

УДК 664.951.014:639.55:627.8

Исследование процесса выделения жира из отходов рыбопереработки в качестве сырья для биотехнологического синтеза полигидроксиалканоатов

Д-р техн. наук **О. Я. МЕЗЕНОВА**¹,
канд. техн. наук **С. В. АГАФОНОВА**, канд. техн. наук **Н. Ю. РОМАНЕНКО**,
Н. С. КАЛИНИНА, **В. В. ВОЛКОВ**

Калининградский государственный технический университет

¹E-mail: mezenova@klgtu.ru

Показана рациональность выделения и использования рыбного жира из вторичного рыбного сырья для использования в различных целях. В связи с высокой склонностью рыбного жира к окислительной и гидролитической порче актуально использовать его для микробиологического синтеза биоразлагаемых пластиков полигидроксиалканоатов. Традиционным способом выделения жира из рыбного сырья является термический. Целью работы являлось изучение влияния температуры и продолжительности термического воздействия на рыбное вторичное сырье в водной среде для обоснования его максимального выхода с показателями качества, благоприятными для синтеза полигидроксиалканоатов. Объектами исследования являлись наиболее массовые жиросодержащие отходы рыбопереработки предприятий Калининградской области. Это головы копченой кильки (отходы производства консервов «Шпроты в масле»), внутренностей судака (отходы кулинарных производств), головы скумбрии атлантической (отходы консервного производства). Установлена динамика изменения степени гидролиза жира (кислотное число), накопления продуктов первичного окисления (перекисное число), концентрации продуктов вторичного окисления (тиобарбитуровое и анизидиновое числа), степени непереносимости жира (йодное число), содержания низкомолекулярных жирных кислот (число омыления), чистоты триацилглицеридов (неомыляемые вещества), содержания нежелательных примесей в образцах жира, полученных при термическом воздействии в диапазоне температур от 40 °С до 130 °С. Наиболее рациональным режимом выделения жира из всех рыбных отходов является процесс термического воздействия при 90–100 °С в течение 40 мин при соотношении смеси сырья и воды 1:1 и скорости перемешивания 15 оборотов/мин. Этот режим позволяет получать жир в количестве от 9 до 21 % от массы сырья с минимальным содержанием нежелательных веществ. Полученные по рациональным режимам жиры из отходов рыбопереработки обладают характеристиками, благоприятными для микробного синтеза разрушаемых биопластиков — полигидроксиалканоатов.

Ключевые слова: жиросодержащие рыбные отходы, рыбный жир, кислотное число, перекисное число, тиобарбитуровое число, анизидиновое число, йодное число, число омыления, неомыляемые вещества, примеси нежирового характера, полигидроксиалканоаты.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 29.12.2023, одобрена после рецензирования 25.01.2024, принята к печати 30.01.2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-1-50-59

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В. Исследование процесса выделения жира из отходов рыбопереработки в качестве сырья для биотехнологического синтеза полигидроксиалканоатов // Вестник Международной академии холода. 2024. № 1. С. 50–59. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-1-50-59

The process of fat extraction from fish processing waste as a raw material for biotechnological synthesis of polyhydroxyalkanoates

D. Sc. O. Ja. MEZENOVA¹,
Ph. D. S. V. AGAFONOVA, Ph. D. N. Yu. ROMANENKO,
N. S. KALININA, V. V. VOLKOV

Kaliningrad State Technical University

E-mail: mezenova@klgtu.ru

The rationality of extracting and using fish oil from secondary fish raw materials for various purposes is shown. Due to the high tendency of fish oil to oxidative and hydrolytic deterioration, it is important to use it for the microbiological synthesis of biodegradable polyhydroxyalkanoate plastics. The traditional method of extracting fat from fish raw materials is thermal one. The purpose of the work was to study the influence of temperature and duration of thermal exposure on fish secondary

raw materials in an aquatic environment to substantiate its maximum yield with quality indicators favorable for the synthesis of polyhydroxyalkanoates. The objects of the study were the most abundant fat-containing waste from fish processing enterprises in the Kaliningrad region. These are: heads of smoked sprat (waste from the production of canned food «Sprats in Oil»), entrails of pike perch (waste from culinary production), heads of Atlantic mackerel (waste from canning production). The following parameters have been analyzed in fat samples obtained by thermal exposure in the temperature range of from 40 °C to 130 °C: the dynamics of changes in the degree of hydrolysis of fat (acid number), accumulation of primary oxidation products (peroxide number), concentration of secondary oxidation products (thiobarbituric and anisidine numbers), degree of unsaturation of fat (iodine number), the content of low molecular weight fatty acids (ohm number), purity of triacylglycerides (unsaponifiable substances), and the content of undesirable impurities. The most rational mode for extracting fat from all fish waste is the process of thermal exposure at 90–100 °C for 40 minutes with a mixture ratio of raw materials and water of 1:1 and a mixing speed of 15 revolutions/min. This mode allows obtaining fat in an amount from 9 to 21 % by weight of the raw material with a minimum content of undesirable substances. Fats from fish processing waste obtained according to rational regimes have characteristics favorable for the microbial synthesis of destructible bioplastics — polyhydroxyalkanoates.

Keywords: Fat-containing fish waste, fish oil, acid number, peroxide number, thiobarbituric number, anisidine number, iodine number, number of saponifications, uninfected substances, low -fat impurities, polyhydroxyalkanoates.

Article info:

Received 29/12/2023, approved after reviewing 25/01/2024, accepted 30/01/2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-1-50-59

Article in Russian

For citation:

Mezenova O. Ja., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V. The process of fat extraction from fish processing waste as a raw material for biotechnological synthesis of polyhydroxyalkanoates. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2024. No 1. p. 50–59. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-1-50-59

Введение

Необходимость комплексной переработки сырья водного происхождения и рационального использования рыбных отходов отражена в «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 года». Особенно актуально получать из вторичного рыбного сырья полезные продукты, обладающие добавленной стоимостью. В настоящее время около 30 млн тонн общего мирового вылова гидробионтов теряется в виде отходов при производстве рыбной продукции [1]. В последние годы в России ежегодно вылавливают от 4,8 до 5 млн тонн рыбы и морепродуктов, при этом по многим технологиям (производство консервов, пресервов, рыбной кулинарии) от 50 % и выше массы сырья в виде отходов от разделки недоиспользуется, несмотря на высокий органический потенциал [2].

