

Научная статья

УДК 664.951.81+595.383.1+639.28

DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105

Использование пищевых добавок для снижения потерь каротиноидов в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром

Михаил Леонидович Винокур¹, Анатолий Владимирович Андриухин², Владислав Артурович Галдукевич³, Илья Олегович Морозов⁴, Наталья Вадимовна Шадрина⁵

^{1,2,3,4,5} Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

¹lmv@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

²fishtech@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

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

⁴shkval@atlantniro.ru

⁵shadrina@atlantniro.ru

¹Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, mikhail.vinokur@klgtu.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния добавок на основе полисахаридных гидроколлоидов на степень потерь каротиноидов и органолептические свойства формованных фаршевых изделий после обработки на пару и во фритюре. Применялись добавки на основе следующих гидроколлоидов: альгинат натрия, каррагинан, смесь гуаровой и ксантановой камеди. Показано, что при добавлении каждого из гидроколлоидов наблюдается значительное снижение степени потерь каротиноидов и общей массы продукта. Также отмечено положительное влияние гидроколлоидов на органолептические показатели готовых формованных изделий (в частности, «вид на срезе»). При обжарке в масле наименьшие потери общей массы (14,0 %) и каротиноидов (49,1 %) от начального содержания наблюдались при использовании альгината натрия. Для случая приготовления полуфабрикатов на пару наименьшие потери общей массы (9,8 %), жировой фазы (34,2 %) и каротиноидов (42,0 %) отмечены при использовании альгината натрия. Полученные данные по изменению степени потерь каротиноидов коррелировали с изменением вида полуфабрикатов на разрезе. В целом статистически значимое уменьшение потерь каротиноидов, независимо от типа используемой тепловой обработки, наблюдалось в ряду: без добавок → камедь → каррагинан → альгинат натрия. Меньшие потери соответствовали гидроколлоидам с наибольшей температурой плавления образуемых ими гелей. В статье делается предположение о первостепенном влиянии массообменного процесса при тепловой обработке на степень сохранности каротиноидов в составе формованных рыбных продуктов.

© Винокур М. Л., Андриухин А. В., Галдукевич В. А., Морозов И. О., Шадрина Н. В., 2024

Ключевые слова: альгинат натрия, крилевый жир, каротиноиды, астаксантин, каррагинан.

Для цитирования: Винокур М. Л., Андрюхин А. В., Галдукевич В. А., Морозов И. О., Шадрина Н. В. Использование пищевых добавок для снижения потерь каротиноидов в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 92–105. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105.

Original article

The use of food supplements to reduce the loss of carotenoids in fish products enriched with krill oil

Mikhail L. Vinokur¹, Anatoliy V. Andryukhin², Vladislav A. Galdukevich³, Il'ya O. Morozov⁴, Natalya V. Shadrina⁵

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

¹lmv@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

²fishtech@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

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

⁴shkval@atlantniro.ru

⁵shadrina@atlantniro.ru

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
mikhail.vinokur@klgtu.ru

Abstract. The paper presents the results of the study of the influence of additives based on polysaccharide hydrocolloids on the degree of carotenoid loss and the organoleptic properties of molded minced meat products after steaming and deep-frying. Additives based on the following hydrocolloids have been used: sodium alginate, carrageenan, a mixture of guar and xanthan gum. It has been shown that with the addition of each of these hydrocolloids, there is a significant reduction in the degree of carotenoid loss and the total mass of the product. A positive effect of hydrocolloids on the organoleptic characteristics of finished molded products, in particular the “cut appearance”, has also been noted. When frying in oil, the smallest losses of total weight (14.0%) and carotenoids (49.1%) from the initial content have been observed when sodium alginate has been used. For the case of steaming semi-finished products, the smallest losses of total mass (9.8%), oil phase (34.2%) and carotenoids (42.0%) from the initial content are observed when using sodium alginate. The obtained data on changes in the degree of carotenoid loss correlated with changes in the type of semi-finished products in the cut. In general, a statistically significant decrease in carotenoid losses, regardless of the type of heat treatment used, has been observed in the series: no additives → gum → carrageenan → sodium alginate. Smaller losses corresponded to hydrocolloids with the highest melting point of the gels they formed. The article makes an assumption about the primary influence of mass transfer processes during heat

treatment on the degree of preservation of carotenoids in the composition of molded fish products.

