

УДК 664.951.014: 639.55: 627.8

Исследования по оптимизации ферментативного процесса выделения жира из вторичного рыбного сырья для использования в биотехнологии

Д-р техн. наук О. Я. МЕЗЕНОВА¹, канд. техн. наук С. В. АГАФОНОВА,
канд. техн. наук Н. Ю. РОМАНЕНКО, Н. С. КАЛИНИНА, В. В. ВОЛКОВ,
Л. В. ДАМБАРОВИЧ, Д. С. ФЕДОРОВ, О. С. ФЕДОРОВА,
Д. В. ЯЧНИКОВ

Калининградский государственный технический университет

¹E-mail: mezenova@klgtu.ru

Актуальность использования рыбного жира из отходов рыбопереработки обусловлена масштабностью проблемы, высокой биологической ценностью жира и его низкой хранимоспособностью. Целью исследования являлась оптимизация ферментативной экстракции жира из жиросодержащих рыбных отходов для микробного синтеза продуктов биотехнологии. В качестве сырья использовали головы копченой кильки и скумбрии, внутренности судака с содержанием жира 20,3–42,1%. Планирование экспериментов осуществляли на основе ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для трех факторов (температура, продолжительность, дозировка фермента алкалазы). Частными откликами являлись выход жира, его кислотное и перекисное числа. Установлено, что с увеличением дозировки фермента и продолжительности обработки выход жира увеличивается, а показатели качества ухудшаются. Количество извлекаемого жира варьируется от 24,9% до 42,1% от его содержания в сырье, кислотное число (мг КОН/г) изменяется от 5,7 (килька) до 21,7 (скумбрия), перекисное число (ммоль акт. кислорода/кг жира) — от 9,1 (килька) до 107,2 (скумбрия). Получены математические модели в кодированном и натуральном виде, связывающие факторы ферментализации с частными откликами и обобщенным параметром оптимизации. Проанализированы изменения показателей качества и выхода жира в зависимости от каждого из факторов и их совокупностей, определены области локализации экстремумов поверхностей откликов. Рекомендуемые режимы ферментализации, в зависимости от вида рыбного сырья: температура 45–65 °С; продолжительность 25–65 мин; дозировка алкалазы 0,35–0,45%. Выделенный жир по своим показателям может быть использован в качестве источника углерода для микробного синтеза продуктов биотехнологии — белков и биополимеров полигидроксиалканоатов.

Ключевые слова: рыбные отходы, рыбный жир, кислотное число, перекисное число, выход жира, ферментализация, микробный синтез, продукты биотехнологии.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 08.04.2024, одобрена после рецензирования 24.05.2024, принята к печати 13.06.2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-43-55

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Дамбарович Л. В., Федоров Д. С., Федорова О. С., Ячников Д. В. Исследования по оптимизации ферментативного процесса выделения жира из вторичного рыбного сырья для использования в биотехнологии. // Вестник Международной академии холода. 2024. № 3. С. 43–55. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-43-55

Optimization of the enzymatic process of fat isolation from secondary fish raw materials for use in biotechnology

D. Sc. O. Ya. MEZENOVA¹, Ph. D. S. V. AGAFONOVA, Ph. D. N. Yu. ROMANENKO, N. S. KALININA,
V. V. VOLKOV, L. V. DAMBAROVICH, D. S. FEDOROV, O. S. FEDOROVA, D. V. YACHNIKOV

Kaliningrad State Technical University

¹Email: mezenova@klgtu.ru

The relevance of using fish oil from fish processing waste is due to the scale of the problem, the high biological value of the fat, and its low storability. The purpose of the study was to optimize the enzymatic extraction of fat from fat-containing fish waste for microbial synthesis of biotechnology products. The raw materials used were smoked sprat and mackerel heads and pike perch entrails with a fat content of 20.3–42.1%. The design of experiments was carried out on the basis of a second-order orthogonal central compositional design for three factors (temperature, duration, and dosage of the alkalase enzyme).

Particular responses were the yield of fat, its acid, and peroxide values. It has been established that with increasing enzyme dosage and processing time, fat yield increases and quality indicators deteriorate. The amount of extracted fat varies from 24.9% to 42.1% of its content in the raw material, the acid number (mg KOH/g) varies from 5.7 (sprat) to 21.7 (mackerel), peroxide number (mmol act. oxygen/kg fat) — from 9.1 (sprat) to 107.2 (mackerel). Mathematical models were obtained in coded and natural form, demonstrating the interrelation between enzymolysis factors with partial responses and a general optimization parameter. Changes in quality indicators and fat yield depending on each of the factors and their combinations were analyzed, and the areas of localization of extremums of response surfaces were determined. Recommended modes of enzymolysis, depending on the type of fish raw material are: the temperature 45–65 °C; the duration 25–65 minutes; Alcalase dosage 0.35–0.45%. According to its characteristics, the isolated fat can be used as a carbon source for the microbial synthesis of biotechnology products — proteins and biopolymers of polyhydroxyalkanoates.

Keywords: fish waste, fish oil, acid value, peroxide value, fat yield, fermentolysis, microbial synthesis, biotechnology products.

Article info:

Received 08/04/2024, approved after reviewing 24/05/2024, accepted 13/06/2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-43-55

Article in Russian

For citation:

Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Dambarovich L. V., Fedorov D. S., Fedorova O. S., Yachnikov D. V. Optimization of the enzymatic process of fat isolation from secondary fish raw materials for use in biotechnology. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2024. No 3. p. 43-55. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-3-43-55

Введение

В рыбной промышленности России ежегодно в виде отходов остается огромное количество рыбных тканей, богатых природным жиром. Из 4,8–5,0 млн тонн ежегодно вылавливаемого водного сырья аккумулируется в виде непищевых частей от 2 до 3 млн тонн, содержащих 250–400 тыс. тонн ценного жира, биопотенциал которого недоиспользуется. Переработка жиросодержащих рыбных отходов, подверженных быстрой порче, является в настоящее время актуальной задачей [1]–[3]. Несмотря на высокую склонность к гидролитическим и окислительным процессам, рыбный жир обладает высокой биологической ценностью, обусловленной повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в том числе уникальных эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой жирных кислот (ДГК) семейства Омега-3 [4]–[7]. В ряде исследований показано, что жир рыбных отходов может быть благоприятным субстратом в качестве источника углерода для микробного синтеза белков и биоразлагаемых полигидроксиалканоатов [8, 9, 10]. Представляется перспективным извлечение жира из наиболее массового жиросодержащих рыбных отходов для получения востребованных продуктов биотехнологии. При этом становится возможным достижение комплексности использования биопотенциала рыбных отходов [11, 12, 13].

Например, установлено, что в отходах от разделки скумбрии, сельди, судака (основных промысловых видов рыб) содержание жира колеблется от 12 до 52 %, при этом уровень ПНЖК составляет 37–43 % всех жирных кислот, а 30–35 % массы всех ПНЖК приходится на высоконепредельные длинноцепочечные ЭПК и ДГК [2, 4, 14, 15]. Этот возобновляемый жировой ресурс представляет интерес для промышленной биотехнологии.

