

Научная статья

УДК 796/799

DOI 10.46845/1997-3071-2024-75- 55-64

Ферментативная экстракция жира из голов салаки с использованием протосубтилина ГЗх

Михаил Леонидович Винокур¹, Анатолий Владимирович Андрюхин², Илья Олегович Морозов³

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

¹vinokur@atlant.vniro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

²andryukhin@atlant.vniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

³morozov@atlant.vniro.ru

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

Аннотация. Статья посвящена проблеме рационального и комплексного использования рыбного сырья, в частности голов балтийской сельди (салаки), а именно получению биологически ценного жира. Цель исследования – обоснование рациональных режимов ферментативной экстракции жира пищевого назначения из голов салаки с применением отечественного фермента протосубтилина ГЗх. Показана зависимость выхода жира и показателей его качества от таких факторов, как температура и продолжительность ферментативной обработки. Оба фактора оказывали статистически значимое влияние на количество извлекаемого жира и показатели его порчи (кислотное и перекисное числа). После 180 мин гидролиза выход жира, независимо от температуры процесса, значительно не увеличивался. Наибольший выход при использовании протосубтилина ГЗх (74,2 %) отмечался после 4 ч гидролиза при 50 °С, чуть меньший (72,3 %) – после 3 ч при той же температуре. При повышении температуры до 60 °С процесс интенсифицировался на начальном этапе, однако после 120 мин гидролиза дальнейшее снижение выхода жира не зафиксировано. Приведены результаты исследований по влиянию тонкости помола рыбного сырья на выход жира при рациональном режиме процесса ферментативного гидролиза – температуре 50 °С и продолжительности 180 мин. Выход жира составил 79,6 и 62,4 % от его начального содержания для голов салаки, измельченных на волчке и в гомогенизаторе. В результате исследований установлены следующие рациональные параметры ферментативной экстракции жира с применением протосубтилина ГЗх: температура – 50 °С, продолжительность – 3 ч. Показано, что измельчение рыбных голов на волчке перед экстракцией является наиболее рациональным способом в сравнении с нарезкой на куски или обработкой на куттере.

Ключевые слова: гидролиз, рыбный жир, протосубтилин Г3х, тонкость измельчения.

Для цитирования: Винокур М. Л., Андриюхин А. В., Морозов И. О. Ферментативная экстракция жира из голов салаки с использованием протосубтилина Г3х // Известия КГТУ. 2024. № 75. С. 55-64. DOI 10.46845/1997-3071-2024-75-55-64.

Original article

Enzymatic extraction of oil from Baltic herring heads using protosubtilin G3x

Mikhail L. Vinokur¹, Anatoliy V. Andryukhin², Il'ya O. Morozov³

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

¹vinokur@atlant.vniro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

²andryukhin@atlant.vniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

³morozov@atlant.vniro.ru

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

Abstract. The article is devoted to the problem of rational and comprehensive use of fish raw materials, in particular, Baltic herring heads (sprat), and namely, obtaining biologically valuable oil. The purpose of the study is to substantiate rational modes of enzymatic extraction of food-grade oil from Baltic herring heads using the domestic enzyme protosubtilin G3x. The paper shows the dependence of the oil yield and its quality indicators on such factors as temperature and duration of enzymatic treatment. Both factors had a statistically significant effect on the amount of extracted fat and its spoilage indicators (acid and peroxide values). After 180 minutes of hydrolysis, the fat yield did not increase significantly regardless of the process temperature. The highest fat yield when using protosubtilin G3x (74.2%) was noted after 4 hours of hydrolysis at 50 °C, slightly less (72.3%) after 3 hours at the same temperature. By increasing the temperature to 60 °C, the process was intensified at the initial stage, but after 120 minutes of hydrolysis, no further decrease in the oil yield was recorded. The article presents the results of studies on the effect of the fineness of grinding of fish raw materials under a rational mode of the enzymatic hydrolysis process: temperature - 50 °C; duration – 180 min. The oil yield was 79.6% and 62.4% of its initial content for Baltic herring heads, ground, respectively, in a grinder and in a homogenizer. As a result of the studies, the following rational parameters for enzymatic extraction of fat using protosubtilin G3x have been established: temperature – 50 °C; duration – 3 hours. It has been shown that grinding fish heads in a grinder before extraction is the most rational method in comparison with cutting into pieces or processing in a cutter.