Keywords: sodium alginate, krill oil, carotenoids, astaxanthin, carrageenan.

For citation: Vinokur M. L., Andryukhin A. V., Galdukevich V. A., Morozov I. O., Shadrina N. V. The use of food supplements to reduce the loss of carotenoid in fish products enriched with krill oil // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):92–105. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость расширения рыболовства в Атлантическом океане делает актуальным освоение дополнительной сырьевой базы, способной обеспечить устойчивый долговременный рост добычи и переработки водных биологических ресурсов. В Антарктической части Атлантики таким ресурсом является антарктический криль (*Euphausia superba*) – перспективная сырьевая база (биомасса около 5,6 млн т), способная обеспечить устойчивый рост добычи отечественного добывающего флота. В то же время, учитывая реализацию политики импортозамещения и продовольственной безопасности в России, организация добычи и глубокой переработки данного вида водных биоресурсов на сегодняшний момент – одна из приоритетных задач [1].

Криль является ценным источником жира, содержащего значительное количество омега-3 кислот, фосфолипидов, каротиноидов, в частности астаксантина [2]. При этом жир составляет в стоимостном выражении до 45 % от всего товарооборота производимой из криля продукции.

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 [3].

В то же время весьма перспективным выглядит расширение ассортимента рыбных продуктов на основе фарша сурими или непромытого фарша тощих рыб в направлении их обогащения липидами водного происхождения. При этом основное количество публикаций посвящено решению проблем в области разработок технологий обогащения фарша сурими липидами водного происхождения, в том числе крилевым жиром [2, 4, 5, 6].

В 2021–2022 гг. в «АтлантНИРО» проведены исследования по разработке формованной продукции, обогащенной крилевым жиром, на примере рыбных шариков [7]. Как было установлено, потери каротиноидов в готовом продукте при термической обработке паром составили 60–75 %, во фритюре – 83,5 %. Показа-

но, что для дальнейшей разработки технологии рыбных полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром, необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение применения способов снижения потерь каротиноидов. Известно, что гидроколлоиды, в т. ч. каррагинаны, альгинаты и камеди, обладают хорошей влаго- и жиросодерживающей способностью [8, 9]. Как было указано ранее, основная доля потерь каротиноидов в рассматриваемой технологии, вероятно, связана с фактором массообмена, а не их термической деструкцией [7].

Цель настоящего исследования – обоснование возможности снижения потерь каротиноидов при термической обработке рыбных формованных изделий, обогащенных крилевым жиром, за счет использования добавок на основе гидроколлоидов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились для рыбных шариков как типового формованного полуфабриката с использованием охлажденного непромытого фарша тощей рыбы (судака). Добавление фарша судака обусловлено тем, что в последние годы в Куршском и Калининградском заливах вылавливается достаточно большое количество малоразмерного судака, который целесообразно направлять на фарш и получаемую из него продукцию. Мороженный судак был приобретен у производителя данной продукции в Калининградской области, принадлежащей группе компаний «За Родину». Рыбу блочной заморозки (с продолжительностью хранения два месяца после изготовления) дефростировали на воздухе, мыли, оставляли на стекание, потрошили, филетировали. Филе дозачищали, мыли и оставляли на стекание, затем пропускали через фарш-машину (SZC-180, неопресс для обвалки рыбы). 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 024/2011.