Особенностью рыбных отходов является их быстрая порча по причине активных гидролитических и окислительных процессов в жире, идущих параллельно с автолитическими и микробиологическими изменениями в белках. Использование данного сырья по этой причине в пищевых и кормовых целях является трудной задачей, поскольку подпорченное сырье уже содержит токсичные вещества [3, 4].

Все рыбные отходы (голова, кости, кожа, чешуя, внутренности, плавники) являются жиросодержащим сырьем, поскольку в их состав входят жиры, выполняющие важные физиологические функции при жизни рыб. Количество и качественный состав жирных кислот сильно варьируется в зависимости от вида рыбы и ткани (от 0,3 % до 63,8 %). Целесообразно использовать рыбный жир из отходов в любом качественном состоянии, поскольку он обладает уникальными природными свойствами [5, 6, 7]. В отличие от животных, рыбный жир имеет жидкую консистенцию, которая обусловлена по-

вышенным количеством полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) семейств омега 3, 6, 7 и 9, в нем также содержатся ценные фосфолипиды, сапонины, каротиноиды, витамины F, A и D [8, 9].

Традиционные технологии позволяют получать из жиросодержащего рыбного сырья пищевой, медицинский, ветеринарный, технический рыбные жиры, разработаны технологии изготовления биодобавок (витаминные препараты и концентраты ПНЖК, фосфолипиды) [1, 4, 9–12]. Для этих продуктов применяют свежие жиросодержащие туловищные ткани и печень рыб, а жиры рыб из задержанного сырья и рыбных отходов, в которых уже начались процессы гидролитической и окислительной порчи, в настоящее время не находят промышленного применения [12]–[14].

Разработаны технологии получения из низкосортных рыбных жиров биодизеля [15]–[17], антиадгезионных и смазочных материалов, однако они широкого не используются из-за ресурсной ограниченности и наличия высоко функциональных и более дешевых аналогов. В настоящее время показана возможность использования животного жира, в том числе рыбного, в качестве источника углеродного субстрата для синтеза новых видов биоразлагаемых пластиков — полигидроксиалканоатов (ПГА), обладающих высокими технологическими свойствами [18]–[21]. В нашей стране этим вопросом занимается научная школа Института Биофизики (ИБФ) РАН и Сибирского Федерального университета (СФУ) в г. Красноярске под руководством профессора Воловой Т. Г. [22]–[26].

Получение биоразлагаемых пластиков нового поколения является актуальным направлением развития биотехнологии. Сдерживающим фактором в производстве ПГА является их высокая стоимость, обусловленная, прежде всего, стоимостью сырья. В качестве субстратов

для культивирования микроорганизмов, осуществляющих биосинтез ПГА, в настоящее время используются углекислый газ и водород, сахара, спирты, органические кислоты, отходы спиртовой, сахарной, гидролизной промышленности [24]–[26]. В связи с этим использование в качестве субстрата для синтеза ПГА нового источника углерода — жира вторичного рыбного сырья — является перспективным.

Преимуществом рыбных жиров из рыбных отходов, в том числе некондиционного качества, является наличие повышенного количества длинноцепочечных ПНЖК (18–22 °С), что благоприятно для развития микроорганизмов, синтезирующих ПГА [22, 23]. Имеющиеся публикации свидетельствуют о рациональности микробиологической биоконверсии рыбных жиров в ПГА с помощью отходов ПГА-синтезирующих микроорганизмов [27]–[29].

Для исследования данной возможности первоначально перспективно обосновать рациональные режимы выделения жира из наиболее массовых рыбных отходов. В Калининградской обл. к такому сырью можно отнести головы копченой кильки (отходы шпротного производства), головы скумбрии атлантической и внутренности балтийского судака. По статистике в регионе, в среднем за сутки накапливается около 10–12 тонн шпротных отходов, 2–3 тонны голов скумбрии и около 500 кг внутренностей судака. В данном сырье содержание жира колеблется от 12–22% (головы кильки и скумбрии) до 45–52% (внутренности судака). Этот жир содержит 37–43% ПНЖК, при этом до 30–35% массы всех ПНЖК приходится на высоконепредельные длинноцепочечные эйкозапентаеновую (ЭПК, 22:5) и докозагексаеновую (ДГК, 22:6) жирные кислоты. Это свидетельствует о высоком питательном биопотенциале рыбного жира, необходимым для получения ПГА биотехнологическим путем [22, 23].

Цель и задачи исследования

Целью исследования являлось изучение влияния основных факторов термического способа выделения жира из жиродержащих рыбных отходов (головы копченой кильки и скумбрии, внутренности судака) для обоснования рациональных режимов, при которых выход жира будет максимальным, а его показатели — наиболее благоприятными для синтеза ПГА.

Для достижения поставленной цели исследовали влияние основных факторов процесса термической экстракции рыбного жира в водной среде из данного сырья (температуры и продолжительности обработки) на показатели его качества и физико-химические характеристики, отражающие его природу, свойства и потенциальную стойкость в хранении.

Поставленные задачи решались в следующем порядке:

1. Изучение характеристик жира при различных температурах и продолжительности термического способа его выделения из рыбных отходов при температурах от 40 до 130 °С.

2. Установление максимального выхода жира из данных рыбных отходов и обоснование наиболее благоприятного режима для его качества.

3. Обоснование возможности использования выделенного жира для использования в качестве источника углерода при микробном синтезе разрушаемых биопластиков — полигидроксикарбоанатов.

Материалы и методы исследования

При проведении экспериментов использовали жиродержащие рыбные отходы рыбоконсервных заводов ООО «РосКон» и АО «Калининградский тарный комбинат» (рис. 1–3).

В рыбных отходах определяли общий химический состав — массовые доли воды, белка, жира и минеральных веществ по методикам, регламентированным ГОСТ 7636.

Основным фактором, максимально воздействующим на количество и качество выделяемого жира термическим путем, является температура, что подтверждается многолетним опытом успешного применения термического метода получения жира [3, 4, 6, 8, 12–14].

