

Научная статья

УДК 664.951.81+595.383.1+639.28

DOI 10.46845/1997-3071-2025-79-71-83

Исследование влияния промывки фарша электрохимически активированным раствором хлорида натрия и вида используемого эмульгатора на качество рыбных полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром

Анатолий Владимирович Андрюхин¹, Михаил Леонидович Винокур²✉, Владислав Артурович Галдукевич³, Илья Олегович Морозов⁴

^{1,2,3,4} Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

¹ andryukhin@atlant.vniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

² vinokur@atlantniro.ru✉, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

³ v.galdukevich@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0622-5935>

⁴ morozov@atlant.vniro.ru

Аннотация. Пенетрационным и органолептическим методами установлены структурно-механические характеристики фарша, промытого ЭХА-раствором, после его обогащения предварительно эмульгированным крилевым жиром. Приведены сравнительные данные по потерям каротиноидов при термической обработке формованной пищевой продукции из промытого фарша для эмульсий крилевого жира на основе казеината натрия (КЭ), лецитина (ЛЭ) и их композиции (КЛЭ). Исследование образцов после варки выявило, что в результате термической обработки снижение потерь каротиноидов наблюдается во всех образцах, при этом наилучший эффект был достигнут для КЭ, где потери снижаются на 9,6 % в случае с непромытым фаршем и на 11,3 % в случае с фаршем, промытым ЭХА-раствором. Наиболее высокое значение предельного напряжения сдвига (ПНС) до замораживания отмечено для полуфабрикатов из фаршей, промытых ЭХА-раствором с внесением КЭ (6950 Па), однако при этом отмечалась достаточно крошливая консистенция. Наилучшее соотношение реологических и органолептических характеристик до замораживания наблюдалось в промытых фаршах с добавлением КЛЭ, при этом значение ПНС фарша, промытого ЭХА-раствором, составило 5000 Па, что превышало более чем в 2 раза аналогичный показатель в образцах непромытого фарша (2350 Па). После размораживания использование КЛЭ позволило сохранить необходимый уровень органолептических показателей сырых изделий – пластичность и отсутствие рассыпчатой структуры. Сделано предположение о том, что казеинат натрия, по всей видимости, способствует формированию устойчивых, достаточно вязких эмульсионных структур, у которых белковые оболочки масляных капель сами способны кополимеризоваться или механически переплетаться с основной миозиновой белковой сетью.

© Андрюхин А. В., Винокур М. Л., Галдукевич В. А., Морозов И. О., 2025

Ключевые слова: крилевый жир, каротиноиды, предельное напряжение сдвига, астаксантин, электрохимически активированный раствор, казеинат натрия, лецитин.

Для цитирования: Андриухин А. В., Винокур М. Л., Галдукевич В. А., Морозов И. О. Исследование влияния промывки фарша электрохимически активированным раствором хлорида натрия и вида используемого эмульгатора на качество рыбных полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром // Известия КГТУ. 2025. № 79. С. 71–83. DOI 10.46845/1997-3071-2025-79-71-83.

Original article

Study of the efficiency of washing minced fish with an electrically activated sodium chloride solution and the type of emulsifiers on the quality of fish semi-finished products enriched with krill oil

Anatoliy V. Andryukhin¹, Mikhail L. Vinokur²✉, Vladislav A. Galdukevich³, Il'ya O. Morozov⁴

^{1,2,3,4}Atlantic branch of Research Institute of Fisheries and Oceanography («AtlantNIRO»), Kaliningrad, Russia