For citation: Vinokur M. L., Andryukhin A. V., Morozov I. O. Enzymatic extraction of oil from Baltic herring heads using protosubtilin G3x // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (75): 55-64. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-75-55-64.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день широкое распространение получили технологии извлечения жира из сырья водного происхождения, основанные на применении растворителей или вытопке жира. Главными недостатками способов экстракции органическими растворителями являются низкая экологичность, риск нахождения большого количества остатков растворителя в готовом продукте, высокие капитальные и эксплуатационные затраты. К проблемам способов, связанных с вытапливанием жира, относятся: негативное влияние высокой температуры на процесс окисления липидов и высокие затраты на электроэнергию. Перспективная альтернатива вышеуказанным технологиям – способы, основанные на ферментативной экстракции (извлечении), которая лишена вышеперечисленных недостатков [1].

Балтийская сельдь (салака) является одним из важнейших объектов промысла в акватории Балтийского моря. В 2023 г. общий объем российского вылова сельди в этом регионе составил 10359 т. В свою очередь, значение выхода голов при разделке балтийской сельди может колебаться в пределах от 16 до 21 %. С точки зрения рационального и комплексного использования рыбного сырья особый интерес представляет получение из голов салаки рыбного жира как источника полиненасыщенных жирных кислот, в том числе омега-3. Установлено, что жир салаки состоит в основном из мононенасыщенных (МНЖК) и полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Максимальный уровень содержания жирных кислот омега-3 (n-3 ЖК) доходит до 26–28 % от общего количества ЖК, основные из которых – это докозагексаеновая (ДГК) (10,5–11,5 %) и эйкозапентаеновая кислоты (ЭПК) (6,5–7,2 %) [2]. ЭПК и ДГК обладают высокой биологической активностью, в том числе связанной с их действием на функционирование нейронов, сетчатки, мозга, сердечно-сосудистой и иммунной систем. Также доказано наличие у омега-3 кислот лечебно-профилактических свойств в отношении развития рака, астмы, жирового гепатоза и ревматоидного артрита [3].

На сегодняшний день ферментативная экстракция рыбного жира изучена для разнообразных видов сырья, при этом на выход жира могут влиять условия ферментативного гидролиза, химический состав сырья и способ его предварительной подготовки. Основное количество исследований посвящено извлечению жиров препаратами таких ферментов, как Alcalase, Neutrase, Protamex [2, 4]. Наиболее массово производимым отечественным препаратом является протосубтилин, соответствующий степени очистки ГЗх, однако исследований, посвященных ферментативной экстракции рыбных жиров протосубтилином ГЗх, крайне мало [5].

Цель исследования – обоснование рациональных режимов ферментативной экстракции жира пищевого назначения из голов салаки с применением отечественного фермента протосубтилина ГЗх.

При этом решались следующие задачи:

- определить влияние фактора температуры гидролиза в интервале от 40 до 60 °C на выход жира из голов салаки;
- определить влияние фактора продолжительности ферментации в интервале от 60 до 240 мин на выход жира из голов салаки;

- определить влияние факторов продолжительности и температуры гидролиза на значения кислотного и перекисного чисел жира, выделяемого ферментативной экстракцией из голов салаки;
- определить влияние фактора тонкости измельчения голов балтийской сельди на выход жира при рациональных температурно-временных условиях гидролиза протосубтилином ГЗх.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований являлись головы от разделки одной и той же партии охлажденной салаки декабрьского улова 2023 г. Применялся коммерческий препарат протосубтилин ГЗх в виде сухого порошка с заявленной активностью 120 ± 20 ед./г., произведенного фирмой ООО ПО «СИББИОФАРМ». Перед внесением в реакционную массу протосубтилин ГЗх растворяли в воде при температуре 30 °С, настаивали в течение одной минуты для лучшей диссоциации агломератов молекул фермента.