Для использования рыбного жира в биотехнологических целях его необходимо извлечь с максимальной полнотой. Процесс жировой экстракции возможно осуществить с применением физических способов (терми-

ческий, механический, электромагнитный), химическим путем (кислотный и/или щелочной гидролиз, экстракция органическим растворителем) и биотехнологической обработкой (ферментация протеолитическими ферментами) [2, 16]. В связи с высокой чувствительностью рыбного жира к температурному воздействию и химической обработке перспективным способом его извлечения из коллагенсодержащих рыбных отходов представляется ферментативный, при котором мягко гидролизуются оболочки жировых клеток, позволяя жиру самотеком отделяться от органической массы [15, 17, 18].

Цель и задачи исследования

Целью исследования являлось обоснование рациональных режимов ферментативного способа выделения жира из жиросодержащих рыбных отходов, при которых выход жира будет максимальным, а его показатели наиболее благоприятными для синтеза продуктов биотехнологии.

Для достижения поставленной цели проведено исследование влияния основных факторов ферментативной обработки рыбных отходов протеолитическим ферментом алкалазой, варьируя дозировку фермента, температуру и продолжительность ферментации с применением математического планирования и оптимизации эксперимента при определении его массового выхода и показателей окислительной и гидролитической порчи (кислотного и перекисного чисел).

Материалы и методы исследования

При проведении экспериментов использовали жиросодержащие рыбные отходы 3-х видов (головы скумбрии и копченой балтийской кильки, внутренности балтийского судака). Для ферментативного способа выделения жира использовали протеолитический фермент микробного происхождения алкалаза (Alcalase 2,5L). Из жидкой фазы, образующейся при ферментации, жир выделяли центрифугированием и декантированием.

Для оптимизации процесса выделения жира использовали математическое планирование эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) 2-го порядка для 3-х факторов. Основными изменяемыми факторами, влияющими на количество и качество получаемого жира, являлись температура (X_1) и продолжительность (X_2) ферментации, а также дозировка фермента (X_3), которые устанавливали априори. В качестве частных откликов использовали: кислотное число (Y_1) жира и перекисное число (Y_2) жира, выход жира (Y_3). Обобщенный параметр оптимизации (Y) рассчитывали с применением метода «приближения к идеалу», значение которого в каждой конкретной партии жира уточняли, исходя из его природных особенностей.

В рыбных отходах определяли массовые доли воды, белка, жира и минеральных веществ по методикам, регламентированным ГОСТ 7636. Показатели качества выделенного рыбного жира: кислотное число (КЧ) и перекисное число (ПЧ) определяли по ГОСТ 7636.

Полученные данные обрабатывали по алгоритмам ОЦКП с применением методов статистического анализа на 95 %-м доверительном уровне.

Результаты исследования, их обсуждение

Химический состав жиросодержащих рыбных отходов, использованных в эксперименте, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Общий химический состав исследованных рыбных отходов

Table 1

General chemical composition of the studied fish waste

Вид рыбного сырья	Содержание компонентов, %			
	вода	липиды	протеин	минеральные вещества
Головы скумбрии	56,4	24,9	14,6	4,1
Головы копченой кильки	55,6	20,3	18,3	5,8
Внутренности судака	39,2	42,1	17,3	1,2

Результаты экспериментов по оптимизации выделения жира из голов скумбрии и копченой кильки, внутренностей судака, полученных при обработке ферментом алкалазой, приведены в табл. 2.

«Идеалы» частных откликов, использованные для расчета обобщенного параметра оптимизации, приведены в табл. 3.

После математической обработки экспериментальных данных были получены зависимости в кодированном и натуральном виде, связывающие частные отклики и обобщенный параметр оптимизации с факторами выделения жира из рыбных отходов (табл. 4).

Из данных табл. 4 видно, что все модели индивидуальны, имеют различные значения коэффициентов при переменных факторах, значения которых обусловлены природными особенностями сырья и изначально-го качества жира. Практически во всех случаях с увеличением продолжительности ферментации растет выход жира, но при этом увеличиваются значения его перекисного и кислотного чисел, что свидетельствует об ухудшении качества жира. Значения коэффициентов в кодированных моделях, иллюстрирующие силу влияния фактора, показывают, что для всех видов сырья наибольшее влияние на все отклики оказывает температура ферментации, а наименьшее — дозировка фермента. При этом не все модели имеют экстремальный геометрический характер, свидетельствующий о наличии координат оптимума (расчетных оптимальных значений факторов) в искомой области. Например, модели процесса выделения жира из скумбрии не имеют решения ни по одному из вариантов оптимизации по всем варьируемым факторам. В связи с этим для отыскания приемлемого решения по рациональному режиму ферментативного выделения жира из данного сырья провели анализ полученных результатов с использованием двухфакторных моделей, полученных при фиксировании одного из факторов на предполагаемом оптимуме при варьировании оставшихся факторов. Соответствующие поверхности откликов, характеризующие динамику изменения частных откликов при ферментативном выделении жира из рыбных отходов, приведены в табл. 5.

Из данных табл. 5 видно, что двухфакторные модели процесса ферментативного выделения жира в геометрической интерпретации имеют экстремальные точки перегибов своих поверхностей, что позволяет в данных областях отыскать рациональные значения изменяемых факторов в зависимости от конкретного частного отклика.

Следующим этапом в достижении цели исследования являлся анализ натуральных значений откликов в зависимости от изменения одного из факторов при фиксировании двух других факторов на предполагаемом оптимуме. Результаты, представленные в виде диаграмм, приведены на рис. 1–3.

Таблица 3

«Идеальные» значения частных откликов, принятые для расчета обобщенного параметра оптимизации математических моделей выделения жира

Table 3

«Ideal» values of partial responses adopted for calculating the generalized parameter for optimizing mathematical models of fat release

Обозначение частного отклика	Наименование фактора	Значения «идеала»		
		Головы копченой кильки	Внутренности судака	Головы скумбрии
Y_1	Кислотное число, мг КОН/1 г жира	4	4	10
Y_2	Перекисное число, ммоль (1/2O) активного кислорода/кг жира	10	10	20
Y_3	Выход жира, %	15	20	10

Таблица 2

**План математического моделирования экспериментов
по выделению жира из жиросодержащих рыбных отходов и результаты его реализации**

Table 2

**Plan for mathematical modeling of the experiments
on the extraction of fat from fat-containing fish waste and the results of its implementation**