Термический процесс выделения жира проводили в специальном оборудовании на водяной бане с термостатом и в термореакторе, под давлением в рубашке 0,15 МПа (рис. 4, а, б). Рыбный жир выделяли путем предварительного смешивания измельченного рыбного сырья с горячей водой заданной температуры в соотношении 1:1 и выдерживания определенное количество времени при постоянном перемешивании смеси со скоростью 15 об/мин. В экспериментах варьировали температуру от 40 до 130 °С. Из жидкой фазы экстрагированный жир выделяли центрифугированием и декантированием (рис. 4, в).

Показатели качества и физико-химические характеристики жира определяли по следующим методикам: кислотное число (КЧ), перекисное число (ПЧ), йодное число (ЙЧ), число омыления (ЧО), содержание неомыляемых веществ (СНВ), содержание примесей нежирового характера (СПНХ) по ГОСТ 7636; анизидиновое число (АЧ) по ГОСТ 31756; тиобарбитуровое число (ТБЧ) по ГОСТ Р 55810–2013; содержание массовой доли влаги (В) по ГОСТ 11812.

Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами статистического анализа на 95 %-м доверительном уровне. Приведенные данные являются средневзвешенными значениями из 3-х параллельных определений.

Результаты исследования, их обсуждение

Химический состав исследованных рыбных отходов, свидетельствующий о наличии в них жира на уровне 14–16% (в рыбных головах) и более 40% (во внутренностях судака), приведен в табл. 1.

Из исследованных рыбных отходов термическим способом были получены три вида рыбного жира, внешний вид которых приведен на рис. 5

Из рис. 5 видно, что жир из голов копченой кильки обладает темно-коричневым цветом, непрозрачный; он характеризовался специфическим ароматом, характерным для консервов «Шпроты в масле» или копченых сельдевых рыб. Жир из голов скумбрии имеет светло-оранжевую окраску, мутноватый; он обладал специфическим запахом с характерными для скумбриевых рыб



Рис. 1. Головы копченой балтийской кильки (отходы производства консервов «Шпроты в масле»)

Fig. 1. Heads of smoked Baltic sprat (the waste from the production of canned food «Sprats in oil»)



Рис. 2. Головы атлантической скумбрии (отходы производства консервов «Скумбрия натуральная в масле»)

Fig. 2. Atlantic mackerel heads (the waste from the production of canned food «Natural mackerel in oil»)

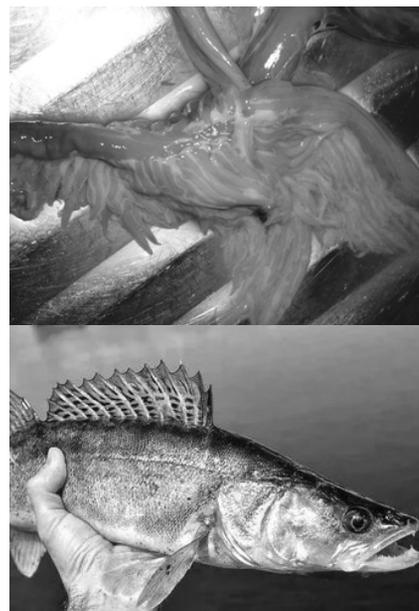


Рис. 3. Внутренности судака балтийского (отходы производства филе и фарша) и внешний вид целого судака

Fig. 3. The insides of Baltic pike perch (the waste from the production of fillet and minced meat) and the appearance of a whole pike perch



б

в

Рис. 4. Оборудование для выделения жира из жиросодержащего рыбного сырья: а — терморектор; б — лабораторная водяная баня; в — центрифуга для отделения жира от рыбной суспензии, скорость 3500 об/мин

Fig. 4. Equipment for extracting fat from fat-containing fish raw materials: а — thermoreactor; б — laboratory water bath; в — centrifuge for the separation of fat from a fishing suspension, speed is 3500 vol/min

Общий химический состав исследованных рыбных отходов

Таблица 1

General chemical composition of the fish waste under investigation

Table 1

Виды вторичного сырья	Компоненты, %			
	вода	жир	белок	зола
Головы скумбрии атлантической	65,4	15,9	14,6	4,1
Головы копченой кильки	61,6	14,3	18,3	5,8, в т. ч. поваренная соль 1,8
Внутренности судака	39,4	42,1	17,3	1,2

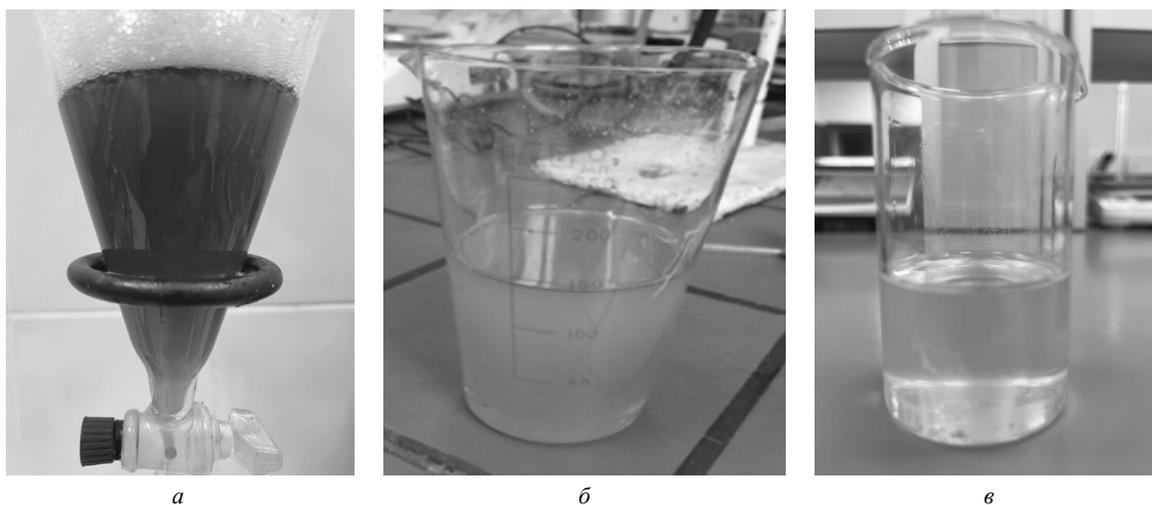


Рис. 5. Внешний вид выделенных рыбных жиров из:
 а — головы копченой кильки; б — головы скумбрии; в — внутренности судака
 Fig. 5. Appearance of extracted fish fats from:
 а — the heads of smoked sprats; б — mackerel heads; в — the insides of pike perch

оттенками окисленности. Жир из внутренних органов судака был ярко-желтым, прозрачным, имел характерный для свежеполученного жира рыбный запах, без порочащих признаков.