Рецептура фаршевой смеси для шариков (фарш судака – 94,5 %, соль – 1,5 %, растительное масло – 2,5 %, крилевый жир – 1,5 %) является видоизменением базовой части рецептуры (растительное масло частично заменено на крилевый жир) для ассортимента формованной продукции, содержащей растительное масло, разработанной ранее в «АтлантНИРО»: фарш судака – 94,5 %, соль – 1,5 %, растительное масло – 4,0 %. Для получения фаршевой смеси в течение 10 мин использовали перемешивающее устройство лопастного типа – кухонный блендер (РНВ 1467 AL, погружной блендер Polaris), снабженный соответствующей насадкой. Рыбные шарики формовали вручную, вес одного шарика составлял 8–10 г.

Для установления возможного снижения потерь каротиноидов при термической обработке шариков за счет внесения гидроколлоидов были использованы добавки водо- и жиросодерживающих агентов на основе каррагинанов, камедей и альгинатов [8, 9]. В частности, применялась добавка «Ерол М 35» (рег. № 78.01.10.009.Е.005705.09.11.), рекомендуемая в качестве загустителя при производстве сурими и плавленых сыров. «Ерол М 35» содержит каррагинан стандартизированный (Е 407), представляющий смесь каррагинанов

нескольких типов. Также использовался загуститель «Майомил Е-06» (рег. № 77.01.13.009.У.000108.10.07), содержащий смесь ксантановой Е 415 и гуаровой камедей Е 412. Альгинаты были внесены в виде комплексной пищевой добавки, рекомендуемой для жировых и мясных эмульсий КФ Стабипро ФЭТ (рег. № Д-DE.РА01.В.98112/21), содержащей в качестве загустителя альгинат натрия (Е 401), а также сульфат кальция и фосфаты. Добавки были использованы в максимальном рекомендуемом фирмой-производителем количестве, указанном в прилагаемых на эти добавки спецификациях: «Ерол М 35» – 1,0 %, «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %, «Майомил Е-06» – 0,5 %.

Шарики замораживали воздушным способом в стеллажном морозильном аппарате при температуре минус 36 °С и глазировали посредством погружения в воду при 0 °С. Массу полуфабрикатов определяли на весах с точностью до 0,1 г. Термическую обработку рыбных шариков проводили по наиболее рациональным, установленным ранее режимам [7]. Рыбные шарики дефростируют и подвергают двум вариантам кулинарной обработки: на пару при атмосферном давлении в кухонной пароварке (материал – алюминий, объем – 6 л, 4 яруса сеток) без электроподогрева и системы регулирования температуры пара в течение 12 мин; во фритюре с растительным (подсолнечным) маслом при температуре 180 °С в течение 4 мин. Шарики во время варки размещались в один слой (только на одном из ярусов). Значения температуры паровоздушной смеси колебались от 96,2 до 98,7 °С в зависимости от места расположения щупа внешнего термодатчика, но на уровне высоты размещения образцов. Перед последующими исследованиями и определением потерь массы полуфабрикаты обтирали бумажной салфеткой для удаления излишней влаги и жира. Контроль температуры в процессе тепловой обработки образцов осуществлялся электронным термометром ТРМ-10 с коротким щупом на гибком кабеле. Температура в центре шариков к концу обработки на пару соответствовала 70,8 °С, во фритюре – 78,1 °С.

Извлечение жиромасляной фракции производили в соответствии с методикой, адаптированной для извлечения липидов из рыб, в т. ч. с высоким содержанием полярной (фосфолипидной фракции) [10]. Навеску исследуемой пробы массой 30 г помещали в сухую фарфоровую ступку, туда же добавляли двойное количество безводного сульфата натрия, смесь тщательно перемешивали до получения сыпучей массы. Содержимое ступки переносили в широкогорлую склянку с притертой пробкой, добавляли 80 мл хлороформа, тщательно перемешивали и оставляли при перемешивании на 1 час. Фильтровали полученную мисцеллу через сухой складчатый фильтр (с синей меткой), предварительно смоченный хлороформом. Осадок на фильтре промывали 30 мл хлороформа и добавляли к мисцелле. После упаривания хлороформа при температуре не выше 40 °С в ротационном вакуумном испарителе растворителя жиромасляную фазу взвешивали и находили количественное содержание жиромасляной фазы в продукте.

