

УДК 664.953.022.3:639.64:582.272

Поступила в редакцию 26.08.2024
Received 26.08.2024**Е. С. Красовская, И. М. Почицкая, М. С. Алексеенко***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь***ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ
ПРОГНОЗИРОВАТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПАСТ
И ПАШТЕТОВ РЫБНЫХ С ФУКУСОМ**

Аннотация. В работе представлены результаты исследования биологически активных компонентов рыбного сырья и бурой водоросли фукуса, влияющих на функциональные свойства паст и паштетов рыбных с фукусом. Разработана математическая модель, устанавливающая требования к содержанию физиологически функциональных пищевых ингредиентов и показателям, отвечающим за биологическую ценность паст и паштетов рыбных с фукусом. Проведена оптимизация рецептурного состава паст и паштетов рыбных с бурой водорослью фукус, позволяющая прогнозировать функциональные свойства продукта. Обоснована функциональность паст и паштетов рыбных с фукусом за счет сбалансированного состава аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, содержания йода, полисахарида фукоидана и пищевых волокон, в том числе альгинатов.

Ключевые слова: незаменимые аминокислоты, йод, фукоидан, пищевые волокна, альгинаты, рыбные паштеты, рыбные пасты, фукус, адекватный уровень потребления в сутки.

E. S. Krasovskaya, I. M. Pochitskaya, M. S. Alekseenko*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***THE STUDY OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES THAT MAKE IT
POSSIBLE TO PREDICT THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF FISH
PASTES AND PATES WITH FUCUS**

Abstract. The paper presents the results of a study of biologically active components of fish raw materials and fucus brown algae that affect the functional properties of fish pastes and pates with fucus. The optimization of the formulation composition of fish pastes and pates with fucus kelp has been carried out, which makes it possible to predict the functional properties of the product. A mathematical model has been developed that establishes requirements for the content of physiologically functional food ingredients and indicators responsible for the quality and safety of fish pastes and pates with fucus. The functionality of fish pastes and pates with fucus is justified due to the balanced composition of amino acids, polyunsaturated fatty acids, iodine, fucoidan and dietary fibers, including alginates.

Keywords: essential amino acids, iodine, fucoidan, dietary fiber, alginates, fish pates, fish pastes, focus, an adequate level of consumption per day.

Введение. Функциональные продукты питания при систематическом употреблении в суточном рационе позволяют исключить многие заболевания и поэтому занимают на мировом рынке лидирующие позиции по предпочтительности выбора среди населения. Рыба является полноценным продуктом, позволяющим восполнять потребности организма в незаменимых аминокислотах, ненасыщенных жирных кислотах, витаминах, макро- и микроэлементах. Морские водоросли являются источником пищевых волокон и содержат ценные вещества для правильного функционирования организма, которые отсутствуют в наземных растениях [1–5].

По результатам анкетирования, проведенного в Республике Беларусь, респонденты чаще предпочитают здоровый образ жизни пассивному отдыху, биологически активные добавки лекарствам, сбалансированные продукты питания вредным диетам [6, 7].

В этой связи актуальным остается разработка новых продуктов с функциональными свойствами, положительно воздействующими на важнейшие системы организма.

Цель исследований — на основе анализа биологически активных веществ рыбного сырья и бурой водоросли фукуса разработать математическую модель, позволяющую получить продукт функциональной направленности, сбалансированный по наиболее важным показателям биологической ценности.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись образцы пресноводной и морской рыбы, экстракта морской бурой водоросли фукус «Натив-Детокс» и сухого измельченного порошка морской бурой водоросли фукус, пасты и паштеты рыбные, изготовленные из пресноводной и морской рыбы с добавлением бурой водоросли фукус.

В образцах исследовали содержание биологически активных веществ рыбного сырья и бурой водоросли фукуса: аминокислотного состава, йода, полисахарида фукоидана, пищевых волокон (в т.ч. альгинатов), ненасыщенных жирных кислот, влияющих на функциональные свойства паст и паштетов рыбных с фукусом.

Исследования проводили в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Определение аминокислотного состава рыбного сырья осуществляли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии по МВИ.МН 1363-2000 [8], жирнокислотный состав — методом газовой хроматографии по ГОСТ Р 55483-2013 [9], определение содержания йода, альгинатов — по ГОСТ 26185-84 [10], содержание пищевых волокон по МВИ.МН 3928-2011 [11], содержание фукоидана определяли модифицированным спектрофотометрическим методом (метод Дише) [12], массовую концентрацию макро- и микроэлементов — по ГОСТ 30538-97 методом атомно-эмиссионной спектроскопии [13].