Результаты оценки показателей качества и физико-химических характеристик жира, полученных из голов копченой кильки, голов атлантической скумбрии и внутренностей судака термическим методом при разных условиях, приведены соответственно в табл. 2–4.

Из данных табл. 2 следует, что выход жира из голов копченой кильки максимален при самой жесткой высокотемпературной обработке (130 °С) в течение 40 мин и составляет 10,9% массы сырья. Однако при этом все показатели качества выделяемого жира наихудшие, сви-

детельствующие об интенсивных гидролитических и окислительных процессах (КЧ=21,6 мг КОН/г жира). Следствием этого является накопление вторичных продуктов окисления (АЧ=19,9; ТЧ=1,62 ед. оптической плотности), уменьшение значений йодного числа (130 г йода/100 г жира), рост числа омыления (200,3 мг КОН/г жира), увеличение содержания нежелательных примесей (влаги, неомыляемых веществ, компонентов нежирового характера соответственно до значений: 3,60%, 0,20%, 0,70%.

Наилучшими значениями показателей качества отличается жир, выделенный при умеренных температурно-временных параметрах (температура 90 °С в течение 20 мин), однако при этом выход жира минимальный и составляет всего 5,3% массы сырья. Кислотное, пере-

Таблица 2
Влияние температуры и продолжительности термического способа извлечения жира из голов копченой кильки на характеристики жира

Table 2
The effects of the temperature and duration of the thermal method of extracting fat from the heads of smoked sprats on the characteristics of fat

Показатели	Температура обработки (Т, °С), при τ=40 мин				Продолжительность обработки (τ, мин), при Т=90 °С			
	40	70	100	130	20	40	60	90
Выход жира, г/100 г сырья	6,1	8,3	9,5	10,9	5,3	7,3	8,1	9,8
<i>Показатели качества жира</i>								
Кислотное число, мг КОН/г жира	7,6	17,0	19,7	21,6	9,6	12,5	16,8	19,6
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	20,1	20,5	18,7	6,6	15,6	16,4	17,5	8,3
Тиобарбитуровое число, ед. оптической плотности	0,23	0,25	0,56	1,62	0,34	0,37	0,44	0,88
Анизидиновое число, у. е.	12,5	15,6	17,3	19,9	13,4	14,3	16,4	17,1
Йодное число, г йода/ 100 г жира	157,3	155,9	148,8	130,0	156,3	152,7	145,5	136,7
Число омыления, мг КОН/г жира	183,1	184,0	196,0	200,3	183,5	183,7	183,9	193,1
<i>Физико-химические характеристики жира</i>								
Неомыляемые вещества, %	2,88	3,29	3,31	3,60	2,71	3,11	3,45	3,67
Содержание влаги, %	0,30	0,30	0,25	0,20	0,31	0,30	0,28	0,25
Содержание примесей нежирового характера, %	0,80	0,90	0,70	0,70	0,91	0,87	0,77	0,72

Таблица 3

Влияние температуры и продолжительности термического способа извлечения жира из голов скумбрии на характеристики жира

Table 3

The effects of temperature and duration of the thermal method of extracting fat from mackerel heads on fat characteristics

Показатели	Температура обработки (T, °C), при τ=40 мин				Продолжительность обработки, (τ, мин), при T=90 °C			
	40	70	100	130	20	40	60	90
Выход, г/100 г сырья	6,1	7,3	8,5	9,3	5,3	7,8	8,1	8,4
<i>Показатели качества жира</i>								
Кислотное число, мг КОН/г жира	14,7	22,7	30,1	42,8	29,3	32,1	35,7	39,5
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	411,1	225,3	216,4	48,5	145,1	215,8	256,9	89,6
Тиобарбитуровое число, ед. оптической плотности	2,82	1,60	1,60	1,60	2,23	2,34	3,24	3,09
Анизидиновое число, у. е.	13,5	19,5	21,6	5,4	12,6	13,1	14,8	19,3
Йодное число, г йода / 100 г жира	176,9	184,2	184,7	180,4	185,3	183,2	182,1	179,8
Число омыления, мг КОН/г жира	196,0	196,9	197,2	197,7	196,1	196,4	196,9	197,2
<i>Физико-химические характеристики жира</i>								
Неомыляемые вещества, %	4,80	2,92	3,71	4,05	3,12	3,26	3,46	3,73
Содержание влаги, %	0,80	0,50	0,40	0,60	0,78	0,67	0,52	0,49
Содержание примесей нежирового характера, %	2,10	1,80	2,20	2,20	1,97	2,05	2,12	2,20

Таблица 4

Влияние температуры и продолжительности термического способа извлечения жира из внутренностей судака на характеристики жира

Table 4

The effects of temperature and duration of the thermal method of extracting fat from the insides of pike perch on the characteristics of fat

Показатели	Температура обработки (T, °C), при τ=40 мин; Н=1:1				Продолжительность обработки, (τ, мин), при T=90 °C; Н=1:1			
	40	70	100	130	20	40	60	90
Выход, г/100 г сырья	16,1	18,3	21,5	23,9	16,3	19,8	21,1	22,8
<i>Показатели качества жира</i>								
Кислотное число, мг КОН/г жира	10,1	14,2	20,5	45,7	7,8	8,9	13,7	21,3
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	20,9	20,9	39,7	43,7	12,5	18,7	20,9	32,7
Тиобарбитуровое число, ед. оптической плотности	0,47	0,52	0,55	1,62	0,45	0,53	0,67	0,98
Анизидиновое число, у. е.	1,7	2,5	3,7	11,0	1,9	2,3	3,6	8,3
Йодное число, г йода/ 100 г жира	129,4	129,5	127,8	115,9	130,7	129,6	123,4	119,7
Число омыления, мг КОН/г жира	201,2	202,1	202,5	203,2	201,1	202,3	203,5	203,8
<i>Физико-химические характеристики жира</i>								
Неомыляемые вещества, %	0,83	0,83	1,20	1,22	0,87	0,91	0,98	1,12
Содержание влаги, %	0,40	0,40	0,20	0,30	0,38	0,35	0,28	0,24
Содержание примесей нежирового характера, %	1,10	1,10	1,10	0,80	1,08	0,98	0,92	0,85

кисное, тиобарбитуровое, анизидиновое, йодное числа такого жира имеют соответствующие значения 9,6 мг КОН/г жира; 15,6 ммоль активного кислорода/кг; 0,34 ед. оптической плотности; 13,4 у. е.; 156,3 г йода / 100 г жира.