В полученной жиромасляной фазе определяли содержание каротиноидов в пересчете на астаксантин. Для этого 0,10–0,50 г жиромасляной фазы растворяли в 25 мл гексана и вычисляли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 470 нм, калибровку проводили с использованием стандарта астаксантина. При исследованиях по изучению влияния типа добавки (в т. ч. без добавки) применяли метод одностороннего дисперсионного анализа с уровнем на-

дежности 0,05. Последующие парные сравнения проводили с использованием апостериорного метода Тьюки [11]. Все исследования четырехкратно повторяли.

При органолептической оценке применяли разработанные 5-балльные шкалы для рыбных шариков, обработанных на пару и обжаренных в масле. Шкалы представлены в табл. 1, 2. Обработку данных осуществляли при помощи программного обеспечения Microsoft Excel.

Таблица 1. Шкала оценки органолептических показателей рыбных шариков, обработанных паром

Table 1. A scale for assessing organoleptic indicators of fish balls treated with steam

Наименование показателя	Характеристика органолептических показателей, баллы				
	5	4	3	2	1
Внешний вид	правильной круглой формы, поверхность ровная	правильной круглой формы, едва заметны отклонения по форме	правильной круглой формы, незначительные отклонения формы	правильной круглой формы, со значительными отклонениями от формы	форма неправильная
Вид фарша на разрезе	однородный равномерный, цвет умеренно розовый	однородный равномерный, с небольшими отклонениями в тоне цвета	однородный равномерный, с небольшими вкраплениями	однородный неравномерный	неоднородный
Запах	приятный умеренно выраженный аромат, свойственный вареной рыбе, с умеренно выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный вареной рыбе, с умеренно или выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный вареной рыбе, со слабо выраженным креветочным оттенком	наличие слабо выраженного запаха окисленного жира или отсутствие креветочного оттенка	наличие сильно выраженного запаха окислившегося жира
Вкус	рыбный, сочный, со слабым привкусом креветочного жира	рыбный, недостаточно сочный, со слабым привкусом креветочного жира	рыбный, с едва уловимым привкусом	рыбный, суховатый с едва уловимым привкусом креветочного жира	наличие привкуса окислившегося жира
Консистенция	плотная	среднеплотная, слабо крошливая	не плотная, слабо крошливая	излишне плотная или умеренно крошливая	резинистая или крошливая

Таблица 2. Шкала оценки органолептических показателей рыбных шариков, обжариваемых во фритюре

Table 2. A scale for assessing organoleptic indicators of deep-fried fish balls

Наименование показателя	Характеристика органолептических показателей, баллы				
	5	4	3	2	1
Внешний вид	правильной круглой формы, поверхность ровная	правильной круглой формы, едва заметны отклонения по форме	правильной круглой формы, незначительные отклонения формы	правильной круглой формы, со значительными отклонениями от формы	форма неправильная
Вид фарша на разрезе	однородный равномерный, цвет умеренно розовый	однородный равномерный, с небольшими отклонениями в тоне цвета	однородный равномерный, с небольшими вкраплениями	однородный неравномерный	неоднородный
Запах	приятный умеренно выраженный аромат, свойственный жареным рыбным котлетам, с умеренно выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный жареным рыбным котлетам, с умеренно или выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный жареным рыбным котлетам, со слабо выраженным креветочным оттенком	наличие слабовыраженного запаха окислившегося жира	наличие сильно выраженного запаха окислившегося жира
Вкус	обжаренного продукта, свойственный рыбе, со слабым привкусом креветочного жира	обжаренного продукта, свойственный рыбе, с едва уловимым привкусом креветочного жира	наличие едва заметного привкуса окислившегося жира	наличие слабого привкуса окислившегося жира	наличие достаточно выраженного привкуса окислившегося жира
Консистенция	плотная	среднеплотная, слабо крошливая	неплотная, слабо крошливая	излишне плотная или умеренно крошливая	резинистая или крошливая

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования влияния добавок различных типов гидроколлоидов на величину потерь массы и каротиноидов при обработке рыбных шариков на пару представлены в табл. 3.

