плотных продуктов с упругой консистенцией, хорошо нарезаемых и разжевываемых, с приятным рыбным запахом и вкусом, не вызывающих нежелательных реакций. Исследования влияния на рост и развитие тест-организмов – инфузорий *T. pyriformis*, показали, что ОБЦ образцов сравнима с установленной для полноценных белков. Высокая степень перевариваемости в условиях, моделирующих процессы желудочно-кишечного тракта, свидетельствует о доступности и усвояемости белков после ферментирования МТГ. Таким образом, проведенные экспериментальные работы и полученные данные позволяют дать обоснование условий применения МТГ, желатина и хитозана в технологии формованных продуктов на основе фарша макруруса малоглазого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тупоногов В.Н., Новиков Н.П. Макрурусы – важный резерв глубоководного промысла в дальневосточных морях // Рыбное хозяйство. 2016. N 6. С. 54–60.
2. Crapo C., Himelbloom B., Pfitzenreuter R., Lee C. Causes for soft flesh in giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) filets // Journal of Aquatic Food Product Technology. 1999. Vol. 8. Issue 3. P. 55–68. https://doi.org/10.1300/J030v08n03_05
3. Pivnenko T.N., Karpenko Y.V., Krashchenko V.V., Pozdnyakova Y.M., Esipenko R.V. Biochemical factors affecting the quality of products and the technology of processing deep-sea fish, the giant grenadier *Albatrossia pectoralis* // Journal of Ocean University of China. 2020. Vol.19. Issue 3. P. 681–690. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-4273-z>
4. Карпенко Ю.В. Кращенко В.В., Пивненко Т.Н. Обоснование технологии обогащенных белком желированных рыбных продуктов из макруруса малоглазого // Технология и товаро-ведение инновационных пищевых продуктов. 2019. N 5 (58). С. 39–45.
5. Karaulova E.P., Yakush E.V. The comparative study of myofibrillar proteins of skeletal muscles of some deep-sea fish species. // Journal of Fisheries Sciences. 2017. Vol. 11. Issue 2. P. 001–008.
6. Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., et al. How muscle structure and composition influence meat and flesh // The Scientific World Journal. 2016. Vol. 2016. Article ID 3182746. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
7. Schrieber R., Gareis H. *Gelatine handbook. Theory and industrial practice*. Wiley-VCH. 2007. 350 p. <https://doi.org/10.1002/9783527610969.fmatter>
8. Benjakul S., Phatcharat S., Tammattina A., Visessanguan W., Kishimura H. Improvement of gelling properties of lizardfish mince as influenced by microbial transglutaminase and fish freshness // Journal of Food Science. 2008. Vol. 73. Issue 6. P. S239–S246. <https://doi.org/10.1111/j.17454514.2003.tb00266.x>
9. Gómez-Guillén M.C., Montero P., Solas M.T., Pérez-Mateos M. Effect of chitosan and microbial transglutaminase on the gel forming ability of horse mackerel (*Trachurus* spp.) muscle under high pressure // Food Research International. 2005. Vol. 38. Issue 1. P. 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.09.004>
10. Малинкина О.Н., Гегель Н.О., Шиповская А.Б. Влияние изоформы аскорбиновой кислоты на гидродинамическое поведение макромолекул аскорбата хитозана в водных растворах // Известия Саратовского университета. Серия: Химия. Биология. Экология. 2019. Т.19, N.2. С. 152–164. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-152-164>
11. Cochón A.C., Miño L.A., San Martín de Vi L.C. Early increases in transglutaminase activity and polyamine levels in a Mallory-Denk body mouse model // Toxicology Letters. 2010. Vol.199. Issue 2. P. 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.08.018>
12. Покровский А.А., Ертанов И.Д. Атакуемость белков пищевых продуктов протеолитическими ферментами *in vitro* // Вопросы питания. 1965. N 3. С. 38–44.
13. Wheatley D.N., Rasmussen L., Tiedtke A. Tetrahymena: a model for growth, cell cycle and nutritional studies with biotechnological potential // BioEssays. 1994. Vol.16. Issue 5. P. 367–371. <https://doi.org/10.1002/bies.950160512>
14. Motoki M., Seguro K. Transglutaminase and its use for food processing // Trends in Food Science & Technology. 1998. Vol. 9. Issue 5. P. 204–210. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00038-7)
15. Борисенко А.А. Молекулярное прогнозирование гидратационной способности пищевых биополимеров // Вестник АПК Ставрополя. 2016. N 3 (23). С.10–14.
16. Гафуров Ю.М. Хитозан: свойства, опыт применения. Владивосток: Дальнаука. 2011. 136 с.
17. Кращенко В.В., Карпенко Ю.В. Влияние бинарного структурообразователя на свойства рыбных студней // Известия ТИНРО. 2014. Т. 179. С. 272–278. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-179-272>
18. Ahmmed A.M., Kuroda R., Kawahara S., Ohta K., Nakade K., Aoki T., et al. Dependence of microbial transglutaminase on meat type in myofibrillar proteins cross-linking // Food Chemistry. 2009. Vol.112. Issue 2. P. 354–361. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.078>
19. Barbosa-Cánovas G.V., Fontana A.J., Schmidt S.J., Labuza T.P. (eds.). Water activity in foods: fundamentals and applications. Blackwell Publishing. 2008. 440 p. <https://doi.org/10.1002/9780470376454>