Наиболее благоприятным режимом термического способа выделения жира из голов копченой кильки с позиции полноты выделения и его качества представляется воздействие на данное сырье при температуре 90 °C в течение 90 мин. В данном случае выход жира достаточно высокий (9,8%), а показатели его качества по значениям КЧ, ПЧ и АЧ имеют количественные уровни, допустимые для биотехнологического использования в микробном синтезе ПГА в качестве источника углерода (соответственно 19,6 мг КОН/г жира, 8,3 ммоль активно-кислорода/кг жира и 17,1 у. е.) [22, 23, 27–29].

Из данных табл. 3 следует, что выход жира из голов скумбрии также максимален при самой жесткой высокотемпературной обработке (130 °C) в течение 40 мин. и составляет 9,3% массы сырья. Однако при этом все показатели качества выделяемого жира имеют очень высокие значения, свидетельствующие об интенсивных гидролитических и окислительных процессах, кроме анизидинового и тиобарбитурового чисел (АЧ=5,4; ТБ=1,6 ед. оптической плотности).

Следует отметить, что жир из голов скумбрии является единственным, полученным из мороженого рыбного сырья, т. к. скумбрия атлантическая — океаническая рыба, которая вылавливается и замораживается на промысле, т. е. в море. Этот фактор негативно сказывается на качестве жира. Липазы сырья и его микроорганизмов

работают даже при температура хранения мороженой рыбы минус 18 °С, при этом повышаются его кислотные и перекисные числа (КЧ во всех образцах 14,7–42,8 мг КОН/г жира, ПЧ — 48,5–411,1 ммоль активного кислорода/кг). Независимо от режима обработки, выход жира не высокий и колеблется в пределах 5,3–9,3 массы сырья, что объясняется высоким содержанием костей и коллагеновых белков в рыбных головах.

Наиболее благоприятным режимом термического способа выделения жира из голов атлантической скумбрии представляется термический процесс при температуре воздействия 100 °С в течение 40 мин. В данном случае выход жира также достаточно высокий для данного сырья (8,5% массы сырья), а показатели КЧ, ПЧ, ТЧ и АЧ имеют значения (соответственно 30,1 мг КОН/г жира; 216,4 ммоль активного кислорода/кг; 1,6 ед. оптической плотности; 21,6 у. е.), свидетельствующие о содержании свободных жирных кислот и продуктов окисления на уровне, допустимом в жировом субстрате для микробного синтеза белка и биоразрушаемых пластиков — полигидроксикарбоновых кислот [18, 20, 22, 23].

Особенностью термического процесса выделения жира из внутренностей судака является отсутствие в них жестких коллагено-минеральных тканей, что является положительным моментом для эффективности и позволяет получать относительно повышенный выход жира (16,1–23,9%). Из данных табл. 3 следует, что извлечение жира из данного сырья также максимально при высокотемпературной обработке под давлением при 130 °С в течение 40 мин и составляет 23,9% массы сырья. Такое жесткое воздействие имело следствием повышение всех характеристик выделяемого жира.

Анализ полученных значений характеристик жира (табл. 4) показывает, что наиболее благоприятные значения показателей качества выделенный жир имеет при краткосрочном тепловом воздействии в течение 20 мин при температуре 90 °С. Соответствующие показатели качества имеют умеренно пониженные значения: КЧ=7,8 мг КОН/г жира; ПЧ=12,5 ммоль активного кислорода/кг; ТЧ=0,45 ед. оптической плотности.

Наиболее благоприятными режимами термического способа выделения жира из внутренностей судака представляется воздействие при температуре 100 °С в течение 40 мин (высокий выход 21,5% при благоприятных значениях характеристик жира) или обработка температурой 90 °С в течение 40 мин (не очень высокий выход 19,8%), но при этом достигается минимальное значение кислотного числа (8,9 мг КОН/г жира) при умеренных значениях других характеристик.

Анализ результатов, полученных на разных образцах жира, выделенного из жиросодержащих отходов рыбопереработки при различных режимах термического способа (см. табл. 2–4), позволяет констатировать следующее.

1. Полнота извлечения жира из данного сырья зависит от его вида и режима обработки; количество выде-

ляемого жира увеличивается с ростом температуры и времени, однако при этом ухудшаются значения показателей его характеристик (кислотного, перекисного, анизидинового, тиобартитурового и йодного чисел, числа омыления, содержания влаги, неомыляемых веществ и веществ нежирового характера).

2. Образцы жира, полученные из трех видов отходов рыбопереработки по исследованным режимам, независимо от значений его характеристик, могут быть использованы в качестве источника углерода для биотехнологического синтеза белка и биоразлагаемых пластиков ПГА; однако предпочтительнее для этого использовать режимы выделения, способствующие максимальному выходу жира при наилучших показателях его качества [22, 23, 27].

Выводы

1. Изучены показатели качества и физико-химические характеристики жира, извлеченного термическим способом из голов копченой кильки, голов скумбрии атлантической и внутренностей судака водной экстракцией при температурах от 40 до 130 °С. Установлена динамика изменения кислотного числа, перекисного числа, тиобартитурового и анизидинового чисел, йодного числа, числа омыления, содержания неомыляемых веществ, воды и примесей нежирового характера в зависимости от температуры и продолжительности термического воздействия на измельченное сырье при гидромодуле 1:1 и скорости перемешивания 15 об/мин.