¹ andryukhin@atlant.vniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

² vinokur@atlantniro.ru✉, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

³ v.galdukevich@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0622-5935>

⁴ morozov@atlant.vniro.ru

Abstract. The structural and mechanical characteristics of minced fish washed with an electrically activated sodium chloride solution after its enrichment with pre-emulsified krill oil have been determined using penetration and organoleptic methods. Comparative data are presented on carotenoid losses during heat treatment of molded food products from washed minced fish for krill oil emulsions based on sodium caseinate (CE), lecithin (LE) and their composition (CLE). The study of samples after cooking has showed that as a result of heat treatment, a decrease in carotenoid losses is observed in all samples, with the best effect achieved for CE. The highest value of the yield stress (YS) before freezing has been noted for semi-finished products made from minced fish washed with an electrically activated solution with the addition of CE (6950 Pa), however, a rather crumbly consistency has been noted. The best ratio of rheological and organoleptic characteristics before freezing has been observed in washed minced fish with the addition of CLE, while the YS of minced fish washed with an electrically activated solution is 5000 Pa, which is more than 2 times higher than the same indicator in samples of unwashed minced fish (2350 Pa). After defrosting, the use of CLE allowed maintaining the required level of organoleptic characteristics of raw products: plasticity and the absence of a crumbly structure. It has been suggested that sodium caseinate apparently promotes the formation of stable, fairly viscous emulsion structures in which the protein shells of oil droplets themselves are capable of copolymerizing or mechanically intertwining with the main myosin protein network.

Keywords: krill oil, carotenoids, yield stress, electrochemical activated solute, minced fish, sodium caseinate, lecithin.

For citation: Andriukhin A. V., Vinokur M. L., Galdukevich V. A., Morozov I. O. Study of the efficiency of washing minced fish with an electrically activated sodium chloride solution and the type of emulsifiers on the quality of fish semi-finished products enriched with krill oil. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(79): 71–83. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-79-71-83.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день по критерию целевого назначения можно выделить следующие наиболее крупные сегменты мирового рынка крилевого жира: биологически активные добавки (препараты биологически активных добавок), употребляемые отдельно (не в составе пищевых продуктов) в виде капсул, таблеток или некапсулированных жидкостей; компоненты кормов для животных; компоненты пищевых продуктов; компоненты лекарств. При этом, несмотря на то, что около 70,2 % приходится на долю препаратов биологически активных добавок, следует отметить, что рост рынка, прогнозируемый до 2032 г., будет обусловлен также развитием трех других сегментов, занимающих приблизительно равные доли. Чтобы обеспечить более высокий потенциал продаж крилевого жира, в том числе в составе различных рыбных продуктов, ключевые предприятия строят свою политику на расширении линейки продуктов на основе фарша сурими или непромытого фарша тощих рыб [1–4].

Проведенные ранее исследования по разработке рецептур полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром, показали, что использование гидроколлоидов позволяет значительно снизить потери каротиноидов при термической обработке формованной продукции, обогащенной крилевым жиром [5, 6]. В настоящей статье будет рассмотрена возможность совершенствования технологии формованной рыбной продукции посредством улучшения функционально-технологических свойств фаршей и предварительного эмульсионного структурирования крилевого жира.

Имеются исследования, которые показывают, что для улучшения функциональных свойств фаршей эффективным может быть применение ЭХА-растворов, выступающих в качестве криопротекторов [7]. Л. В. Антиповой с соавторами сделан вывод о том, что использование слабощелочного католита из сыворотки крови способствует росту предельного напряжения сдвига, показателей вязкости и функционально-технологических свойств говяжье-свиного фарша. По мнению авторов, добавление католита со щелочным рН предположительно способствует формированию дисперсной системы с более развитой удельной поверхностью как жировых капель, так и глобулярных белковых образований, что в свою очередь приводит в итоге к увеличению числа формируемых коагуляционных связей и улучшению реологии фарша. Этим же эффектом, а также достаточной заряженностью белковых молекул обусловлено изменение влагосвязывающей способности этого же фарша после промывки анолитом [8]. Вышеуказанное объяснение в принципе не противоречит модели формирования структуры, предложенной для промытых рыбных фаршей и учитывающей роль ионов электролитов в процессе многоуровневого образования кластеров из молекул миозина.

Как показали результаты предварительных экспериментов со слабощелочным анолитом, приготовленным посредством электролиза хлорида натрия, при промывке им фарша тресковых рыб и улучшении влагоудерживающей способно-

сти к механическим нагрузкам и нагреванию у последних наблюдается такой недостаток, как значительное ухудшение пластичности вплоть до появления крошливости.