Результаты исследований и их обсуждение. В соответствии с СТБ 1818 «Пищевые продукты функциональные. Термины и определения» функциональный пищевой продукт — это продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов. К физиологически функциональным пищевым ингредиентам относят биологически активные и/или физиологически ценные ингредиенты, безопасные для здоровья, обладающие способностью оказывать благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении в количествах, составляющих от 10 до 50 % от суточной физиологической потребности. К ним относят: минеральные вещества, витамины, пищевые волокна, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики или синбиотики [14].

В составе рыбного сырья и бурой водоросли фукус содержится значительное количество физиологически функциональных пищевых ингредиентов: минеральные вещества (в т.ч. йод), полиненасыщенные жирные кислоты в рыбе, пищевые волокна (в т.ч. альгинаты) и йод в фукусе, также пребиотики.

Согласно СТБ 1818, пребиотики — это физиологически функциональный пищевой ингредиент в виде вещества или комплекса веществ, обеспечивающий при систематическом употреблении в пищу человеком в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате избирательной стимуляции роста и/или повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника.

К основным видам пребиотиков относятся: аминокислоты, органические низкомолекулярные и ненасыщенные высшие жирные кислоты, полисахариды, полезные для человека растительные и микробные экстракты, антиоксиданты и др. [14].

Представляет научный и практический интерес изучение содержания физиологически функциональных ингредиентов и их свойств в составе рецептурных компонентов (рыбного сырья, фукуса) для производства рыбных паст и паштетов с бурой водорослью фукус: аминокислот; полиненасыщенных жирных кислот; полисахаридов (фукоидана); пищевых волокон (в т.ч. альгинатов); минеральных веществ (в т.ч. йода).

При разработке специализированных продуктов также необходимо обеспечить содержание не менее 15 % суточной нормы биологически активного вещества в соответствии с Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к продукции на территории Евразийского экономического союза, утвержденными Решением Комиссии таможенного союза от 28.05.2010 г. №299 [15], регламентирующими адекватный суточный уровень потребления и верхний предельный безопасный уровень суточного потребления пищевых

и биологически активных веществ для взрослых в составе специализированных пищевых продуктов и БАД к пище на 2300 ккал.

Таким образом, для моделирования продуктов с функциональными свойствами необходимо обеспечить содержание физиологически функциональных пищевых ингредиентов в продукте в количестве от 10 до 50 % [14] и не менее 15 % от суточной физиологической потребности по [15].

Проведены исследования аминокислотного, жирнокислотного состава, содержания йода в рыбном сырье (каarp, толстолобик, белый амур, минтай, хек, сельдь, форель радужная), содержания пищевых волокон, фукоидана и йода в фукусе Натив-Детокс, порошке сухого фукуса и других рецептурных компонентах для моделирования паст и паштетов рыбных с фукусом.

Важная роль в биологической ценности мяса рыбы принадлежит белку с полноценным набором аминокислот и жиру, содержащему полиненасыщенные жирные кислоты. Анализ литературных данных показал, что содержание аминокислот и жирно-кислотного состава товарной пресноводной рыбы значительно отличается и зависит, главным образом, от сбалансированности состава кормовых добавок [16].

Лабораторные исследования аминокислотного состава пресноводной и морской рыбы показали достаточно высокую обеспеченность незаменимыми (гистидин, валин, лейцин, изолейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин) и заменимыми (аспартат, глутамат, серин, глицин, аргинин, аланин, цистин) аминокислотами и насыщенными, моно- и полиненасыщенными жирными кислотами (ЖК) (табл. 1).

Таблица 1. Аминокислотный (г/100 г белка) и жирнокислотный состав (% от ЖК) мышечной ткани различных видов рыбы
Table 1. Amino acid (g/100 g of protein) and fatty acid composition (% of FA) of muscle tissue of various fish species

Наименование показателя	Наименование рыбы						
	Карп обык- новенный	Толсто- лобик	Амур белый	Форель радужная	Сельдь	Минтай	Хек
Сумма незаменимых аминокислот (НАК), г/100 г белка	38,28	43,61	39,60	40,96	51,51	41,27	41,1
Сумма заменимых аминокислот (ЗАК), г/100 г белка	43,96	47,29	40,86	48,1	47,1	46,2	54,1
Насыщенные жирные кислоты (ЖК), %	28,2	31,0	31,6	15,2	24,0	24,0	38,3
Мононенасыщенные жирные кислоты, %	53,1	48,0	52,2	56,8	48,8	40,8	36,4
Полиненасыщенные жирные кислоты, %	17,5	16,5	14,8	27,0	23,7	35,0	25,0
Сумма омега-3 жирных кислот, %	2,6	9,7	11,0	6,1	21,58	4,9	22,2
Сумма омега-6 ЖК жирных кислот, %	14,8	7,9	12,5	20,6	2,12	30,1	2,1

Результаты аминокислотного состава белка пресноводной и морской рыбы свидетельствуют о высоком содержании гистидина в образцах карпа, толстолобика, сельди и форели радужной, что, в среднем, в 1,5 раза выше, чем в белом амуре, минтае и хеке. Гистидин необходим в качестве агента роста [17].