Головы салаки нарезами на четыре части кухонным ножом. Размер большинства кусочков составлял от 0,5 см до 1 см. Сам процесс ферментализа осуществлялся при гидромодуле: 2 (головы) : 1 (вода), значениях температуры от 40 до 60 °С в течение 60–240 мин. На этапе предварительного эксперимента определена концентрация фермента, соответствующая насыщению системы (рыбное сырье – вода – фермент) при значении гидромодуля 2:1 (неопубликованные нами данные). Установлено, что концентрация фермента более 1,0 % не дает статистически значимого роста интенсивности ферментации (отношение степени гидролиза к продолжительности процесса) при 55 °С. Таким образом, количество вносимого фермента подобрано исходя из расчета его конечной концентрации в гидролизуемой массе – 1,0 %.

Гидролизованную массу направляли на инактивацию фермента в течение 10 мин при температуре 100 °С. Пробирки с начальной температурой содержимого не ниже 70 °С центрифугировали при 8000 об./мин в течение 10 мин. После сепарирования жир отбирали пипеткой и взвешивали, затем проводили исследование его показателей качества.

Выход целевого продукта оценивали как отношение массы жира, получаемого в результате ферментативной экстракции, к его абсолютному содержанию в сырье. Определение начального содержания жира в рыбном сырье производили по методике, адаптированной для извлечения липидов из рыб [6]. 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 ч. 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 жир взвешивали и находили его количественное содержание в сырье.

Анализ значений кислотного и перекисного чисел в жире, получаемом ферментативной экстракцией и спирто-хлороформенной смесью, проводился по методикам ГОСТ 7636.

Для определения влияния тонкости помола голов салаки на выход жира сырье измельчалось на электрической мясорубке (типа волчок) или гомогенизировалось (РНВ 1467 AL, погружной куттер Polaris) в течение 1 мин. После обработки на куттере получаемая рыбная масса по внешнему виду характеризовалась однородной структурой без видимых включений мышечных волокон. При измельчении на волчке также получалась в целом однородная структура, однако присутствовали видимые без увеличения волокна мышечной ткани. Фрагменты костной ткани встречались в обоих из указанных случаев. После измельчения на куттере включения костной ткани имели значительно меньшие размеры.

При исследованиях влияния факторов температуры, продолжительности гидролиза применяли метод одностороннего дисперсионного анализа с уровнем надежности 0,05. Последующие парные сравнения проводили с использованием апостериорного метода Тьюки [7]. Все исследования пятикратно повторяли. Аналогично проводили исследования влияния фактора тонкости помола на выход рыбного жира.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По показателям кислотного (0,2 мг КОН/ г жира) и перекисного чисел (0,21 мэкв акт кислорода / кг жира) жир, выделенный посредством спирто-хлороформенной смеси, не превышал норм, установленных в ТР ТС 024/2011. Начальное содержание жира в сырье соответствовало 11,2 %. При гидролизе голов салаки, после 15–20 мин, кости полностью отделялись от ферментируемой массы. После центрифугирования ферментированная масса разделялась на четыре слоя: жировой, эмульсионный, жидкий гидролизат и плотный (осадок).