При обогащении такого фарша липидами особый интерес представляет рассмотрение возможности использования лецитина и казеината натрия как пищевых компонентов, обладающих одновременно пластифицирующими и эмульгирующими свойствами. В работах Сюэи Чжун [9] отмечается также синергетическое действие указанных компонентов с точки зрения стабильности образуемых ими эмульсий. Показано, что смесь казеината натрия и лецитина приводит к образованию капель эмульсий, которые значительно мельче и распределяются более компактно, чем при использовании только казеината натрия или лецитина. При этом другими исследователями отмечается повышенная способность фосфолипидов и белков образовывать стабильные коллоидные структуры через взаимодействие друг с другом, обусловленное образованием водородных связей и гидрофобных сил [10, 11].

Таким образом, перспективным направлением развития технологии формирования полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром, может быть применение промывания фаршевых систем ЭХА-раствором хлорида натрия (далее ЭХА-раствором) совместно с предварительным структурированием фосфолипидами и казеинатом натрия в качестве со-эмульгаторов и структурообразующих агентов.

Целью настоящей статьи является установление влияния вида эмульгатора на казеиново-лецитиновой основе и промывки анолитом из электрически активированного раствора хлорида натрия на реологические свойства и степень потерь каротиноидов в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром при их термической обработке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования явился непромытый и промытый ЭХА-растворами фарш из тощей рыбы (треска атлантическая – *Gadus morhua*), полученный измельчением мышечной ткани. В промытый и непромытый фарши вносили пищевую соль в количестве 1,5 %. Использовался крилевый жир, произведенный норвежской компанией Aker BioMarine. Как показали результаты предварительных исследований, содержание каротиноидов в пересчете на астаксантин составило 198 мкг/г. По показателям значений кислотного (0,3 мг КОН/г жира) и перекисного чисел (0,5 мэкв акт кислорода/кг жира) крилевый жир соответствовал требованиям ТР ТС 021/2011.

Рыбный фарш подвергали промывке ЭХА-раствором (нейтральный анолит), приготовленным на установке СТЭЛ-40 при силе тока 10–12 А и pH 7,3–7,9 из подсолонной (5–9 г NaCl) на 1 л питьевой воды в течение 10 мин при соотношении фарша и воды 1:3. Концентрацию активного хлора C_{ax} (мг/л) определяли согласно рекомендациям по применению дезинфицирующего раствора «Нейтральный анолит АНК», вырабатываемого на установках типа СТЭЛ [12]. Значение C_{ax} составило 100 мг/л.

Для приготовления эмульсии были использованы казеинат натрия (ГОСТ 33920), вносимый в виде 4 %-го раствора, лецитин подсолнечный (ГОСТ 32052), композиции вышеуказанных компонентов.

Крилевый жир вносили в рыбный фарш в виде эмульсии с лецитином, казеином натрия и их композицией. Для получения эмульсии и фаршевых смесей в течение 10 мин использовали перемешивающее устройство лопастного типа – кухонный блендер (РНВ 1467 AL, погружной блендер Polaris), снабженный соответствующей насадкой. Рыбные шарики формовали вручную с весом одного шарика 8–10 г. Количество вносимой эмульсии крилевого жира составляло 5 % от массы полуфабриката и было рассчитано исходя из суточной потребности в астаксантине (4 мг).

Рыбные формованные полуфабрикаты замораживали воздушным способом в стеллажном морозильном аппарате при температуре минус 36 °С и глазировали посредством погружения в воду при 0 °С. Образцы размораживали и подвергали кулинарной обработке на пару в пароварке в течение 10 мин. Перед последующими исследованиями полуфабрикаты обтирали и протирали сверху бумажной салфеткой.

Реологические свойства сырых рыбных полуфабрикатов оценивали по предельному напряжению сдвига (ПНС). В качестве реометра применялся пенетрометр (типа КП-3) с константой конуса с углом при вершине 60°, $K = 2,14$ Н/кг. Методика определения числа пенетрации и ПНС основана на измерении погружения конуса при действии постоянной нагрузки в течение 180 сек в специально подготовленный образец.

По полученным данным глубины погружения определяли величину ПНС по формуле (1):

$$Q = \frac{k \times m}{h^2}, \quad (1)$$

где Q – предельное напряжение сдвига, Па; m – действительная величина нагрузки, кг; h – глубина погружения конуса, м; k – константа конуса с углом при вершине 60°, $k = 2,14$ Н / кг.