Таблица 3. Влияние добавок различных типов гидроколлоидов на потери каротиноидов, общей массы и жира масляной фазы у рыбных шариков, обогащенных крилевым жиром, при обработке паром

Table 3. Influence of additives of various types of hydrocolloids on the loss of carotenoid, total mass and oil phase in fish balls enriched with krill oil during steam treatment

Количество и название вносимой добавки	Потери общей массы, %	Потери массы масляной фазы, %	Потери каротиноидов, %
Без добавок	27,2±0,7	58,1±1,9	68,5±1,5
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	11,2±0,5	37,5±1,2	47,5±1,3
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	9,8±0,3	34,2±1,8	42,0±1,2
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	18,1±0,8	46,9±2,1	57,5±0,9

Наименьшие потери общей массы (9,8 %), масляной фазы (34,2 %) и каротиноидов (42,0 %) от начального содержания наблюдаются при использовании альгината натрия. В целом статистически значимое уменьшение потерь фиксировалось в ряду: без добавок → добавка камеди → добавка каррагинана → добавка альгината натрия. Максимально достигаемые значения температуры в толще продукта, в зависимости от степени удаленности от поверхности, могли как превосходить, так и быть ниже температуры плавления гелей отдельных гидроколлоидов (добавка камеди ≥ 70 °С, добавка каррагинана ≥ 80 °С, добавка альгината натрия ≥ 90 °С). Таким образом, прослеживается взаимосвязь между температурой плавления гелей гидроколлоидов и степенью потерь как каротиноидов, так и жира масляной фазы. Добавки, образующие более термотолерантные гели, давали меньший процент потерь масложировой фазы и каротиноидов при обработке шариков на пару. Следует напомнить, что рядом авторов также отмечались лучшие свойства по связыванию влаги и жира при температурах более 100 °С для альгината натрия в сравнении с каррагинанами и камедями [9,12].

Используя каррагинан и (или) альгинат натрия, удалось улучшить органолептические показатели качества шариков. В частности, «вид на срезе» у шариков, обработанных каррагинаном и альгинатом натрия, имел после обработки более насыщенный розовый цвет по сравнению с образцами без добавок, что может быть связано со снижением потерь каротиноидов, являющихся по своей химической природе естественными красителями розового цвета. При этом прочие органолептические показатели шариков не ухудшались (табл. 4).

Таблица 4. Органолептическая оценка рыбных шариков, обработанных паром, баллы

Table 4. Organoleptic evaluation of steamed fish balls, points

Продолжительность термической обработки, мин	Вкус	Запах	Внешний вид	Консистенция	Вид на разрезе
Без добавок	5,0	4,8	4,8	5,0	4,3
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	5,0	4,8	4,8	5,0	4,7
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	5,0	4,8	5,0	5,0	4,9
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	5,0	4,8	4,8	5,0	4,3

Таблица 5. Влияние добавок различных типов гидроколлоидов на потери каротиноидов у рыбных шариков, обогащенных крилевым жиром, обжариваемых во фритюре

Table 5. Influence of additives of various types of hydrocolloids on the loss of carotenoid in deep-fried fish balls

Характеристика рецептуры	Потери общей массы, %	Потери каротиноидов, %
Без добавок	20,1±0,7	83,2±1,9
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	15,3±0,5	54,2±1,7
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	14,0±0,3	49,1±1,2
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	18,9±0,7	78,9±1,1

При обжарке в масле наименьшие потери общей массы (14,0 %) и каротиноидов (49,1 %) наблюдались при использовании альгината натрия. В целом статистически значимое уменьшение потерь отмечалось в ряду: без добавок → камедь → каррагинан → альгинат натрия. Ранее для рыбных паштетов, как для продукции, подвергающейся достаточно жесткой термической обработке (стерилизации), было установлено, что использование как каррагинанового, так и альгинового геля позволяет снизить количество отделяющейся жидкой части [13]. Многие авторы, отмечавшие снижение потерь воды и жира при использовании в составе белковых матриц вышеупомянутых гидроколлоидов, связывают это с формированием стабильной белково-гелевой решетчатой структуры [9,12]. Однако также не исключается роль проявления поверхностно-активных свойств гидроколлоидов по отношению к жирам.