2. Максимальный выход жира из всех видов рыбных отходов установлен при обработке сырья в водной среде при температуре 130 °С в течение 40 мин. и составляет 9,3% (головы скумбрии); 10,9% (головы копченой кильки); 23,9% (внутренности судака). При этом значения показателей качества жира являются наименьшими, в них идут интенсивные гидролитические и окислительные процессы (кислотное число 21,6–45,7 мг КОН/г; перекисное число 6,6–48,5 ммоль активного кислорода/кг жира). Наиболее благоприятным для качества и количества жира при выделении из всех видов сырья является температурное воздействие в диапазоне 90–100 °С в течение 40 мин.

3. Предлагаемые режимы выделения жира из жиросодержащих рыбных отходов позволяют получать жир в количестве от 9 до 21 % от массы сырья с минимальным содержанием нежелательных веществ (свободных жирных кислот, перекисей, низкомолекулярных продуктов вторичного окисления, воды, примесей нежирового характера, неомыляемых веществ). Выделенные жиры можно считать благоприятным углеродным субстратом для микробного синтеза разрушаемых биопластиков — полигидроксикарбоновых кислот.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-10007, <https://rscf.ru/project/23-64-10007/>

Литература

1. Мезенова О. Я. Современная пищевая биотехнология: основные проблемы и вызовы // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 35–46. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46.
2. Мезенова О. Я. Потенциал вторичного рыбного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2018. № 1. С. 11–18. DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-1-5-10.
3. Разработка технологии получения жира из жиросодержащих отходов переработки промысловых рыб Волжско-Каспийского бассейна / М. Д. Мукатова, Н. А. Киричко, М. С. Моисеенко, С. А. Соколов // Известия ТИПРО. 2018. Т. 193. С. 211–222. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-211-222.
4. Мезенова О. Я., Тишлер Д., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю., Волков В. В., Бараненко Д. А., Гримм Т., Ридель С. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58
5. Nahidur Rahman, Shaharior Hashem, Shireen Akther, Jakia Sultana Jothi. Impact of various extraction methods on fatty acid profile, physicochemical properties, and nutritional quality index of Pangus fish oil. // Food Science & Nutrition. 2023. Vol. 11 (8). DOI: 10.1002/fsn3.3431
6. Pinela José, Fuente Beatrizdela, Rodrigues Matilde et al. Fish By-Products into Bioactive Fish Oil: The Suitability of Microwave-Assisted Extraction. // Biomolecules. 2022. Vol. 13 (1). DOI: 10.3390/biom13010001
7. Обоснование рациональных режимов термического выделения липидов из жиросодержащих рыбных отходов / О. Я. Мезенова, С. В. Агафонов, Н. Ю. Романенко, Н. С. Калинина, В. В. Волков // Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 103–110. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-99-106.
8. Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов / О. Я. Мезенова, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, Н. С. Калинина, В. В. Волков, Л. В. Дамбарович // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 103–114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114.
9. Оценка безопасности и биологической ценности очищенного жира из вторичного шпротного сырья / С. В. Агафонова, О. Я. Мезенова, Л. В. Дамбарович // Известия вузов. Пищевая технология, 2023, 4 (393). С. 123–128. DOI: 10.26297/0579–3009.2023.4.21.
10. Боева Н. П., Бредихина О. В., Петрова М. С., Баскакова Ю. А. Технология жиров из водных биологических ресурсов: монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 107 с.
11. Ella Aitta, Alexis Marsol-Vall, Annelie Damerou and Baoru Yang. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*). // Foods. 2021, 10 (8), 1811. DOI: 10.3390/foods10081811
12. Агафонова С. В., Байдалинова Л. С. Технология функциональных продуктов на основе липидных комплексов гидробионтов, стабилизированных природными антиоксидантами. Монография. Калининград: Изд-во КГТУ. 2020. 101 с.
13. 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. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-48-55

References

1. Mezenova O. Ya. Modern food biotechnology: main problems and challenges. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2023. No 1. p. 35–46. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46 (in Russian)
2. Mezenova O. Ya. Potential of secondary fish raw materials // *News of higher educational institutions. Food technology*, 2018. No. 1. pp. 11–18. DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-1-5-10 (in Russian)
3. Development of technology for obtaining fat from fat-containing waste from the processing of commercial fish in the Volga-Caspian basin / M. D. Mukatova, N. A. Kirichko, M. S. Moiseenko, S. A. Sokolov. *Izvestia TINRO*. 2018. vol. 193. pp. 211–222. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-211-222 (in Russian)
4. Mezenova O. Ya., Tischler D., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Volkov V. V., Baranenko D. A., Grimm T., Riedel S. Research and rational use of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 1. p. 46–58. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58 (in Russian)
5. Nahidur Rahman, Shaharior Hashem, Shireen Akther, Jakia Sultana Jothi Impact of various extraction methods on fatty acid profile, physicochemical properties, and nutritional quality index of Pangus fish oil. 2023. *Food Science & Nutrition*. 11 (8) DOI: 10.1002/fsn3.3431.
6. Pinela José, Fuente Beatrizdela, Rodrigues Matilde et al. Fish By-Products into Bioactive Fish Oil: The Suitability of Microwave-Assisted Extraction. 2022. *Biomolecules* 13 (1). DOI: 10.3390/biom13010001.
7. Justification of rational regimes for thermal separation of lipids from fat-containing fish waste / O. Ya. Mezenova, S. V. Agafonov, N. Yu. Romanenko, N. S. Kalinina, V. V. Volkov. *Fisheries*. 2023. No. 4. pp. 103–110. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-99-106 (in Russian)
8. Potential and prospects for the use of fat from smoked fish waste / O. Ya. Mezenova, S. V. Agafonova, N. Yu. Romanenko, N. S. Kalinina, V. V. Volkov, L. V. Dambarovich. *News of KSTU*. 2023. No. 70, pp. 103–114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114. (in Russian)
9. Assessing the safety and biological value of purified fat from recycled sprat raw materials / S. V. Agafonova, O. Ya. Mezenova, L. V. Dambarovich. *News of universities. Food Technology*, 2023, 4 (393). From 123–128. DOI: 10.26297/0579–3009.2023.4.21 (in Russian)
10. Boeva N. P., Bredikhina O. V., Petrova M. S., Baskakova Yu. A. Technology of fats from aquatic biological resources: monograph. M.: Publishing house VNIRO, 2016. 107 p. (in Russian)
11. Ella Aitta, Alexis Marsol-Vall, Annelie Damerou and Baoru Yang. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*). *Foods*. 2021, 10 (8), 1811. DOI: 10.3390/foods10081811
12. Agafonova S. V., Baidalinova L. S. Technology of functional products based on lipid complexes of aquatic organisms stabilized by natural antioxidants. Monograph. Kaliningrad: Publishing house KSTU. 2020. 101 p. (in Russian)
13. Dambarovich L. V., Agafonova S. V. Enzymatic extraction of oil from Atlantic mackerel waste and its use in functional nutrition. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 2. p. 48–55. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-48-55 (in Russian)