Содержание каротиноидов в пересчете на астаксантин определяли спектрофотометрически. Для этого 0,10–0,50 г жира растворяли в 25 мл гексана и вычисляли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 470 нм, калибровку проводили с использованием стандарта астаксантина. Выделение жира из исследуемых образцов рыбных формованных полуфабрикатов осуществляли бинарной смесью хлороформа и этилового спирта после предварительного высушивания сульфатом натрия. Соотношение спирта к хлороформу в бинарной смеси составляло 1:2.

Органолептическую оценку проводили в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 6658 описательным методом, включающим следующие характеристики: формуемость (способность приобретать форму под действием приложенного давления), липкость (способность к адгезии), рассыпчатость / крошливость, пластичность (способность изменять и сохранять форму в результате деформации).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование реологических свойств формованных изделий выявило значительное увеличение прочностных свойств полуфабрикатов в результате промывания ЭХА-раствором, выраженное в увеличении значения ПНС. Так, ПНС для непромытого фарша без добавок составляло 4050 Па, после промывки – 6200 Па. Таким образом, образцы продукции, промытые ЭХА-раствором, становились более

плотными, что, вероятно, связано с уменьшением фракции водорастворимых белков, которая была отмечена в более ранних работах [7], однако там также наблюдалось снижение способности фарша к формованию. Одновременно после промывки ухудшались органолептические характеристики полуфабрикатов, в частности, промывка фарша приводила к появлению в продукте «крошливой» консистенции.

Наиболее высокое значение ПНС до замораживания отмечено для полуфабрикатов из фаршей, промытых ЭХА-раствором с внесением КЭ (6950 Па). Внесение ЛЭ в рецептуру привело к снижению ПНС, при этом фаршевая смесь становилась более пластичной. Данный факт, вероятно, связан с тем, что фосфолипиды, обладая амфифильной природой, при механическом воздействии (перемешивании) способствуют эмульгированию, что приводит к вторичному структурообразованию, в котором они, выступая в качестве связующей среды, способствуют уменьшению величины ПНС и повышению пластичности [13].

Наилучшее соотношение реологических и органолептических характеристик до замораживания наблюдалось в промытых фаршах с добавлением КЛЭ, при этом значение ПНС фарша, промытого ЭХА-раствором, составило 5000 Па, что превышало более чем в 2 раза аналогичный показатель в образцах непромытого фарша (2350 Па). У образцов отмечалась некрошливая пластичная консистенция.

После размораживания значение ПНС всех образцов существенно снизилось, причем наиболее заметное снижение произошло в образцах с добавлением 20 % лецитина и казеина (47,0 % и 49,0 % для образцов из промытого и непромытого фарша соответственно), что, вероятно, связано с частичным разрушением эмульсий кристаллами льда.

В целом, как показали полученные результаты проведенных исследований, промывка ЭХА-раствором позволяет сохранить значение ПНС на более высоком уровне относительно непромытых образцов и, как следствие, плотную структуру формованных полуфабрикатов.

Добавление смеси лецитина и казеината натрия позволило после размораживания сохранить необходимые органолептические показатели, пластичность, отсутствие рассыпчатой структуры, в то время как полуфабрикаты из промытого фарша без добавления эмульгаторов характеризовались крошливой консистенцией, а после внесения КЭ становились ломкими.

Исследование образцов после варки выявило, что в результате термической обработки во всех образцах происходит снижение потерь каротиноидов в сравнении с ранее полученными результатами (более 60 %) [5], при этом наилучший эффект был достигнут при использовании КЭ.