Таблица 1. Влияние температуры и продолжительности ферментативной обработки голов салаки на выход жира, % от начального содержания жира в сырье
Table 1. Effect of temperature and time of enzymatic treatment of herring heads on oil yield, % of the initial content in the raw material

Температура ферментализа, °С	Продолжительность гидролиза, мин			
	60	120	180	240
40	32,8 ± 1,1	36,5 ± 0,8	39,3 ± 0,7	40,6 ± 0,7
50	57,8 ± 1,4	66,2 ± 0,9	72,3 ± 1,1	74,2 ± 0,9
60	65,5 ± 1,5	67,9 ± 1,3	64,5 ± 1,1	63,9 ± 1,6

Наибольший выход жира (74,2 %) (табл. 1.) отмечался после 4 ч гидролиза при температуре 50 °С, чуть меньший (72,3 %) – после 3 ч при тех же условиях. При повышении температуры до 60 °С интенсифицировался процесс гидролиза и отделение жира на начальном этапе, однако после 120 мин наблюдаемая динамика приобретала обратный характер. Значение выхода жира при 60 °С не превысило 67,9 %, т. е. было ниже максимального показателя, достигаемого при 50 °С.

Отсутствие после 120 мин гидролиза (при 40 и 60 °С) какого-либо статистически значимого увеличения или снижения выхода жира, возможно, связано с замедлением или практически полным прекращением гидролиза. Это же явление, скорее всего, имело место и при 50 °С, так как прирост выхода жира после 240 мин гораздо менее значителен, чем после 180 мин. Существенное замедление ферментативного гидролиза может быть связано с такими причинами, как частичная тепловая денатурация фермента, а также его самопереваривание, блокирование аминокислотами и короткоцепочечными пептидами каталитического центра [8].

Одной из возможных причин снижения выхода жира при ферментативной деструкции сырья, начиная с определенных температур, является его частичный переход в эмульсионный слой вследствие накопления продуктов гидролиза белка, проявляющих поверхностно-активные свойства [9, 10].

Таблица 2. Влияние температуры и продолжительности ферментативной обработки измельченных голов салаки на показатели качества жира

Table 2. Influence of enzymatic treatment of the Baltic herring head for measuring fat quality indicators

Показатели качества жира	Температура гидролиза, °С	Продолжительность гидролиза, мин			
		60	120	180	240
Кислотное число, мг КОН /г	40	0,83 ± 0,12	1,19 ± 0,18	1,92 ± 0,25	2,41 ± 0,15
	50	0,91 ± 0,15	1,32 ± 0,22	2,08 ± 0,24	2,84 ± 0,20
	60	1,72 ± 0,18	2,89 ± 0,22	3,32 ± 0,19	4,03 ± 0,16
Перекисное число, ммоль акт. кислорода на кг жира	40	0,29 ± 0,11	0,53 ± 0,21	0,69 ± 0,18	0,83 ± 0,13
	50	0,39 ± 0,14	0,64 ± 0,15	0,88 ± 0,18	1,15 ± 0,23
	60	0,79 ± 0,18	2,03 ± 0,22	2,96 ± 0,19	3,81 ± 0,20

Norziah M. и др. при ферментативном извлечении рыбных жиров обращают внимание на значительное ускорение под действием температурного фактора окислительных процессов. Основную причину, вызывающую вышеуказанную проблему, связывают как с высокой степенью ненасыщенности рыбного жира, так и со значительной активностью прооксидантных клеточных систем, способных активизироваться в технологическом процессе под действием температуры [11].

Как следует из данных, представленных в табл. 2, независимо от температуры наблюдается статистически значимый рост показателей кислотного и перекисного чисел. Жир, выделяемый при 40 и 50 °С, имел существенные отличия в значениях показателей кислотного и перекисного чисел только после 240 мин

гидролиза. При 60 °С жир, независимо от продолжительности гидролиза, характеризовался значительно более высокими значениями кислотного и перекисного чисел. В ряде работ показано огромное влияние фактора температуры на качество экстрагируемого жира. Например, при термическом способе по сравнению с ферментативным происходит более интенсивное накопление первичных и вторичных продуктов окисления, что связывают не только с температурной интенсификацией цепных реакций, но и с высвобождением в результате тепловой денатурации миоглобина железа, способного ускорять данные процессы [12, 13]. Тем не менее, для каждого вышеуказанного режима ферментации значения показателей кислотного и перекисного чисел не превышали нормативных по ТР ТС 024/2011.