Содержание аргинина варьировало в исследуемых образцах рыбы от 841,2 до 1270 мг/100 г. Аргинин выполняет важные функции в теле человека.

По результатам исследования содержание глицина в карпе в 2,0-2,2 раза выше по сравнению с образцами морской рыбы (хек, минтай), в 1,8 раза выше, чем в толстолобике и белом амуре, в 1,4 раза выше содержания глицина в сельди и форели. Глицин играет важную роль для организма, участвует во многих биохимических процессах.

В процессе анализа было установлено, что содержание лизина выше в образцах форели радужной и морской рыбе, минимальное содержание отмечено в карпе. Из числа исследуемых образцов в белом амуре ниже количество изолейцина, аланина, треонина и серина. Содержание глутамата в трех образцах пресноводной рыбы (каarp, толстолобик, белый амур) ниже в сравнении с морской рыбой и форелью радужной в 1,5 раза. Цистин присутствует в меньшей степени в пресноводной рыбе (белый амур, толстолобик, карп): от 37,1 до 60,8 мг/100г, в мясе форели радужной — 131,5 мг/100г, максимальное количество отмечено в сельди — 300,3 мг/100г. Установлено содержание аспартата: минимальное количество в карпе — 1520,2 мг/100 г, толстолобике — 1750,1 мг/100 г и белом амуре — 1520,0 мг/100 г,

максимальное — в мышечной ткани форели радужной — 2469,1 мг/100 г, минтая — 2282,2 мг/100 г и хека — 2385,1 мг/100 г.

На основе полученных данных исследований были рассчитаны важные показатели биологической ценности: аминокислотные скоры (АС) и коэффициенты утилитарности незаменимых аминокислот рыбного сырья — основного компонента для разработки рецептурных композиций рыбного продукта, обогащенного биологически активными веществами с заданным физико-химическим составом [18]. Аминокислотные скоры, рассчитанные по отношению к эталонному белку, идеально сбалансированному по аминокислотному составу, полностью удовлетворяющему потребности человека в незаменимых аминокислотах в соответствии с рекомендациями ФАО ВОЗ (2011) [19] представлены в табл. 2.

Анализ полученных результатов показал, что образцы рыбного сырья (каarp, форель радужная, сельдь, минтай, хек) являются источником всех незаменимых аминокислот, аминокислотные скоры которых составили более 100 %. Образец белого амура лимитирован по содержанию незаменимой кислоты изолейцина АС = 41,7% (менее 100%), образец толстолобика лимитирован по валину АС = 69,5% (менее 100%). Данные виды рыбного сырья, а также сырье с низкими коэффициентами утилитарности необходимо оптимизировать в рецептурных композициях для сбалансированности аминокислотного состава готового продукта.

Таблица 2. Показатели сбалансированности рыбного сырья незаменимых аминокислот в соответствии с рекомендациями ФАО /ВОЗ, 2011

Table 2. Indicators of the balance of fish raw materials of essential amino acids in accordance with the recommendations of FAO /WHO, 2011

Наименование образца	Лизин	Лейцин	Изолейцин	Фенилаланин + тирозин	Метионин + цистин	Валин	Треонин	Триптофан
Скор незаменимых аминокислот (АС), %								
Карп	156,5	123,9	103,3	165,8	169,1	105,0	176,0	169,7
Толстолобик	179,2	127,9	130,0	197,6	182,6	69,5	192,4	227,3
Белый амур	168,8	104,9	41,7	146,3	132,6	101,8	140,0	106,1
Сельдь	206,3	133,1	146,7	204,9	178,3	130,0	206,4	184,8
Минтай	192,5	129,7	154,7	199,0	185,7	128,8	176,0	171,2
Хек	190,6	127,9	150,0	148,8	219,6	135,0	152,0	153,0
Форель радужная	179,2	134,6	111,7	172,0	152,2	107,5	176,0	174,2
Коэффициент утилитарности (U), %								
Карп	0,66	0,83	1,00	0,62	0,61	0,98	0,59	0,61
Толстолобик	0,39	0,54	0,53	0,35	0,38	1,00	0,36	0,31
Белый амур	0,25	0,40	1,00	0,29	0,31	0,41	0,30	0,39
Сельдь	0,63	0,98	0,89	0,63	0,73	1,00	0,63	0,77
Минтай	0,67	0,99	0,83	0,65	0,69	1,00	0,73	0,75
Хек	0,67	1,00	0,85	0,86	0,58	0,95	0,84	0,84
Форель радужная	0,60	0,80	0,96	0,63	0,71	1,00	0,61	0,62