Таблица 1. Результаты исследования предельного напряжения сдвига и органолептических характеристик сырых рыбных полуфабрикатов
Table 1. Results of the study of the yield stress and organoleptic characteristics of raw semi-final products

№	Образец	До замораживания		После замораживания (размороженные)	
		Органолептическая характеристика	ПНС, Па	Органолептическая характеристика	ПНС, Па
1	Непромытый фарш	Формуется, не липкий, не рассыпается, непластичный	4050±200	Держит форму, слегка рассыпается при давлении	3200±200
2	Непромытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия (лецитин 0 %)	Формуется, не липкий, слегка рассыпается, пластичный	4650±300	Держит форму, не рассыпается	3850±200
3	Непромытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия + лецитин 20 %	Формуется, не липкий, мягкий («пластилин»), пластичный	2350±150	Держит форму, пластичный, разлом при давлении	1200±100
4	Непромытый фарш + смесь: жир криля + лецитин 20 % (казеинат натрия 0 %)	Формуется, не липкий, мягкий, слегка рассыпается, пластичный	2650±150	Держит форму, пластичный, не рассыпается	1640±100
5	Промытый фарш	Формуется плохо, рассыпается, крошливый	6200±300	Держит форму, плотный, крошливый	3700±200
6	Промытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия (лецитин 0 %)	Формуется, слегка рассыпается, крошливый, непластичный	6950±400	Держит форму, плотный, разлом при давлении	5400±300
7	Промытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия + лецитин 20 %	Формуется, слегка рассыпается, некрошливый, пластичный	5000±300	Держит форму, пластичный, некрошливый	2650±150
8	Промытый фарш + смесь: жир криля + лецитин 20 % (казеинат натрия 0 %)	Формуется, слегка рассыпается, слегка крошливый, пластичный	4750±200	Держит форму, пластичный, некрошливый	4450±200

Внесение крилевого жира или его смеси с лецитином в виде гелеподобной эмульсии казеината натрия, вероятно, позволяет сформировать гелевую структуру, способную равномерно распределяться в свободном пространстве микроструктуры фарша, формируя сеть, где жир в виде капель заполняет пустоты между белковыми молекулами фарша. Казеинат натрия, по все видимости, способствует формированию устойчивых, достаточно вязких эмульсионных структур, у которых белковые

оболочки масляных капель сами способны кополимеризоваться или механически переплетаться с основной миозиновой белковой сетью.

Таблица 2. Влияние промывки ЭХА-раствором, типа используемого эмульгатора на потери каротиноидов и влаги при термической обработке рыбных полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром

Table 2. Effect of washing with electrochemically activated solution and the type of emulsifier used on the loss of carotenoids and moisture during heat treatment of semi-final fish products enriched with krill oil

№	Образец	Потери каротиноидов, %	Потери влаги, %
1	Непромытый фарш	–	8,5±0,4
2	Непромытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия (лецитин 0 %)	18,7±0,3	9,9±0,5
3	Непромытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия + лецитин 20 %	28,3±0,4	10,7±0,6
4	Непромытый фарш + смесь: жир криля + лецитин 20 % (казеинат натрия 0 %)	30,2±0,5	9,0±0,5
5	Промытый фарш	–	7,8±0,4
6	Промытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия (лецитин 0 %)	15,3±0,3	8,8±0,5
7	Промытый фарш + смесь: жир криля + казеинат натрия + лецитин 20 %	26,6±0,4	10,3±0,6
8	Промытый фарш + смесь: жир криля + лецитин 20 % (казеинат натрия 0 %)	28,6±0,4	8,4±0,4

Также отмечено, что максимальные потери каротиноидов (около 30 %) наблюдались в образцах из непромытого фарша с добавлением лецитина в количестве 20 % без казеината натрия, при этом влагосодержание данных образцов снизилось менее значительно относительно образцов с добавлением указанного структурообразователя. В работе Yinyin L. [14] указывается на зависимость между содержанием жира и стойкостью эмульсии, выражаемую в снижении способности эмульгирования при увеличении содержания жира. Предполагается, что в результате повышения доли жировой фракции, вызываемой внесением лецитина, происходит рост размера капель жира эмульсии, в результате чего капли не в состоянии в полной мере заполнить свободное пространство микроструктуры фарша и сформировать прочный белково-липидный каркас, что приводит к потерям жира и, как следствие, каротиноидов. Кроме того, с увеличением жировой фазы могут агрегироваться крупные масляные кластеры, снижающие однородность геля. Также уменьшается степень его химического сродства по отношению к белкам, в том числе обусловленная невысокой стабильностью при термических нагрузках [15]. Таким образом, подтверждается высказанное ранее предположение [5] о том, что потери каротиноидов при варке связаны в значительной степени не с их термической деструкцией, а с отделением масляной (жировой) фазы, в которой растворены каротиноиды.