REFERENCES

1. Tuponogov VN, Novikov NP. Grenadier as an important reserve of Far Eastern deep-sea fisheries. *Rybnoe khozyaistvo = Fisheries*. 2016;6:54–60. (In Russian)
2. Crapo C, Himelbloom B, Pfitzenreuter R, Lee C. Causes for soft flesh in giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) filets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 1999;8(3):55–68. https://doi.org/10.1300/J030v08n03_05
3. Pivnenko TN., Karpenko YV, Krashchenko VV, Pozdnyakova YM, Esipenko RV. Biochemical factors affecting the quality of products and the technology of processing deep-sea fish, the giant grenadier *Albatrossia pectoralis*. *Journal of Ocean University of China*. 2020;19(3):681–690. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-4273-z>
4. Karpenko YV, Krashchenko VV, Pivnenko TN. Basing of technology of gelled fish products from giant grenadier enriched by a protein. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh*

pishchevykh produktov = Technology and merchandising of the innovative foodstuffs. 2019;5:39–45. (In Russian)

5. Karaulova EP, Yakush EV. The comparative study of myofibrillar proteins of skeletal muscles of some deep-sea fish species. *Journal of Fisheries Sciences.* 2017;11(2):001–008.

6. Listrat A, Lebret B, Louveau I, Astruc T, Bonnet M, Lefaucheur L, et al. How muscle structure and composition influence meat and flesh. *The Scientific World Journal.* 2016;2016. Article ID 3182746. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>

7. Schrieber R, Gareis H. *Gelatine handbook. Theory and industrial practice.* Wiley-VCH; 2007. 350 p. <https://doi.org/10.1002/9783527610969.fmatter>

8. Benjakul S, Phatcharat S, Tammattinna A, Visessanguan W, Kishimura H. Improvement of gelling properties of lizardfish mince as influenced by microbial transglutaminase and fish freshness. *Journal of Food Science.* 2008;73(6):S239–S246. <https://doi.org/10.1111/j.17454514.2003.tb00266.x>

9. Gómez-Guillén MC, Montero P, Solas MT, Pérez-Mateos M. Effect of chitosan and microbial transglutaminase on the gel forming ability of horse mackerel (*Trachurus* spp.) muscle under high pressure. *Food Research International.* 2005;38(1):103–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.09.004>

10. Malinkina ON, Gegel NO, Shipovskaya AB. Influence of ascorbic acid isoforms on the hydrodynamic behavior of chitosan ascorbate macromolecules in aqueous solution. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya = Izvestiya of Saratov University. Series: Chemistry. Biology. Ecology.* 2019;19(2):152–164. (In Russian) <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-152-164>