Как и в случае с обработкой паром, для обжаривания в масле при высоких температурах применение альгинатов и каррагинанов позволяет улучшить органолептический показатель «вид на срезе» (табл. 6) за счет более высокого уровня сохранности каротиноидов.

Таблица 6. Органолептическая оценка рыбных шариков, обогащенных крилевым жиром, обжариваемых во фритюре, баллы

Table 6. Organoleptic evaluation of deep-fried fish balls, points.

Характеристика рецептуры	Вкус	Запах	Внешний вид	Консистенция	Вид на разрезе
Без добавок	5,0	5,0	4,8	5,0	3,3
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	5,0	5,0	4,8	5,0	4,5
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	5,0	5,0	4,8	5,0	4,7
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	5,0	5,0	4,8	5,0	3,8

Большинство авторов связывают причину потерь каротиноидов при тепловой обработке пищевых продуктов до 100 °С исключительно с массообменными процессами, ссылаясь на их высокую устойчивость в гомогенных (монофазных) системах. Так, в исследованиях, посвященных изучению устойчивости каротиноидов в составе монофазы – растительного масла, – отмечается их высокая термическая стабильность даже при температурах до 120 °С [14]. Для продуктов, обжариваемых во фритюре, установлено, что температура, близкая к горячему растительному маслу, характерна только для внешнего «коркового» слоя, т. е. где проходят значительные денатурационные процессы, связанные с полной потерей белками функционально-технологических свойств, что также может приводить к потере каротиноидов, в первую очередь за счет массообменного фактора. Учитывая, что во внутренних слоях продукта температура не достигает 100 °С (в центре 78,1 °С), можно предположить, что столь существенные потери каротиноидов при каждом из рассматриваемых способов кулинарной обработки могут быть связаны, в первую очередь, с массообменными процессами. Для случая обработки на пару это подтверждается результатами определения потерь жиромасляной фазы. Также в пользу преобладающей роли массообменных процессов говорит и отмеченная возможная взаимосвязь между наблюдаемыми потерями и температурой плавления гелей используемых гидроколлоидов.

Однако, на сегодняшний день все еще не доказано исключительное значение массообменных процессов для потери каротиноидов при тепловой обработке пищевых продуктов. Несмотря на уже упомянутую выше высокую стабильность каротиноидов к термическим нагрузкам в составе растительных масел, показана их значительно меньшая стабильность в составе органических растворителей. Так, при изучении термической стабильности каротиноидов в растворах органических растворителей отмечено, что после двух часов нагревания при 70 °С наблюдается полное разрушение астаксантина, выражаемое в потере максимума поглощения в ультрафиолетовой области, а также полном снижении ядерно-магнитного резонанса детектируемой активности олефиновых атомов водорода. С другой стороны, также доказана роль гидроколлоидов в стабилизации каротиноидов по отношению к окислительной деструкции при использовании микроинкапсуляции [15, 16, 17].

В связи с вышеизложенным необходимо провести дальнейшие исследования по обоснованию целесообразности использования гидроколлоидов в составе рыбных формованных изделий, обогащенных крилевым жиром, а также определению их роли в механизме снижения потерь каротиноидов при кулинарной обработке полуфабрикатов, обогащенных крилевым маслом.