Содержание плана	План эксперимента			Частные отклики			Обобщенный параметр оптимизации Y
	Температура, °C, $X_1, (X)$	Время, мин $X_2, (Y)$	Дозировка фермента, %, $X_3, (Z)$	Y_1 , КЧ, мг КОН/1 г жира	Y_2 , ПЧ, ммоль активного кислорода/кг жира	Y_3 , выход жира, % от массы сырья	
<i>Головы копченой кильки</i>							
План 2^3	60	90	0,4	6,7	18,7	13,2	1,2269
	40	90	0,4	6,5	13,1	13,2	0,5011
	60	30	0,4	6,4	17,5	12,6	0,9481
	40	30	0,4	6,5	9,7	14,4	0,3931
	60	90	0,1	6,3	18,2	13,2	1,0174
	40	90	0,1	6,3	9,0	12,6	0,3662
	60	30	0,1	5,8	11,6	11,8	0,2736
	40	30	0,1	6,2	9,0	14,1	0,3025
«Звездная» точка с плечом $\alpha=1,215$, $2k=6$	62	60	0,25	5,7	13,6	13,0	0,3280
	38	60	0,25	6,4	9,0	13,2	0,3844
	50	96,5	0,25	7,2	9,6	13,0	0,6594
	50	23,5	0,25	6,4	9,1	12,0	0,4081
	50	60	0,43	6,9	11,4	14,4	0,5468
Нулевая точка	50	60	0,07	6,4	10,4	13,4	0,3730
<i>Внутренности судака</i>							
План 2^3	60	90	0,5	19,3	14,6	18,6	16,6136
	40	90	0,5	21,6	34,5	18,0	41,9796
	60	30	0,5	18,9	6,9	17,8	13,8188
	60	30	0,5	18,9	6,9	17,8	13,8188
	60	90	0,2	20,6	13,8	18,8	18,8988
	40	90	0,2	23,2	30,9	19,4	40,1224
	60	30	0,2	18,4	7,0	17,2	12,9377
	40	30	0,2	20,4	17,3	19,4	20,3846
«Звездная» точка с плечом $\alpha=1,215$, $2k=6$	60	60	0,35	19,7	12,9	18,6	16,7685
	40	60	0,35	22,0	26,8	15,8	32,2894
	50	96,5	0,35	5,9	16,9	14,6	3,5747
	50	23,5	0,35	5,4	8,8	16,1	0,3758
	50	60	0,55	5,5	14,7	9,8	2,5224
Нулевая точка	50	60	0,15	5,8	11,4	12,9	1,1507
<i>Головы скумбрии</i>							
План 2^3	60	90	0,6	18,1	56,1	7,8	3,9545
	40	90	0,6	17,5	107,2	6,4	19,6799
	60	30	0,6	17,5	40,8	8,4	1,6697
	40	30	0,6	14,9	99,0	7,4	15,8957
	60	90	0,2	17,2	44,0	8,6	1,9780
	40	90	0,2	16,3	80,9	6,0	9,8289
	60	30	0,2	16,6	38,8	8,4	1,3448
	40	30	0,2	14,8	63,3	6,4	5,0472
«Звездная» точка с плечом $\alpha=1,215$, $2k=6$	62	60	0,4	16,5	43,8	7,4	1,9062
	38	60	0,4	16,9	83,0	7,2	10,4770
	50	96,5	0,4	21,7	88,7	6,4	13,2861
	50	23,5	0,4	21,2	52,9	6,8	4,0628
	50	60	0,90	20,8	75,0	6,8	8,8313
Нулевая точка	50	60	0,16	19,2	52,6	5,4	3,7149
Нулевая точка	50	60	0,4	20,2	74,9	6,2	8,7198

Анализ данных рис. 1 показывает, что для достижения максимального выхода жира из голов копченой кильки при минимально возможных значениях его кислотного и перекисного чисел рациональными значениями диапазонов основных факторов ферментализации можно считать: температура 50–60 °С; продолжительность 50–60 минут; дозировка фермента 0,1–0,3% к массе сырья. В данном случае выход жира составляет 13–14% от массы сырья (66,5% от содержания жира), а его кислотное и перекисное числа равны соответственно 5–6 мг КОН/г и 8–9 ммоль активного кислорода /кг жира, что свидетельствует о неглубокой степени гидролиза и окисления жира. Полученные данные перекликаются со значениями частных откликов, рассчитанными при математическом моделировании и оптимизации процесса (табл. 3, 4).

Из данных рис. 2 следует, что для достижения максимального выхода жира из внутренностей судака при максимальном сохранении его качества рациональными режимами ферментализации являются: температура 45–55 °С; продолжительность 55–65 минут; дозировка алкалазы 0,25–0,35% к массе сырья. В данном случае выход жира составляет 17–18% от массы сырья (41,6% от содержания жира), а кислотное и перекисное числа жира имеют приемлемые значения 4–5 мг КОН/г и 6–8 ммоль активного

кислорода /кг жира. Полученные данные согласуются с расчетными значениями частных откликов (табл. 3, 4).

Анализ диаграмм на рис. 3 позволяет сделать вывод, что при ферментативном выделении жира из голов скумбрии для достижения максимального выхода жира (6–7% от массы сырья или 26,1% от содержания жира) при минимально возможных значениях кислотного и перекисного чисел рациональными режимами являются: температура 60–65 °С; продолжительность 25–35 минут; дозировка алкалазы 0,35–0,45% к массе сырья. Полученные данные являются рекомендательными и зависят от исходных характеристик жира. Скумбрия атлантическая относится к океаническому сырью, доставляемому с промысла на переработку в мороженом виде. При доставке и хранении жировая фракция претерпевает значительные изменения, связанные с ее гидролизом и окислением. Этим объясняются высокие значения кислотного и перекисного чисел в изначально полученном жире, а также отсутствие решения при оптимизации ферментативного получения жира методом математического планирования эксперимента с одновременным варьированием трех факторов (табл. 3, 4).

Полученные ферментативной экстракцией из рыбных отходов жиры могут быть использованы в качестве

Таблица 4

Математические модели процесса ферментативного выделения жира из жиросодержащих рыбных отходов*

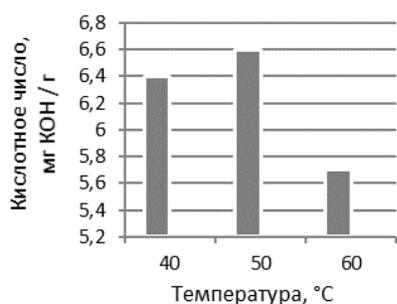
Table 4

Mathematical models of enzymatic separation of fat from fat-containing fish waste*