Для достижения наибольшего выхода и наилучших показателей качества можно рекомендовать технологический процесс получения рыбного жира из голов балтийской сельди, включающий наиболее рациональный режим гидролиза голов сельди: измельчение голов на волчке, подготовка реакционной смеси (соотношение измельченных голов и воды 1:0,5), гидролиз при температуре 50 °С в течение 3 ч. Кроме вышеуказанного, для значительного сокращения продолжительности процесса можно рекомендовать одночасовой гидролиз при температуре 60 °С, однако при этом, вероятно, сокращается срок хранения жира по сравнению с его получением при 50 °С.

При изучении влияния тонкости измельчения на выход жира был выбран наиболее рациональный режим ферментации: температура – 50 °С, продолжительность – 3 ч. После измельчения голов на волчке и гомогенизаторе выход жира составил соответственно 79,6 и 62,4 %. Более высокие значения для показателей выхода жира после ферментативной обработки измельченного сырья большинство авторов связывает с увеличением площади его удельной поверхности [14, 5], однако более тонкое измельчение на гомогенизаторе, наоборот, приводит к значительному снижению выхода жира. Высокая механическая нагрузка при измельчении на скорости 2000 об./мин может приводить, с одной стороны, к увеличению степени расщепления белка при одинаковых условиях гидролиза и, как следствие, к накоплению большего количества пептидов с поверхностно-активными свойствами, с другой – к активному эмульгированию белков уже на стадии измельчения сырья, а именно к их взаимодействию с микрокаплями относительно свободного жира. Также не исключен фактор того, что при значительном измельчении резко увеличивается способность к гидролизу фракции соединительнотканых белков, в том числе коллагена, что может приводить к накоплению пептидов, проявляющих более высокие поверхностно-активные свойства.

ВЫВОДЫ

1. На выход жира и значения показателей его качества (кислотное и перекисное числа) при ферментативной обработке голов салаки с использованием протосубтилина ГЗх оказывают существенное влияние температура и продолжительность ферментализации, а также степень измельчения сырья.

2. Рациональными значениями параметров режима ферментирования голов салаки являются температура 50 °С и продолжительность процесса 180 мин.

3. Для повышения эффективности ферментативной экстракции жира из голов салаки рекомендуется предварительно грубо измельчать сырье до фаршеобразного состояния без его гомогенизации.

Список источников

1. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*) / Aitta E. et al. // Foods. 2021, V. 147. N 8. P. 1811.

2. Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products / Ozogul F. et al. // Trends in Food Science & Technolog. 2021. V. 116. P. 559–582.

3. Enzymatic Hydrolysis of Fish Waste as an Alternative to Produce High Value-Added Products / Araujo J. et al. // Waste Biomass. 2021. V. 12. P. 847–855.

4. Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil / Jamshidi A., Cao H., Xiao J., Simal-Gandara J. // Food Research International. 2020. V. 137. P. 10935.

5. Дамбарович Л. В., Агафонова С. В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестник Международной академии холода. 2022. № 2. С. 48–55.

6. Ржавская Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1976. 470 с.

7. 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.

8. Новиков В. Ю. и др. Кинетические закономерности ферментативного гидролиза белков тканей гидробионтов: эффект способа внесения фермента // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18. С. 100–109.

9. Extraction of Oil from Mackerel Fish Processing Waste using Alcalase Enzyme / Ramakrishnan V. et al. // Enzyme Engineering. 2013. V. 2. N 2. P. 1000115.

10. Linder M., Fanni J., Parmentier M. Proteolytic extraction of salmon oil and PUFA concentration by lipases // Mar Biotechnol (NY). 2005. V. 7. N 1. P. 70–76.