ВЫВОДЫ

Обобщая полученные в результате проведенных работ данные, можно заключить, что:

– для сокращения потерь каротиноидов при различных видах термической обработки рыбных формованных изделий, обогащенных крилевым жиром, целесообразно использовать добавки гидроколлоидов, в т. ч. на основе каррагинанов, альгинатов и камедей;

– наибольшее снижение потерь каротиноидов при термической обработке шариков, обогащенных крилевым жиром, наблюдается при использовании наиболее термотолерантных гидроколлоидов, в частности, альгината натрия.

Список источников

1. Андрюхин А. В., Андреев М. П., Галдукевич В. А. Совершенствование технологии комплексной переработки антарктического криля (*Euphausia superba*) // Известия КГТУ. 2022. № 64. С. 67–80.
2. Kwantes J. M., Grundmann O. A. Brief review of krill oil history, research, and the commercial market // Journal of Dietary Supplements. 2015. V. 12. N 1. P. 23–25.
3. Cappel I. R., MacFadyen G., Constable A. Research funding and economic aspects of the Antarctic krill fishery // Mar. Policy 2022. V. 143. P. 105200.
4. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: a comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications / Dan Xie et al. // Comprehensive Reviews in food science and food safety. 2019. V. 18. N 2. P. 514–534.
5. Characterization of molecular species and anti-inflammatory activity of purified phospholipids from Antarctic krill oil / Li Zhou et al. // Marine Drugs. 2021. V. 19. N 3. P. 124.
6. Krill oil microencapsulation: antioxidant activity, astaxanthin retention, encapsulation efficiency, fatty acids profile, in vitro bioaccessibility and storage stability / C. A. Ortiz Sánchez et al. // Lwt. 2021. V. 147. P. 111476.
7. 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». 2023. С. 363–367.
8. Pirsá S., Hafezi K. Hydrocolloids: structure, preparation method, and application in food industry // Food Chemistry. 2023. V. 399. P. 133967.

9. Soumya B., Suvendu B. Food Gels: Gelling Process and New Applications // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2012. V. 52 (4). P. 334–346.
10. Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1976. 470 с.
11. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / под ред. Э. К. Лецкого. Москва: Мир, 1980. 610 с.
12. Kumbhar V., Chatli M.K., Rajesh V. Composite Fat Replacer Mixture of Sodium Alginate and Carrageenan // *Int. J. Livest. Res.* 2018. V. 8 (11). P. 94–105.
13. Кадникова И. А., Талабаева С. В., Соколова В. М. Влияние полисахаридных гидрогелей на реологические свойства консервов типа суфле // *Известия ТИНРО*. 2006. № 146. С. 283–287.
14. Thermal stability of astaxanthin in oils for its use in fish food technology / N. S. Calvo et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2020. V. 270. P. 114668.
15. Rao R. A., Sarada R., Ravishankar G. A. Stabilization of astaxanthin in edible oils and its use as an antioxidant // *Journal of the science of food and agriculture*. 2007. V. 87 (6). P. 957–965.
16. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation / A. Tachaprutinun et al. // *International journal of pharmaceutics*. 2009. V. 374. N 1–2. P. 119–124.
17. Chitosan oligosaccharide/alginate nanoparticles as an effective carrier for astaxanthin with improving stability, in vitro oral bioaccessibility, and bioavailability / F. N. Sorasitthiyakarn et al. // *Food Hydrocolloids*. 2022. V. 124. P. 107246.