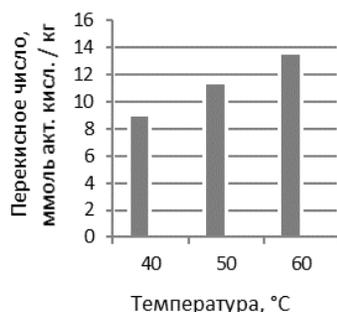
Вид модели	Параметр оптимизации	Расчетные оптимальные значения факторов	Вид математической зависимости
<i>Головы копченой кильки</i>			
Кодированная модель	Обобщенный параметр оптимизации	X=59,8 °С Y=15,3 мин Z=0,03%	$y = 0,3503 + 0,1675x_1 + 0,1369x_2 + 0,1206x_3 + 0,1064x_1x_2 - 0,0526x_2x_3 + 0,0823x_1x_3 + 0,0255x_1^2 + 0,1457x_2^2 + 0,0957x_3^2$
Натуральная модель			$y = 2,0986 - 0,0437x - 0,0297y - 3,3647z + -0,0117yz + 0,0549xz + 4,2533z^2$
Кодированная модель	Кислотное число	X=53,3 °С Y=44,2 мин Z=1,0%	$y = 0,4453 - 0,0246x_1 + 0,0553x_2 + 0,0589x_3 + 0,0228x_1x_2 - 0,0093x_2x_3 + 0,0151x_1x_3 - 0,1237x_1^2 + 0,0318x_2^2 - 0,0069x_3^2$
Натуральная модель			$y = -2,3021 + 0,1142x - 0,0057y + 0,1667z + 0,00008xy - 0,0021yz + 0,0101xz - 0,0012x^2 + -0,3067z^2$
Кодированная модель	Перекисное число	X=42,2 °С Y=69,6 мин Z=0,3%	$y = -0,1069 + 0,1868x_1 + 0,0848x_2 + 0,0658x_3 + 0,0933x_1x_2 - 0,0447x_2x_3 + 0,0681x_1x_3 + 0,1476x_1^2 + 0,1036x_2^2 + 0,1075x_3^2$
Натуральная модель			$y = 4,4343 - 0,1589x - 0,0241y - 3,6242z + 0,0003xy - 0,0099yz + 0,0454xz + 0,0015x^2 + 0,0001y^2 + 4,7778z^2$
Кодированная модель	Выход жира	X=216,2 °С Y=318,6 мин Z=0,2%	$y = 0,0120 + 0,0054x_1 - 0,0032x_2 - 0,0041x_3 - 0,0096x_1x_2 + 0,0013x_2x_3 - 0,0016x_1^2 + 0,0102x_2^2 - 0,0049x_3^2$
Натуральная модель			$y = -0,0329 + 0,0010x + 0,00006y + 0,0909z + 0,0003yz - 0,0005xz - 0,2178z^2$

Вид модели	Параметр оптимизации	Расчетные оптимальные значения факторов	Вид математической зависимости
<i>Внутренности судака</i>			
Кодированная модель	Обобщенный параметр оптимизации	X=50,6 °C Y=31,8 мин Z=0,4%	$y = -1,5485 - 6,6555x_1 + 5,5276x_2 -$ $-0,4059x_3 - 4,8928x_1x_2 + 0,6571x_2x_3 +$ $+0,4130x_1x_3 + 18,0929x_1^2 + 2,8252x_2^2 + 2,7313x_3^2$
Натуральная модель			$y = 459,0714 - 17,8763X + 0,5719Y -$ $-110,2078Z - 0,0163XY + 0,1460YZ +$ $+0,2753XZ + 0,1809X^2 + 0,0031Y^2 + 121,3911Z^2$
Кодированная модель	Кислотное число	X=50,5 °C Y=51,1 мин Z=0,4%	$y = -2,1284 - 1,8564x_1 + 1,5479x_2 -$ $-0,7766x_3 - 0,8261x_1x_2 - 0,5154x_2x_3 +$ $+0,6103x_1x_3 + 14,0653x_1^2 + 2,1043x_2^2 + 2,1010x_3^2$
Натуральная модель			$y = 373,8123 - 14,2281X - 0,0512Y -$ $-84,0131Z - 0,0028XY - 0,1145YZ +$ $+0,4069XZ + 0,1407X^2 + 0,0023Y^2 + 93,3778Z^2$
Кодированная модель	Перекисное число	X=61,4 °C Y=95,4 мин. Z=0,2%	$y = 0,4731 - 4,7963x_1 + 3,9784x_2 +$ $+0,3545x_3 - 4,0641x_1x_2 + 1,1717x_2x_3 -$ $-0,1940x_1x_3 + 4,1016x_1^2 + 0,7743x_2^2 + 0,5918x_3^2$
Натуральная модель			$y = 87,0935 - 3,7231X + 0,6156Y -$ $-25,2043Z - 0,0135XY + 0,2604YZ -$ $-0,1293XZ + 0,0410X^2 + 0,0009Y^2 + 26,3022Z^2$
Кодированная модель	Выход жира	X=52,6 °C Y=59,1 мин Z=0,3%	$y = 0,1068 - 0,0029x_1 + 0,0014x_2 +$ $+0,0161x_3 - 0,0026x_1x_2 + 0,0008x_2x_3 -$ $-0,0033x_1x_3 - 0,0739x_1^2 - 0,0534x_2^2 + 0,0386x_3^2$
Натуральная модель			$y = -1,8308 + 0,0749XX + 0,0075Y -$ $-0,9942Z - 0,0022XZ + 1,7156Z^2$
<i>Головы скумбрии</i>			
Кодированная модель	Обобщенный параметр оптимизации	X=84,3 °C Y=73,7 мин Z — нет решения	$y = 7,5557 - 4,7403x_1 + 2,0717x_2 +$ $+2,6676x_3 - 0,7060x_1x_2 + 0,0818x_2x_3 -$ $-2,2998x_1x_3 - 0,6681x_1^2 + 1,0127x_2^2 - 0,6129x_3^2$
Натуральная модель			$y = -23,0555 + 0,7952X + 0,0462Y +$ $+82,2730Z - 0,0024XY + 0,0136YZ -$ $-1,1499XZ - 0,0067X^2 + 0,0011Y^2 - 15,3225Z^2$
Кодированная модель	Кислотное число	X=53,12 °C Y — нет решения Z=0,35%	$y = 1,2323 + 0,0624x_1 + 0,0727x_2 +$ $+0,0736x_3 - 0,0419x_1x_2 + 0,0216x_2x_3 +$ $+0,0120x_1x_3 - 0,5729x_1^2 + 0,0069x_2^2 - 0,1958x_3^2$
Натуральная модель			$y = -14,6630 + 0,5851X + 0,0070Y +$ $+3,7680Z - 0,0001XY + 0,0036YZ +$ $+0,0060XZ - 0,0057X^2 - 4,8950Z^2$
Кодированная модель	Перекисное число	X=68,56 °C Y=52,91 мин Z — нет решения	$y = 6,1737 - 4,7680x_1 + 1,9860x_2 +$ $+2,6120x_3 - 0,6547x_1x_2 + 0,0526x_2x_3 -$ $-2,3269x_1x_3 - 0,0421x_1^2 + 1,0297x_2^2 - 0,4209x_3^2$
Натуральная модель			$y = -7,4052 + 0,1616X + 0,0345Y +$ $+79,1245Z - 0,0022XY + 0,0088YZ -$ $-1,1635XZ - 0,0004X^2 + 0,0011Y^2 - 10,5225Z^2$
Кодированная модель	Выход жира	X — нет решения Y=163,78 мин Z=3,29%	$y = 0,1497 - 0,0348x_1 + 0,0130x_2 -$ $-0,0179x_3 - 0,0095x_1x_2 + 0,0076x_2x_3 +$ $+0,0152x_1x_3 - 0,0531x_1^2 - 0,0240x_2^2 + 0,0038x_3^2$
Натуральная модель			$y = -0,9874 - 0,0485X + 0,0047Y -$ $-0,6215Z - 0,00003XY + 0,0013YZ +$ $+0,0076XZ + 0,0950Z^2$

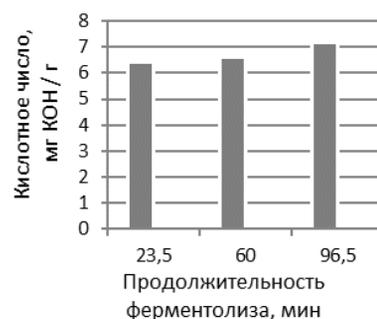
Примечание: x_1 и X; x_2 и Y; x_3 и Z — факторы выделения жира соответственно в кодированном и натуральном виде: температура и продолжительность ферментализа, дозировка фермента.