11. Cochón AC, Miño LA, San Martín de Vi LC.

Early increases in transglutaminase activity and polyamine levels in a Mallory-Denk body mouse model. *Toxicology Letters.* 2010;199(2):160–165. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.08.018>

12. Pokrovskii AA, Ertanov ID. Attackability of food proteins by proteolytic enzymes *in vitro*. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition.* 1965;3:38–44. (In Russian)

13. Wheatley DN, Rasmussen L, Tiedtke A. Tetrahymena: a model for growth, cell cycle and nutritional studies with biotechnological potential. *BioEssays.* 1994;16(5):367–371. <https://doi.org/10.1002/bies.950160512>

14. Motoki M, Seguro K. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science & Technology.* 1998;9(5):204–210. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00038-7)

15. Borisenko AA. Molecular prediction of hydration ability of food biopolymers. *Vestnik APK Stavropol'ya = Agricultural Bulletin of Stavropol Region.* 2016;3:10–14. (In Russian)

16. Gafurov YuM. *Chitozan: properties, practical using.* Vladivostok: Dal'nauka; 2011. 136 p. (In Russian)

17. Krashchenko VV, Karpenko YuV. Effect of binary builder on properties of fish jellies. *Izvestiya TINRO.* 2014;179:272–278. (In Russian) <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-179-272-278>

18. Ahmed AM, Kuroda R, Kawahara S, Ohta K, Nakade K, Aoki T, et al. Dependence of microbial transglutaminase on meat type in myofibrillar proteins cross-linking. *Food Chemistry.* 2009;112(2):354–361. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.078>

19. Barbosa-Cánovas GV, Fontana AJ, Schmidt SJ, Labuza TP (eds.). *Water activity in foods: fundamentals and applications.* Blackwell Publishing; 2008. 440 p. <https://doi.org/10.1002/9780470376454>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пивненко Татьяна Николаевна,
д.б.н., профессор, профессор кафедры
пищевой биотехнологии,
Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,
Российская Федерация,
✉ e-mail: tnpivnenko@mail.ru

Карпенко Юлия Валериевна,
к.т.н., ассистент кафедры
пищевой биотехнологии,
Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,
Российская Федерация,
e-mail: bozhuk@mail.ru

Позднякова Юлия Михайловна,
к.т.н., директор НИИ инновационных
биотехнологий,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatiana N. Pivnenko,
Dr. Sci. (Biology), Professor,
Food Biotechnology Department,
Far Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
✉ e-mail: tnpivnenko@mail.ru

Yulia V. Karpenko,
Cand. Sci. (Engineering), Assistant,
Food Biotechnology Department,
Far Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
e-mail: bozhuk@mail.ru

Yuliya M. Pozdnyakova,
Cand. Sci. (Engineering),
Director of SRI «Innovative Biotechnologies»,

Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,
Российская Федерация,
e-mail: pozdnyakova.julia@yandex.ru

Кращенко Виктория Владимировна,
к.т.н., доцент, заведующая кафедрой
пищевой биотехнологии,
Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,
Российская Федерация,
e-mail: victoriy_vl@mail.ru

Есипенко Роман Владимирович,
к.т.н., младший научный сотрудник
Научно-инновационного центра
«Морские биотехнологии»,
Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,
Российская Федерация,
e-mail: festfu@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 23.10.2020.
Одобрена после рецензирования 14.01.2021.
Принята к публикации 31.05.2021.*

Far Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
e-mail: pozdnyakova.julia@yandex.ru

Viktoriya V. Kraschenko,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Head of the Food Biotechnology Department,
Far Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
e-mail: victoriy_vl@mail.ru

Roman V. Esipenko,
Cand. Sci. (Engineering), Junior Researcher,
Research Innovation Center
«Marine Biotechnology»,
Far Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
e-mail: festfu@mail.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*The article was submitted 23.10.2020.
Approved after reviewing 14.01.2021.
Accepted for publication 31.05.2021.*