В образцах полуфабрикатов из промытого ЭХА-раствором фарша наблюдались более низкие потери каротиноидов и влаги во всех исследуемых образцах, что

свидетельствует о более прочном связывании масляной фазы с белками промытого ЭХА-раствором фарша. Данный факт, вероятно, вызван структурными свойствами фарша, промытого ЭХА-раствором, в котором количество пустот между белковыми молекулами фарша превалирует по сравнению с непромытым фаршем ввиду более низкого содержания водорастворимых белков, теряемых в результате промывки, и, соответственно, формирования новой микроструктуры фарша, отличной от исходной, характеризующейся большей неоднородностью, которая заполняется эмульгированным жиром с формированием прочного белково-липидного каркаса. Также не исключена роль фактора адгезии солерастворимых белков к масляной фазе, улучшающейся после промывки ЭХА-раствором.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что внесение казеината натрия способствует снижению потери каротиноидов и влаги относительно полуфабрикатов с лецитином, что, вероятно, связано с эффектом удерживания свободной воды за счет образования белково-жировой эмульсии гелеобразного типа. Кроме того, повышение сохранности каротиноидов на 9,6 % в случае с непромытым фаршем и на 11,3 % в случае с фаршем, промытым ЭХА-раствором, вызвано структурой жира, вносимого в виде эмульсии. Данное предположение подтверждается тем, что в фарше, промытом ЭХА-раствором, сохранность жировой фракции выше, это достигается за счет наличия больших пустот в микроструктуре, в которых более крупные капли жировой фракции распределяются легче, чем в непромытом фарше.

ВЫВОДЫ

Внесение фосфолипидов и казеината натрия совместно с предварительным промыванием фарша ЭХА-раствором позволяет сохранить необходимые реологические и органолептические показатели формованной пищевой рыбной продукции (полуфабрикатов) из трески с добавлением крилевого жира. Комбинации добавок, включающие лецитин, проявляли пластифицирующий эффект, что выражалось в снижении ПНС сырых образцов от 6950 ± 400 Па до значений менее 5000 Па. Промывка фарша ЭХА-раствором позволяет сохранить прочность продукта, которая снижается в результате замораживания и последующего размораживания полуфабрикатов для дальнейшей кулинарной обработки, а совместное комбинирование фосфолипидов и казеината натрия в процессе формования полуфабрикатов придает продукту пластичную, некрошливую консистенцию.

Использование казеината натрия в качестве эмульгатора приводит к снижению потери каротиноидов и влаги в процессе термической обработки за счет формирования жиросодержащего гелевого каркаса, способного эффективно связываться с микроструктурой фарша. Максимальные потери каротиноидов (около 30 %) наблюдались в образцах из непромытого фарша с добавлением лецитина в количестве 20 % без казеината натрия. Разница в потерях влаги между образцами была гораздо менее значительной и колебалась в пределах 8–11 % от ее начального содержания.

Промывка фарша ЭХА-раствором позволяет образовать микроструктуру, формирующую прочный белково-липидный каркас, возникающий за счет неоднородности и размера пустот, которые позволяют в более полной мере распределять капли жировой фракции.