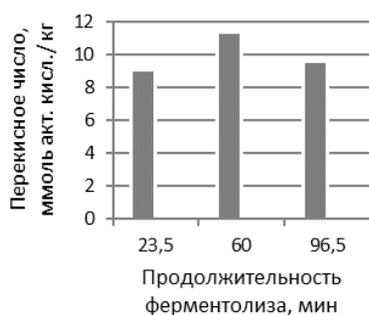
Зависимость кислотного числа жира от температуры (продолжительность ферментализа 1 ч, дозировка алкалазы 0,25%)



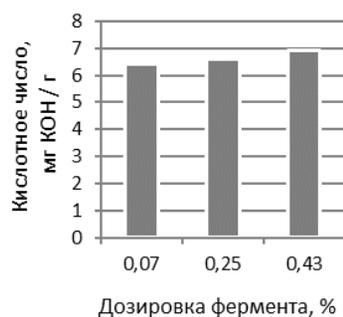
Зависимость перекисного числа жира от температуры (продолжительность ферментализа 1 ч, дозировка алкалазы 0,25%)



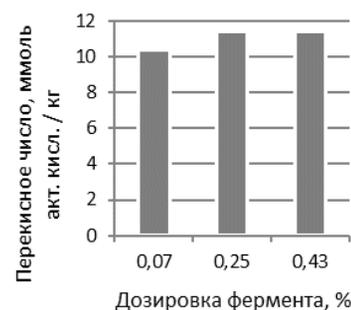
Зависимость кислотного числа жира от продолжительности ферментализа (температура 50 °C, дозировка алкалазы 0,25%)



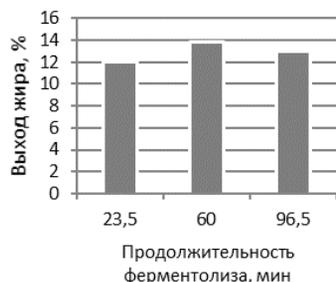
Зависимость перекисного числа жира шпрот от продолжительности ферментализа (температура ферментализа 50 °C, дозировка алкалазы 0,25%)



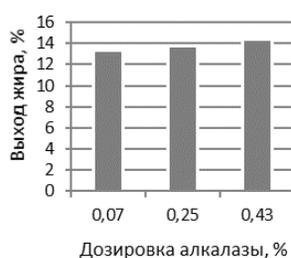
Зависимость кислотного числа жира шпрот от дозировки алкалазы (температура ферментализа 50 °C, продолжительность ферментализа 60 минут)



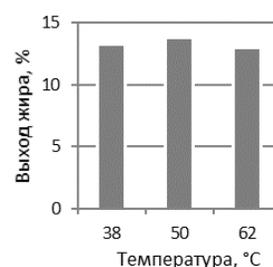
Зависимость перекисного числа жира шпрот от дозировки алкалазы (температура ферментализа 50 °C, продолжительность ферментализа 60 минут)



Зависимость выхода жира шпрот от продолжительности ферментализа (температура ферментализа 50 °C, дозировка алкалазы 0,25%)



Зависимость выхода жира шпрот от дозировки алкалазы (температура ферментализа 50 °C, продолжительность 60 минут)



Зависимость выхода жира шпрот от температуры ферментализа (продолжительность ферментализа 60 минут, дозировка алкалазы 0,25%)

Рис. 1. Диаграммы изменения частных откликов в зависимости от основных факторов при ферментализе голов копченой кильки
 Fig. 1. Diagrams of changes in individual responses depending on the main factors during enzymatic analysis of smoked sprat heads

источника углерода при микробном синтезе продуктов биотехнологии, что подтверждено испытаниями в культуре трех штаммов бактерий *Cupriavidus necator* B-5786, *C. necator* B-8562, *C. necator* B-10646. При варьировании режимов выращивания бактерий и изменении концентрации азота в среде была показана возможность синтеза белковой биомассы или резервных полигидроксиканоатов (ПГА) [12],[18]. На полной среде все штаммы синтезировали высокобелковую биомассу с содержанием «сырого» протеина и белка соответственно не менее 70 и 50 %. При лимитированном росте бактерий по азоту получены высокие (60–70%) выходы ПГА, представленные трехкомпонентными сополимерами поли (3-гидроксипропанат-со-3-гидроксивалерат-со-3-гидроксигексанат) [12, 13, 19, 20].

Выводы

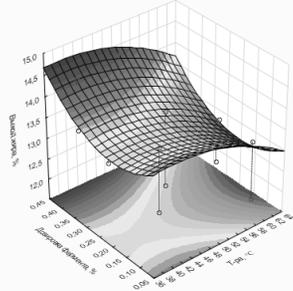
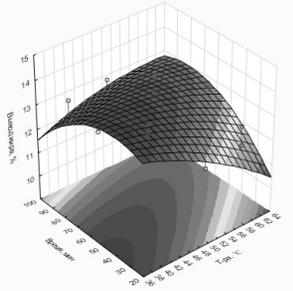
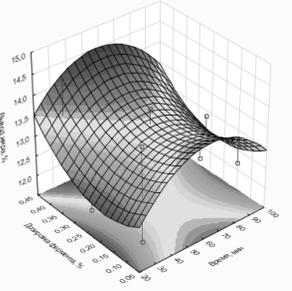
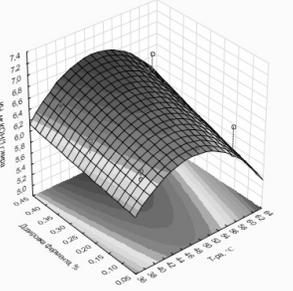
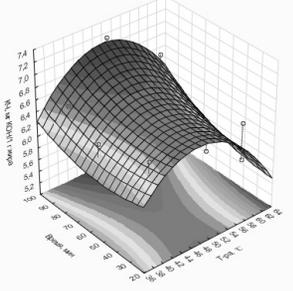
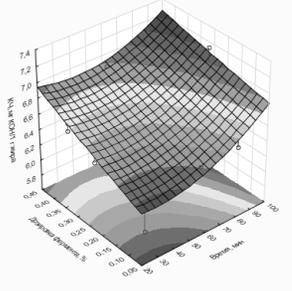
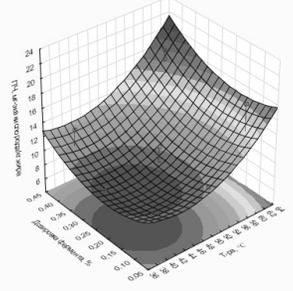
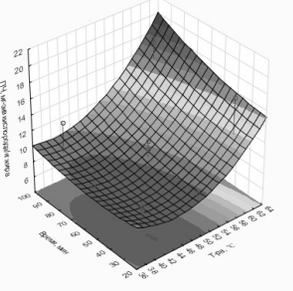
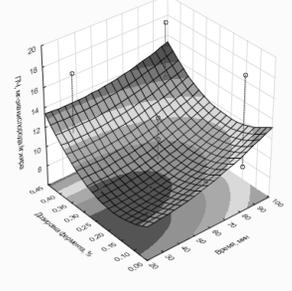
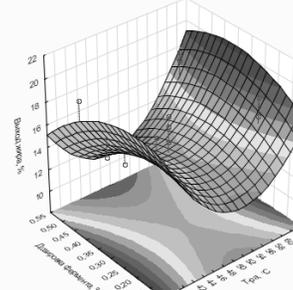
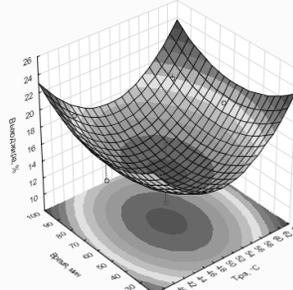
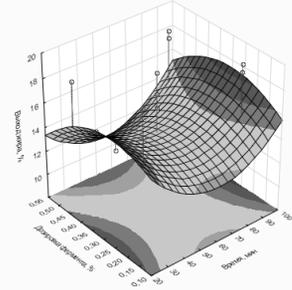
1. С применением математического метода планирования проведены эксперименты по ферментативному способу извлечения жира из жиросодержащих рыбных отходов (голов копченой кильки и скумбрии, внутренностей судака). При обработке экспериментальных данных получены математические модели второго порядка, связывающие выход жира, его кислотное и перекисное число, а также обобщенный параметр оптимизации с основными факторами процесса (дозировка фермента алкалаза, температура и продолжительность процесса).
2. Полученные данные свидетельствует об особенностях ферментативной экстракции жира в зависимости от вида сырья, степени его свежести, предварительной термической обработки и условий ферментализа. С уве-