Для определения биологической ценности рыбного сырья важное значение имеет анализ жирнокислотного состава. В образцах пресноводной рыбы содержится значительное количество пальмитиновой кислоты, основного представителя из группы насыщенных жирных кислот. В карпе, белом амуре, минтае и форели радужной количество линолевой кислоты (омега-6) значительно выше по сравнению с сельдью и хеком (сельдь — 2,1 % и хек — 2,1%). Современная диета включает большое количество омега-6 жирных кислот и недостаточное омега-3 жирных кислот.

Некоторые медицинские исследования подтверждают, что избыточное потребление омега-6 по отношению к омега-3 кислотам может увеличить риск ряда заболеваний [18]. По результатам анализа сельдь содержит значительное количество омега-3 жирных кислот: 3,38% линоленовой кислоты, 0,1% эйкозатриеновой кислоты, 0,6% докозапентаеновой кислоты, 7,9% эйкозапентаеновой кислоты, 9,6% докозагексаеновой кислоты. Докозагексаеновая кислота, играет важную роль для кровообращения, в том числе мозгового [20]. В толстолобике, хеке, форели радужной докозагексаеновая кислота обнаружена в незначительных количествах и отсутствует в белом амуре. Полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, омега-9 в карпе присутствуют незначительно 0,3-1,7 %, в минтае — 3,1-3,5 %. Анализ полученных резуль-

татов показал, что в образцах морской рыбы содержание ненасыщенных жирных кислот выше, чем в прудовой рыбе. Также в образце сельди содержится олеиновая кислота (омега-9). Таким образом, при моделировании компонентного состава функциональных продуктов из рыбы в рецептурную композицию следует вносить сельдь как основной источник омега-3 и омега-9 жирных кислот. Во всех образцах рыб не обнаружены масляная, капроновая, каприловая, каприновая, арахионовая кислоты (менее 0,2). Эйкозапентаеновая кислота не обнаружена в пресноводной рыбе, кроме радужной форели.

При разработке паст и паштетов из рыбы в качестве функциональной добавки, обеспечивающей внесение пищевых волокон, ценных полисахаридов — фукоиданов, органического йода в необходимом количестве, выбран экстракт бурой водоросли фукус в виде геля «Натив-Детокс» и фукус в сухом измельченном виде. Пищевые волокна, в том числе альгинаты фукуса, широко используются в терапии желудочно-кишечных заболеваний и диетологии [21]. Фукоиданы и йод фукуса используются для профилактики поражений щитовидной железы при радиационных авариях [4, 22]. Результаты изучения химического состава, в том числе содержание фукоидана, витаминов и минералов, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав сухого фукуса и экстракта фукуса
Table 3. Chemical composition of dry fucus and fucus extract

Наименование показателя	Сухой фукус	Экстракт фукусгель «Натив детокс»
Белок, г	12,0	0,5
Жир, г	0,5	0,2
Углеводы, г	40,0	3,0
Витамин С, мг/100 г	16,6	6,2
Фукоидан, г/100 г	1,0	0,1
Альгиновая кислота, г/100 г	15,0	3,0
Минеральный состав		
Кальций, мг/кг	3330	1250
Магний, мг/кг	1416	652
Фосфор, мг/кг	458	29
Марганец, мг/кг	-	6,13
Железо, мг/кг	133,0	21,65
Цинк, мг/кг	-	3,2
Йод, мг/100г	40,0	0,8-1,2

Установлено содержание: витамина С — 6,2 мг/100г в экстракте, 16,6 — в сухом, микро-, макроэлементный состав (мг/кг) в экстракте: кальций — 1250, магний — 652, фосфор — 29, марганец — 6,13, железо — 21,65, цинк — 3,2, кобальт — 0,08, никель — 0,11. В сухом фукусе : кальций — 3330, магний — 1416, фосфор — 458, железо — 133. Содержание йода в добавке «Натив Детокс» составляет 0,8–1,2 мг/100г, в сухом фукусе — 40 мг/100г.