14. Мезенова О. Я., Максимова С. Н. Получение биодизеля из жира вторичного крабового сырья // Известия ТИНРО. 2023. С. 75–81. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-686-694.
15. Мукатова М. Д. Обоснование и разработка технологии производства биодизеля из жиродержащих рыбных отходов. / М. Д. Мукатова, Ч. Н. Тхи. // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2012. № 2. С. 158–163.
16. Петров Б. Ф. Антифрикционная смазка на основе жировых отходов рыбообработывающих предприятий // Хранение и переработка сельхозсырья, 2012. № 7. С. 49–51.
17. Новые подходы к технологии рыбьего жира из голов лососевых рыб/ Н. П. Боева, М. С. Петрова, А. Г. Артемова, Ю. А. Баскакова // Труды ВНИРО. Технология переработки водных биоресурсов. 2015. Т. 158. С. 162–166.
18. Thuoc D. V. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* sp. M91 // *Anh Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021, Vol. 57. No. 2. pp. 219–225. DOI: 10.1016/j. btre. 2022. e00700.
19. Correa-Galeote David, Argiz Lucia, Val del Rio Angeles, Mosquera-Corral Anuska, Juarez-Jimenez Belen, Gonzalez-Lopez Jesus and Rodelas Belen. Dynamics of PHA-Accumulating Bacterial Communities Fed with Lipid-Rich Liquid Effluents from Fish-Canning Industries // *Polymers*. 2022. 14. 1396. DOI: 10.3390/polym14071396.
20. Doan Van Thuoc, Dam Ngoc My, Tran Thi Loan, Kumar Sudesh. Utilization of waste fish oil and glycerol as carbon sources for polyhydroxyalkanoate production by *Salinivibrio* sp. M318 // *International Journal of Biological Macromolecules*. 1 December 2019. Vol. 141. pp. 885–892. DOI: 10.1016/j. ijbiomac. 2019.09.063.
21. Gonzalez-Cabaleirob Rebeca, Correa-Galeotec David, Val del Rio Angeles, Mosquera-Corralla Anuska. Open-culture biotechnological process for triacylglycerides and polyhydroxyalkanoates recovery from industrial waste fish oil under saline conditions Lucia Argiza // *Separation and Purification Technology* 270 (2021) 118805. DOI: 10.1016/j. seppur. 2021.118805.
22. Отходы рыбопереработки — перспективный субстрат для синтеза целевых продуктов биотехнологии / Жила Н. О., Волков В. В., Мезенова О. Я., Киселев Е. Г., Волова Т. Г. // Журнал СФУ. Биология. 2023. Т. 16 (3). С. 386–397.
23. Properties of degradable polyhydroxyalkanoates synthesized from new waster fish oils (WFO) / N. O. Zhila, E. G. Kiselev, V. V. Volkov, O. Ya. Mezenova, K. Yu. Sapozhnikova, E. I. Shishatskaya, and T. G. Volova // *Int J Mol Sci*. 2023. Oct 5; 24 (19):14919. DOI: 10.3390/ijms241914919.
24. Volova T., Demidenko A., Kiselev E., Baranovskii S., Shishatskaya E. and Zhila N. Polyhydroxyalkanoate Synthesis Based on Glycerol and Implementation of the Process under Conditions of Pilot Production. // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. no 103 (1) p. 225–37. DOI: 10.1007/s00253-018-9460-0
25. Volova T. G. Kiselev E. G., Zhila N. O., Shishatskaya E. I. Synthesis of PHAs by Hydrogen Bacteria in a Pilot Production Process // *Biomacromol*. 2019. no 20. pp. 3261–3270. DOI: 10.1021/acs. biomac. 9b00295.
26. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. Cupriavidus necator B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils. // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. No 164. p. 121–130. DOI: 10.1016/j. ijbiomac. 2020.07.095
14. Mezenova O. Ya., Maksimova S. N. Production of biodiesel from recycled crab fat. *Izvestia TINRO*. 2023. P. 75–81. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-686-694 (in Russian)
15. Mukatova M. D. Justification and development of technology for the production of biodiesel from fat-containing fish waste. / M. D. Mukatova, Ch. N. Thi. *Bulletin of ASTU. Series: Fisheries*. 2012. No. 2. P. 158–163. (in Russian)
16. Petrov B. F. Anti-friction lubricant based on fatty waste from fish processing enterprises. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2012. No. 7. P. 49–51. (in Russian)
17. New approaches to the technology of fish oil from salmon heads / N. P. Boeva, M. S. Petrova, A. G. Artemova, Yu. A. Baskakova. *Proceedings of VNIRO. Technology for processing aquatic biological resources*. 2015. vol. 158. pp. 162–166 (in Russian)
18. Thuoc D. V. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* sp. M91. *Anh Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021. Vol. 57. No. 2, pp. 219–225. DOI: 10.1016/j. btre. 2022. e00700.
19. Correa-Galeote David, Argiz Lucia, Val del Rio Angeles, Mosquera-Corral Anuska, Juarez-Jimenez Belen, Gonzalez-Lopez Jesus and Rodelas Belen. Dynamics of PHA-Accumulating Bacterial Communities Fed with Lipid-Rich Liquid Effluents from Fish-Canning Industries. *Polymers*. 2022. 14. 1396. DOI:10.3390/polym14071396.
20. Doan Van Thuoc, Dam Ngoc My, Tran Thi Loan, Kumar Sudesh. Utilization of waste fish oil and glycerol as carbon sources for polyhydroxyalkanoate production by *Salinivibrio* sp. M318. *International Journal of Biological Macromolecules*. 1 December 2019. Vol. 141. pp. 885–892. DOI: 10.1016/j. ijbiomac. 2019.09.063.
21. Gonzalez-Cabaleirob Rebeca, Correa-Galeotec David, Val del Rio Angeles, Mosquera-Corralla Anuska. Open-culture biotechnological process for triacylglycerides and polyhydroxyalkanoates recovery from industrial waste fish oil under saline conditions Lucia Argiza. *Separation and Purification Technology*. 270 (2021) 118805. DOI: 10.1016/j. seppur. 2021.118805.
22. Fish processing waste is a promising substrate for the synthesis of target biotechnology products / Zhila N. O., Volkov V. V., Mezenova O. Ya., Kiselev E. G., Volova T. G. *Journal of SFU. Biology*. 2023. T. 16 (3). P. 386–397. (in Russian)
23. Properties of degradable polyhydroxyalkanoates synthesized from new waster fish oils (WFO) / N. O. Zhila, E. G. Kiselev, V. V. Volkov, O. Ya. Mezenova, K. Yu. Sapozhnikova, E. I. Shishatskaya, and T. G. Volova // *Int J Mol Sci*. 2023. Oct 5; 24 (19):14919. DOI: 10.3390/ijms241914919.
24. Volova T., Demidenko A., Kiselev E., Baranovskii S., Shishatskaya E. and Zhila N. Polyhydroxyalkanoate Synthesis Based on Glycerol and Implementation of the Process under Conditions of Pilot Production. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. no 103 (1), pp. 225–37. DOI: 10.1007/s00253-018-9460-0
25. Volova T. G. Kiselev E. G., Zhila N. O., Shishatskaya E. I. Synthesis of PHAs by Hydrogen Bacteria in a Pilot Production Process. *Biomacromol*. 2019. no 20. pp. 3261–3270. DOI: 10.1021/acs. biomac. 9b00295.
26. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. Cupriavidus necator B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. No 164. p. 121–130. DOI: 10.1016/j. ijbiomac. 2020.07.095