Таблица 5

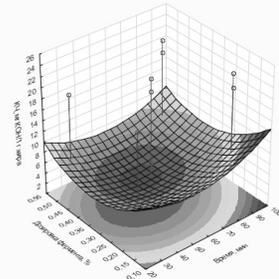
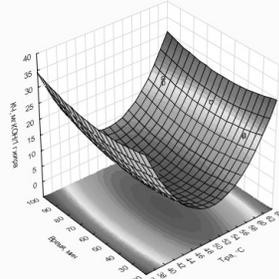
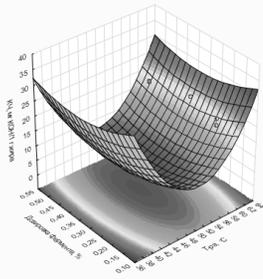
Двухфакторные модели частных откликов ферментативного процесса выделения жира из рыбных отходов

Table 5

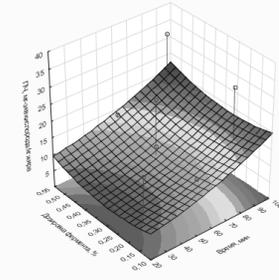
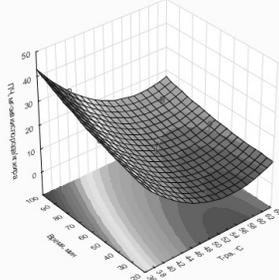
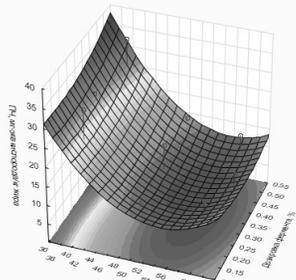
Two-factor models for partial responses of the enzymatic process of fat release from fish waste

Поверхности откликов процесса ферментативного выделения жира из голов копченой кильки в зависимости от:		
температуры и дозировки фермента при времени 60 мин	температуры и времени при дозировке фермента 0,25%	дозировки фермента и времени при температуре 50 °C
<i>Частный отклик — выход жира</i>		
		
<i>Частный отклик — кислотное число жира</i>		
		
<i>Частный отклик — перекисное число жира</i>		
		
Поверхности откликов процесса ферментативного выделения жира из внутренностей судака в зависимости от:		
температуры и дозировки фермента при времени 60 мин	температуры и времени при дозировке фермента 0,35%	дозировки фермента и времени при температуре 50 °C
<i>Частный отклик — выход жира</i>		
		

Частный отклик — кислотное число



Частный отклик — перекисное число



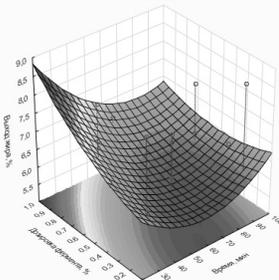
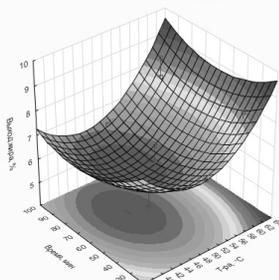
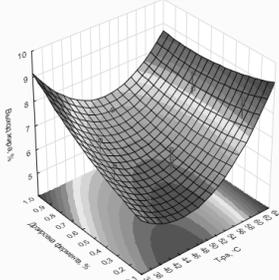
Поверхности откликов процесса ферментативного выделения жира из голов скумбрии в зависимости от:

температуры и дозировки фермента при времени 60 минут

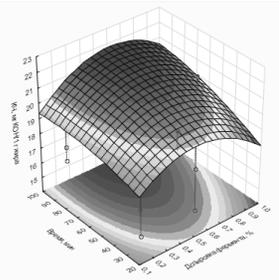
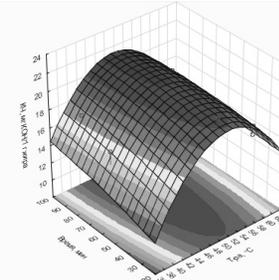
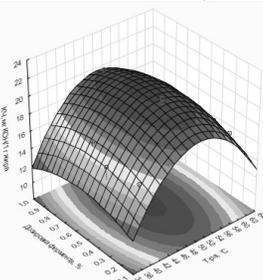
температуры и времени при дозировке фермента 0,4%

дозировки фермента и времени при температуре 50 °С

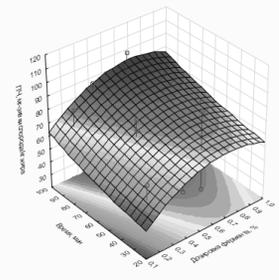
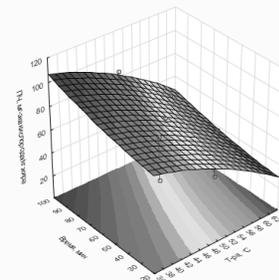
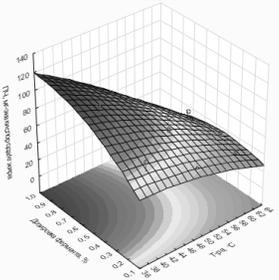
Частный отклик — выход жира