11. Norziah M. H., Nuraini J., Lee K.Y. Studies on the Extraction and Characterization of Fish Oil From Wastes of Seafood Processing Industry // Asian Journal of Food and AgroIndustry. 2009. V. 2. N 4. P. 959–973.

12. Investigation on oil extraction methods and its influence on omega-3 content from cultured salmon/ Deepika D. et al. // Journal of Food Processing and Technology. 2014. V. 5. N 12. P. 1–13.

13. Chantachum S., Benjakul S., Sriwirat N. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads // Food chemistry. 2000. V. 69. N 3. P. 289–294.

14. Chiodza K., Goosen N. J. Influence of mixing speed, solids concentration and enzyme dosage on dry solids yield and protein recovery during enzymatic hydrolysis of sardine (*Sardina pilchardus*) processing by-products using Alcalase 2.4L: A multivariable optimisation approach // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2003. V. 1. P. 1–23.

References

1. Aitta E. et al. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus* membras). *Foods*. 2021, V. 147. N 8. P. 1811.
2. Ozogul F. et al. Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. V. 116. P. 559–582.
3. Araujo J. et al. Enzymatic Hydrolysis of Fish Waste as an Alternative to Produce High Value-Added Products. *Waste Biomass*, 2021. V. 12. P. 847–855.
4. Jamshidi A., Cao H., Xiao J., Simal-Gandara J. Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*. 2020. V. 137. P. 10935.
5. Dambarovich L. V., Agafonova S. V. Fermentativnaya ekstraktsiya zhira iz vtorichnogo syr'ya atlanticheskoy skumbrii i ego ispol'zovanie v funktsional'nom pitanii [Enzymatic extraction of oil from Atlantic mackerel waste and its use in functional nutrition]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 2, pp. 48–55.
6. Rzhavskaya F. M. Zhiry ryb i morskikh mlekopitayushchikh [Oils of fish and marine mammals]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1976, 470 p.
7. 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 Publ., 1980, 610 p.
8. Novikov V. Yu et al. Kineticheskie zakonomernosti fermentativnogo gidroliza belkov tkaney gidrobiontov: effekt sposoba vneseniya fermenta [Kinetic of enzymatic hydrolysis of hydrobiont tissue proteins: effect of the enzyme application method]. *Vestnik MGTU*, 2015, vol. 18, pp. 100–109.
9. Ramakrishnan V. et al. Extraction of Oil from Mackerel Fish Processing Waste using Alcalase Enzyme. *Enzyme Engineering*. 2013. V. 2. N 2. P. 1000115.
10. Linder M., Fanni J., Parmentier M. Proteolytic extraction of salmon oil and PUFA concentration by lipases. *Mar Biotechnol* (NY). 2005. V. 7. N 1. P. 70–76.
11. Norziah M. H., Nuraini J., Lee K. Y. Studies on the Extraction and Characterization of Fish Oil From Wastes of Seafood Processing Industry. *Asian Journal of Food and AgroIndustry*. 2009. V. 2. N 4. P. 959–973.
12. Deepika D. et al. Investigation on oil extraction methods and its influence on omega-3 content from cultured salmon. *Journal of Food Processing and Technology*. 2014. V. 5. N 12. P. 1–13.
13. Chantachum S., Benjakul S., Sriwirat N. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. *Food chemistry*. 2000. V. 69. N 3. P. 289–294.

14. Chiodza K., Goosen N. J. Influence of mixing speed, solids concentration and enzyme dosage on dry solids yield and protein recovery during enzymatic hydrolysis of sardine (*Sardina pilchardus*) processing by-products using Alcalase 2.4 L: A multivariable optimisation approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2003. V. 1. P. 1–23.

Информация об авторах

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

А. В. Андрюхин – кандидат технических наук, заведующий лабораторией стандартизации и нормирования

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

Information about the authors

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

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

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

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 15.10.2024; принята к публикации 18.10.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 15.10.2024; accepted for publication 18.10.2024.