27. Kanokphorn Sangkharak1 & Nisa Paichid1 & Tewan Yunul & Sappasith Klomklao2 & Poonsuk Prasertsan3. Utilisation of tuna condensate waste from the canning industry as a novel substrate for polyhydroxyalkanoate production // *Biomass Conversion and Biorefinery*. (2021) 11:2053–2064 <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00581-4>
28. Saad Victoria, Gutschmann Bjo, Grimm Thomas, Widmer Torsten, Neubauer Peter, Riedel Sebastian L. Low-quality animal by-product streams for the production of PHA-biopolymers: fats, fatprotein-emulsions and materials with high ash content as low-cost feedstocks // *Biotechnol Lett*. (2021) 43:579–587. DOI: 10.1007/s10529-020-03065-y (0123456789).
29. Tran Thi Loana, Dao Thi Quynh Tranga, Pham Quang Huy, Pham Xuan Ninhd, Doan Van Thuoca. A fermentation process for the production of poly (3-hydroxybutyrate) using waste cooking oil or waste fish oil as inexpensive carbon substrate // *Biotechnology Reports*. March 2022. Vol. 33. DOI: 10.1016/j.btre. 2022. e00700.
27. Kanokphorn Sangkharak1 & Nisa Paichid1 & Tewan Yunul & Sappasith Klomklao2 & Poonsuk Prasertsan3. Utilisation of tuna condensate waste from the canning industry as a novel substrate for polyhydroxyalkanoate production. *Biomass Conversion and Biorefinery*. (2021) 11:2053–2064 <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00581-4>
28. Saad Victoria, Gutschmann Bjo, Grimm Thomas, Widmer Torsten, Neubauer Peter, Riedel Sebastian L. Low-quality animal by-product streams for the production of PHA-biopolymers: fats, fatprotein-emulsions and materials with high ash content as low-cost feedstocks. *Biotechnol Lett*. (2021) 43:579–587. DOI: 10.1007/s10529-020-03065-y (0123456789).
29. Tran Thi Loana, Dao Thi Quynh Tranga, Pham Quang Huy, Pham Xuan Ninhd, Doan Van Thuoca. A fermentation process for the production of poly (3-hydroxybutyrate) using waste cooking oil or waste fish oil as inexpensive carbon substrate. *Biotechnology Reports*. March 2022. Vol. 33. DOI: 10.1016/j.btre. 2022. e00700.

Сведения об авторах

Мезенова Ольга Яковлевна

Д. т. н., профессор, зав. кафедрой пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022 Россия, Калининград, Советский пр., 1, mezenova@klgtu.ru. ORCID 0000-0002-4716-2571

Агафонова Светлана Викторовна

К. т. н., доцент кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022 Россия, Калининград, Советский пр. 1, svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

Романенко Наталья Юрьевна

К. т. н., доцент кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022 Россия, Калининград, Советский пр. 1, nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

Калинина Наталья Сергеевна

Зав. лабораториями кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022 Россия, Калининград, Советский пр. 1, natalya.kalinina@klgtu.ru, ORCID 0000-0003-0942-5411

Волков Владимир Владимирович

Директор Центра белка кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022 Россия, Калининград, Советский пр., 1, vladimir.volkov@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-5560-7131

Information about authors

Mezenova Olga Ja.

D. Sc., Professor, Chair of the Department of Food Biotechnology of Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetskiy pr. 1, mezenova@klgtu.ru. ORCID 0000-0002-4716-2571

Agafonova Svetlana V.

Ph. D., Associate Professor of the Department of Food Biotechnology of Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetskiy pr. 1, svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

Romanenko Natalya Yu.

Ph. D., Associate Professor of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetskiy pr. 1, nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

Kalinina Natalya S.

Head of the Laboratory of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetskiy pr. 1, natalya.kalinina@klgtu.ru, ORCID 0000-0003-0942-5411

Volkov Vladimir V.

Director of the Protein Center of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetskiy pr. 1, vladimir.volkov@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-5560-7131



Статья доступна по лицензии
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»