Частный отклик — кислотное число жира



Частный отклик — перекисное число жира



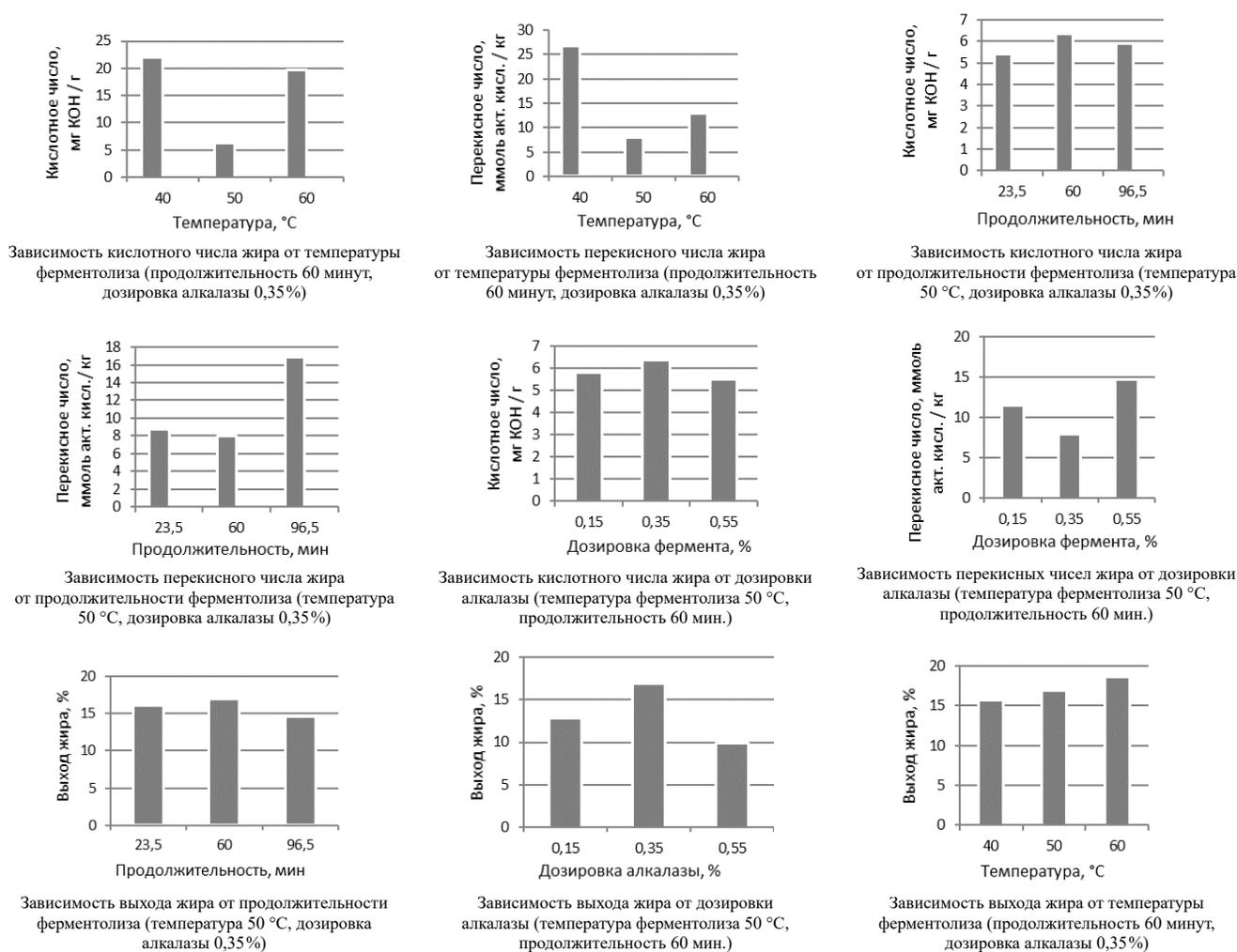


Рис. 2. Диаграммы изменения частных откликов в зависимости от основных факторов при ферментализации внутренностей судака
 Fig. 2. Diagrams of changes in individual responses depending on the main factors during fermentolysis of pike perch entrails

личением продолжительности ферментализации растет количество выделяемого жира, при этом ухудшаются показатели его качества. Значения коэффициентов в кодированных моделях, иллюстрирующие силу влияния факторов, показывают, что наибольшее влияние для всех видов сырья на изменение откликов оказывает температура ферментализации, а наименьшее — дозировка фермента.

3. На основе анализа изменения откликов в зависимости от вида фактора ферментализации рыбных отходов установлены рациональные режимы обработки, позволяющие получать максимальный выход жира (26,1% — 66,5% от его содержания в сырье) с приемлемыми показателями качества. Рекомендуемые режимы ферментализации, в зависимости

от вида жиродержащих рыбных отходов: температура 45–65 °C; продолжительность 25–65 минут; дозировка фермента алкалазы 0,35–0,45% к массе сырья.

4. Исследованные жиры, ферментативно экстрагированные из отходов рыбопереработки, можно отнести к перспективному возобновляемому и доступному субстрату для биотехнологического получения белка одно-клеточных и биоразрушаемых пластиков полигидрокси-алканоев.

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

Литература

- 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
- 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.
- Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов / О. Я. Мезенова, С. В. Агафонова,

References

- Mezenova O. Ya. Modern food biotechnology: main problems and challenges. *Journal of the International Academy of Refrigeration*, 2023, No. 1. pp. 35–46 DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46 (in Russian)
- 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)
- Potential and prospects for the use of fat from smoked fish waste / O. Ya. Mezenova, S. V. Agafonova, N. Yu. Romanenko, N. S. Ka-