Список источников

1. Андрюхин, А. В. Совершенствование технологии комплексной переработки антарктического криля (*Euphausia superba*) / А. В. Андрюхин, М. П. Андреев, В. А. Галдукевич. – DOI: 10.46845/1997-3071-2022-64-67-80 // Известия КГТУ. – 2022. – № 64. – С. 67–80.
2. Kwantes, J. M. Brief review of krill oil history, research, and the commercial market / J. M. Kwantes, O. A. Grundmann. – DOI: 10.3109/19390211.2014.902000 // Journal of Dietary Supplements. – 2015. – Vol. 12, № 1. – P. 23–25.
3. Cappell, I. R. Research funding and economic aspects of the Antarctic krill fishery / I. R. Cappell, G. MacFadyen, A. Constable. – DOI:10.1016/j.marpol.2022.105200 // Mar. Policy. – 2022. – Vol. 143. – P. 105200.
4. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: a comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications / Dan Xie, Mengyue Gong, Wei Wei [et al.]. – DOI: 10.1111/1541-4337.12427 // Comprehensive Reviews in food science and food safety. – 2019. – Vol. 18, № 2. – P. 514–534.
5. Использование пищевых добавок для снижения потерь каротиноидов в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром / М. Л. Винокур, А. В. Андрюхин, В. А. Галдукевич [и др.]. – DOI: 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105 // Известия КГТУ. – 2024. – № 74. – С. 92–105.
6. О проблемах потерь при термической обработке формованных полуфабрикатов, обогащенных жиром антарктического криля / И. О. Морозов, В. А. Галдукевич, М. Л. Винокур, А. В. Андрюхин // Материалы I Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития» (28–29 марта 2023 г., Москва) / ФГБНУ «ВНИРО». – Москва: Изд-во ФГБНУ «ВНИРО», 2023. – С. 363–367.
7. Андреев, М. П. Характеристика фарша балтийской трески (*Gadus Morhua Callarias*), промытого электрохимически активированной водой с различной концентрацией ионов активного хлора / М. П. Андреев, В. А. Галдукевич. – DOI: 10.20914/2310-1202-2020-1-117-123 // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 1 (83). – С. 117–123.
8. Физическая модель образования коагуляционных контактов в фарше с добавкой электрохимически активированной плазмы крови / Л. В. Антипова, С. А. Титов, Н. М. Ильина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2011. – № 1 (319). – С. 10–12.
9. Xue, J. Thyme oil nanoemulsions coemulsified by sodium caseinate and lecithin / J. Xue, Q. Zhong. – DOI: 10.1021/jf5034366 // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2014. – Vol. 62. – P. 9900–9907.
10. Edible Pickering emulsion stabilized by protein fibrils: Part 2. Effect of dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC) / Z. Gao, Y. Huang, X. Yao [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.03.028 // Food hydrocolloids. – 2017. – Vol. 71. – P. 245–251.
11. Heat Deterioration of Phospholipids. II. Isolation and Identification of New Thermally Deteriorated Products from Soybean Lecithin / R. Sono, S. Sakamoto, N. Hamaguchi [et al.]. – DOI: 10.5650/jos.51.191 // Journal of Oleo Science. – 2002. – Vol. 51 (3). – P. 191–202.

12. Методические указания по применению нейтрального анолита АНК, вырабатываемого в установке СТЭЛ-10Н-120-01, для целей дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации. – Москва, 1997. – 16 с.

13. Дубинец, Е. А. Реология: конспект лекций / Е. А. Дубинец. – Керчь: Изд-во ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2020. – 82 с.

14. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil high internal phase emulsions improved the lipid quality and gel properties of surimi gel / Yinyin Lv, Xiaosong Sun, Hui Jia [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136352 // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 423. – P. 136352.

15. Physicochemical and emulsifying properties of mussel water-soluble proteins as affected by lecithin concentration / H. Zou, N. Zhao, S. Li [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.225 // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 163. – P. 180–189.

References

1. Andryukhin, A. V. Improving the technology of antarctic krill (*Euphausia superba*) complex processing / A. V. Andryukhin, M. P. Andreev, V. A. Galdukevich. – DOI: 10.46845/1997-3071-2022-64-67-80 // KSTU News. – 2022. – № 64. – P. 67–80.

2. Kwantes, J. M. Brief review of krill oil history, research, and the commercial market / J. M. Kwantes, O. A. Grundmann. – DOI: 10.3109/19390211.2014.902000 // Journal of Dietary Supplements. – 2015. – Vol. 12, № 1. – P. 23–25.

3. Cappell, I. R. Research funding and economic aspects of the Antarctic krill fishery / I. R. Cappell, G. MacFadyen, A. Constable. – DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105200 // Mar. Policy. – 2022. – Vol. 143. – P. 105200.

4. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: a comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications / Dan Xie, Mengyue Gong, Wei Wei [et al.]. – DOI: 10.1111/1541-4337.12427 // Comprehensive Reviews in food science and food safety. – 2019. – Vol. 18, № 2. – P. 514–534.

5. Use of food additives to reduce carotenoid losses in semi-finished fish products enriched with krill oil / M. L. Vinokur, A. V. Andryukhin, V. A. Galdukevich [et al.]. – DOI: 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105 // KSTU News. – 2024. – № 74. – P. 92–105.

6. On the problems of losses during heat treatment of molded semi-finished products enriched with Antarctic krill oil / I. O. Morozov, V. A. Galdukevich, M. L. Vinokur, A. V. Andryukhin // Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference "Fisheries Complex of Russia: Problems and Development Prospects" (March 28-29, 2023, Moscow) / Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography "VNIRO". – Moscow: Publishing house of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography "VNIRO", 2023. – P. 363–367.

7. Andreev, M. P. Characteristics of Baltic cod mince (*Gadus Morhua* Callarias) washed with electrochemically activated water with different concentrations of active chlorine ions / M. P. Andreev, V. A. Galdukevich. – DOI: 10.20914/2310-1202-2020-1-117-123 // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2020. – Vol. 82, № 1 (83). – P. 117–123.

8. Physical model of formation of coagulation contacts in mince with addition of electrochemically activated blood plasma / L. V. Antipova, S. A. Titov, N. M. Ilyina [et

al.] // News of higher educational institutions. Food technology. – 2011. – № 1 (319). – P. 10–12.

9. Xue, J. Thyme oil nanoemulsions coemulsified by sodium caseinate and lecithin / J. Xue, Q. Zhong. – DOI: 10.1021/jf5034366 // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2014. – Vol. 62. – P. 9900–9907.

10. Edible Pickering emulsion stabilized by protein fibrils: Part 2. Effect of dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC) / Z. Gao, Y. Huang, X. Yao [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.03.028 // Food hydrocolloids. – 2017. – Vol. 71. – P. 245–251.

11. Heat Deterioration of Phospholipids. II. Isolation and Identification of New Thermally Deteriorated Products from Soybean Lecithin / R. Sono, S. Sakamoto, N. Hamaguchi [et al.]. – DOI: 10.5650/jos.51.191 // Journal of Oleo Science. – 2002. – Vol. 51 (3). – P. 191–202.

12. Guidelines for the use of neutral anolyte ANK, produced in the STEL-10N-120-01 unit, for the purposes of disinfection, pre-sterilization cleaning and sterilization. – Moscow, 1997. – 16 p.

13. Dubinets, E. A. Rheology: lecture notes / E. A. Dubinets. – Kerch: Publishing house of Kerch State Marine Technological University, 2020. – 82 p.

14. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil high internal phase emulsions improved the lipid quality and gel properties of surimi gel / Yinyin Lv, Xiaosong Sun, Hui Jia [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136352 // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 423. – P. 136352.

15. Physicochemical and emulsifying properties of mussel water-soluble proteins as affected by lecithin concentration / H. Zou, N. Zhao, S. Li [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.225 // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 163. – P. 180–189.

Информация об авторах

А. В. Андрюхин – кандидат технических наук, руководитель центра переработки водных биологических ресурсов, заведующий лабораторией стандартизации и нормирования

М. Л. Винокур – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории стандартизации и нормирования, доцент кафедры технологии продуктов питания

В. А. Галдукевич – кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования

И. О. Морозов – кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования

Information about the authors

A. V. Andriukhin – Candidate of Technical sciences, Head of the Center for Processing Aquatic Biological Resources, Head of the laboratory of standardization and regulation

M. L. Vinokur – Candidate of Technical sciences, Head researcher of the laboratory of standardization and regulation, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

V. A. Galdukevich – Candidate of Technical sciences, Leading engineer at the laboratory of standardization and regulation

I. O. Morozov – Candidate of Technical sciences, Leading engineer of the laboratory of standardization and regulation

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.08.2025; одобрена после рецензирования 27.08.2025; принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 25.08.2025; approved after reviewing 27.08.2025; accepted for publication 01.09.2025.