References

1. Andryukhin A. V., Andreev M. P., Galdukevich V. A. Sovershenstvovanie tekhnologii kompleksnoy pererabotki antarkticheskogo krilya (*Euphausia superba*) [Improving the technology of antarctic krill (*Euphausia superba*) complex processing]. *Izvestiya KGTU*. 2022, no. 64, pp. 67–80.
2. Kwantes J. M., Grundmann O. A. Brief review of krill oil history, research, and the commercial market. *Journal of Dietary Supplements*. 2015, vol. 12, no. 1, pp. 23–253.
3. Cappell I. R., MacFadyen G., Constable A. Research funding and economic aspects of the Antarctic krill fishery. *Marine Policy*. 2022, vol. 143, pp. 105200.
4. Xie D. et al. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: a comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*. 2019, vol. 18, no. 2, pp. 514–534.
5. Zhou L. et al. Characterization of molecular species and anti-inflammatory activity of purified phospholipids from Antarctic krill oil. *Marine Drugs*. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 124.
6. Sánchez C. A. O. et al. Krill oil microencapsulation: antioxidant activity, astaxanthin retention, encapsulation efficiency, fatty acids profile, in vitro bioaccessibility and storage stability. *Lwt*. 2021, vol. 147, pp. 111476.
7. Morozov I. O., Galdukevich V. A., Vinokur M. L., Andryukhin A. V. O problemakh poter' pri termicheskoy obrabotke formovannykh polufabrikatov, obogashchen-

nykh zhirom antarkticheskogo krilya [On the problems of losses during heat treatment of molded semi-finished products enriched with Antarctic krill oil]. *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: problemy i perspektivy razvitiya» (28–29 marta 2023 goda, Moskva)* [Proceedings of the I International Scientific Conference “Russian fishery industry: problems and development prospects” (28–29 March 2023, Moscow)]. FGBNU «VNIRO» Publ., 2023, pp. 363–367.

8. Pirsa S., Hafezi K. Hydrocolloids: structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*. 2023, vol. 399, pp. 133967.

9. Soumya B., Suvendu B. Food Gels: Gelling Process and New Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2012, vol. 52 (4), pp. 334–346.

10. Rzhavskaya F. M. *Zhiry ryb i morskikh mlekopitayushchikh* [Oils of fish and marine mammals]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1976, 470 p.

11. Dzhonson N., Lion F. *Statistika i planirovanie eksperimenta v tekhnike i nauke: metody obrabotki dannykh* [Statistics and experimental planning in technology and science: data processing methods], pod red. E. K. Letskogo. Moscow, Mir, 1980, 610 p.

12. Kumbhar V., Chatli M.K., Rajesh V. Composite Fat Replacer Mixture of Sodium Alginate and Carrageenan. *International Journal of Livestock Research*. 2018, vol. 8 (11), pp. 94–105.

13. Kadnikova I. A., Talabaeva S. V., Sokolova V. M. Vliyanie polisakharidnykh gidrogeley na reologicheskie svoystva konservov tipa sufle [Influence of polysaccharide hydrogels on the rheological properties of canned food such as soufflé]. *Izvestiya TINRO*. 2006, vol. 146, pp. 283–287.

14. Calvo N. S. et al. Thermal stability of astaxanthin in oils for its use in fish food technology. *Animal Feed Science and Technology*. 2020, vol. 270, pp. 114668.

15. Rao R. A., Sarada R., Ravishankar G. A. Stabilization of astaxanthin in edible oils and its use as an antioxidant. *Journal of the science of food and agriculture*. 2007, vol. 87 (6), pp. 957–965.

16. Tachaprutinun A. et al. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation. *International journal of pharmaceutics*. 2009, vol. 374, no. 1–2, pp. 119–124.

17. Sorasitthyanukarn F. N. et al. Chitosan oligosaccharide/alginate nanoparticles as an effective carrier for astaxanthin with improving stability, in vitro oral bioaccessibility, and bioavailability. *Food Hydrocolloids*. 2022, vol. 124, pp. 107246.

Информация об авторах

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

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

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

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

Шадрина Н. В. – ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования

Information about the authors

Vinokur M. L. – PhD in Engineering, Head researcher of the laboratory of standardization and regulation, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

Andriukhin A. V. – PhD in Engineering, Head of the laboratory of standardization and regulation

Galdukevich V. A. – PhD in Engineering, Leading engineer at the laboratory of standardization and regulation

Morozov I. O. – PhD in Engineering, Leading engineer of the laboratory of standardization and regulation

Shadrina N. V. – Leading engineer of the laboratory of standardization and regulation

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 24.06.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 24.06.2024.