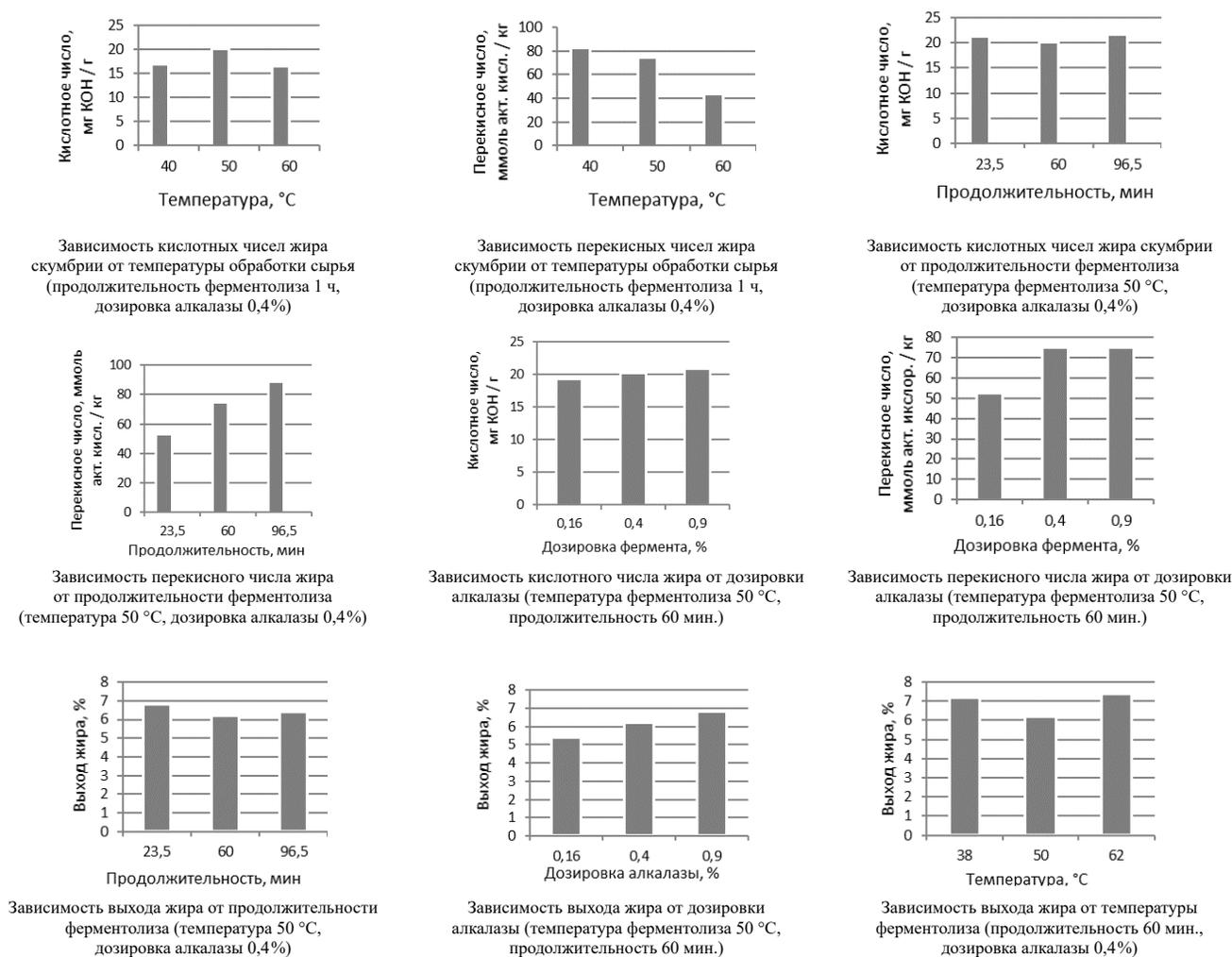


Рис. 3. Диаграммы изменения частных откликов в зависимости от основных факторов при ферментализации голов скумбрии
 Fig. 3. Diagrams of changes in individual responses depending on the main factors during enzymatic analysis of mackerel heads

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.

4. Разработка технологии получения жира из жиродержащих 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.

5. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей / Мезенова О. Я., Тишлер Д., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю., Волков В. В., Бараненко Д. А., Гримм Т., Ридель С. // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58

6. 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. 11 (8). DOI: 10.1002/fsn3.3431

7. Pinela José, Fuente Beatrizdela, Rodrigues Matilde et al. Fish By-Products into Bioactive Fish Oil: The Suitability of Microwave-Assisted Extraction. // Biomolecules. 2022. 13 (1). DOI: 10.3390/biom13010001.

linina, 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)

4. 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)

5. Research and rational use of peptide and lipid compositions obtained by hydrolytic processing of collagen-containing tissues / Mezenova O. Ya., Tishler D., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Volkov V. V., Baranenko D. A., Grimm T., Riedel S. *Journal of the International Academy of Refrigeration*. 2021. No. 1. P. 46–58. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58 (in Russian)

6. 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.

7. Pinela José, Fuente Beatrizdela, Rodrigues Matilde et al. Fish By-Products into Bioactive Fish Oil: The Suitability of Microwave-Assisted Extraction. *Biomolecules*. 2022. 13 (1). DOI: 10.3390/biom13010001.

8. Authors D. V. Thuoc V. T. M. 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.
9. 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.
10. Doan Van Thuoc a, Dam Ngoc My a, Tran Thi Loan a, Kumar Sudesh. Uti-lization 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.
11. Gonzalez-Cabaleiro 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
12. Жила Н. О., Волков В. В., Мезенова О. Я., Киселев Е. Г., Волова Т. Г. Отходы рыбопереработки — перспективный субстрат для синтеза целевых продуктов биотехнологии // *Журнал СФУ. Биология*. 2023. Т. 16 (3). С. 386–397.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Обоснование рациональных режимов термического выделения липидов из жиродержащих 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.
17. 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.
18. 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.
19. Kanokphorn Sangkharak, Nisa Paichid, Tewan Yunu, Sappasith Klomklao, Poonsuk Prasertsan. 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>
20. Tran Thi Loana, Dao Thi Quynh Tranga, Pham Quang Huy, Pham Xuan Ninhd, Doan Van Thuoca. A fermentation process for
8. Authors D. V. Thuoc V. T. M. 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.
9. 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.
10. Doan Van Thuoc a, Dam Ngoc My a, Tran Thi Loan a, Kumar Sudesh. Uti-lization of waste fish oil and glycerol as carbon sources for polyhydroxyalkanoate production by *Salinivibrio* sp. M318. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, Vol. 141, 1 December pp. 885–892. DOI: 10.1016/j. ijbiomac. 2019.09.063.
11. Gonzalez-Cabaleiro 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
12. 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. vol. 16 (3). P. 386–397. (in Russian)
13. 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.
14. 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). P. 123–128. DOI: 10.26297/0579–3009.2023.4.21 (in Russian)
15. 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.
16. 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)
17. Dambarovich L. V., Agafonova S. V. Enzymatic extraction of fat from secondary raw materials of Atlantic mackerel and its use in functional nutrition. *Journal of the International Academy of Refrigeration*. 2022. No. 2. pp. 48–55. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-48-55 (in Russian)
18. 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
19. 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>.
20. 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.

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 ID: 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

Дамбарович Леонид Васильевич

Аспирант кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022, Россия, Калининград, Советский пр. 1, leodambarovich@yandex.ru. ORCID 0000-0002-6015-1869,

Федоров Дмитрий Сергеевич

Студент кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022, Россия, Калининград, Советский пр. 1, dmitr.fedorov@inbox.ru.

Федорова Олеся Сергеевна

Студентка кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 236022 Россия, Калининград, Советский пр. 1, olesya.02inbox.ru@gmail.com.

Ячников Денис Вадимович

Студент кафедры пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, 236022, Россия, Калининград, Советский пр., yachnikov.denis@mail.ru.

Information about authors

Mezenova Olga Ja.

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

Agafonova Svetlana V.

Ph. D., Associate Professor of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetskiy Ave. 1, svetlana.agafonova@klgtu.ru. ORCID ID: 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 Ave. 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 Ave. 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 Ave. 1, vladimir.volkov@klgtu.ru. ORCID 0000-0001-5560-7131

Dambarovich Leonid V.

postgraduate student of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetsky Ave. 1, leodambarovich@yandex.ru. ORCID 0000-0002-6015-1869

Fedorov Dmitry S.

Student of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetsky Ave., dmitr.fedorov@inbox.ru.

Fedorova Olesya S.

Student of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetsky Ave., olesya.02inbox.ru@gmail.com.

Yachnikov Denis V.

Student of the Department of Food Biotechnology, Kaliningrad State Technical University, 236022 Russia, Kaliningrad, Sovetsky Ave., yachnikov.denis@mail.ru.