Ценным элементом фукуса является фукоидан, содержание которого составило 0,1 % в фукусе «Натив Детокс» и 1,0% в сухом порошке фукуса. Результаты исследования аминокислотного состава белков фукуса показали присутствие аланина, аспаргиновой кислоты, валина, гистидина, глицина, глутаминовой кислоты, изолейцина, лейцина, лизина, пролина, тирозина и фенилаланина. Поскольку содержание массовой доли белка в экстракте фукуса «Натив-Детокс» не превышает 0,5 %, таким образом, основным источником белка в пастах и паштетах с фукусом является рыбное сырье.

На основе полученных данных по физико-химическому и витаминно-минеральному составу сырья и рекомендуемых норм суточного потребления веществ были выбраны опорные критерии, определяющие основные функциональные свойства продукта и его биологическую ценность: массовая доля белка, аминокислоты, содержание фукоидана, йода, пищевых волокон (в т.ч. альгиновой кислоты), полиненасыщенных жирных кислот, массовая доля сухих веществ.

Были заданы критерии качества и функциональности, которые выбраны определяющими при планировании рецептурного состава (далее — РЦ) паштета и пасты рыбных, позволяющие прогнозировать функциональные свойства готового продукта.

Полученные данные оценены для прогнозирования функциональности рыбных паст и паштетов с фукусом по ряду физиологически функциональных ингредиентов. Рассчитаны диапазоны содержания физиологически функциональных ингредиентов в пастах и паштетах рыбных с фукусом в соответствии с требованиями, обеспечивающими функциональные свойства продукта.

Результаты технологической апробации производства паст и паштетов рыбных с фукусом показали снижение содержания йода и фукоидана из-за термической обработки продукта. Потери йода в продукте составили от 35,0 % до 40,0 %, фукоидана — от 10 % до 30% при изменении температурных режимов в технологии, что также подтверждают литературные данные, доказывающие разрушение йода при нагревании [22, 23]. Требования к внесению добавок скорректированы по результатам эксперимента.

В табл. 4 представлены адекватный, предельный и рассчитанный уровни содержания в сутки на 2300 ккал в готовом продукте исследуемых физиологически функциональных ингредиентов, а также результаты анализа полученных фактических данных.

Таблица 4. Уровень суточного потребления содержание физиологически функциональных ингредиентов

Table 4. The level of daily intake and the content of physiologically functional ingredients

Пищевые и биологические компоненты продукта рыбного с фукусом	Адекватный уровень потребления в сутки (мкг, мг г/сутки)	Верхний допустимый уровень потребления (мкг, мг г/сутки)	Уровень потребления в составе функционального продукта (мкг, мг г/сутки) 15-50% суточной нормы	Соответствие фактическим результатам
Незаменимые аминокислоты				
Валин, г	2,5	3,9	0,375-1,95	соответствует (для толстолобика в комбинации с рыбным сырьем)
Изолейцин, г	2,0	3,1	0,30-1,55	соответствует (для белого амура в комбинации с рыбным сырьем)
Лейцин, г	4,6	7,3	0,69-3,65	соответствует
Лизин, г	4,1	6,4	0,615-3,20	соответствует
Метионин+цистин, г	1,8	2,8	0,27-1,40	соответствует
Треонин, г	2,4	3,7	0,36-1,85	соответствует
Триптофан, г	0,8	1,2	0,12-0,60	соответствует
Фенилаланин+тирозин, г	4,4	6,9	0,66-3,45	соответствует
Йод, мкг	150	300 (1000)	22,5-150 (500)	соответствует (внесены изменения)
Фукоидан, мг	50	100	7,5-50	соответствует (внесены изменения)
Пищевые волокна, г в т.ч. растворимые альгинаты, г	20 2	40 6	3-20 0,3-3	соответствует соответствует
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), г	12	20	1,8 -10	соответствует (с преобладанием в РЦ сельди)
В т.ч. семейства омега-3, г	2,0	5,0	0,3-2,5	соответствует (с преобладанием в РЦ сельди)
Эйкозапентаеновая кислота, мг	600	-	Не менее 90	соответствует (с преобладанием в РЦ сельди)
Докозагексаеновая кислота, мг	700	-	Не менее 105	соответствует (с преобладанием в РЦ сельди)

Целью программного моделирования рецептурного состава продукта рыбного являлось получение продукта, качественные характеристики которого максимально приближаются к опорным. Опорные свойства, обеспечивающие биологическую ценность продукта рыбного с фукусом, представлены в табл. 4.5.

Чтобы разработанный рыбный паштет с фукусом соответствовал требованиям, предъявляемым к продуктам, являющимся источником белка, в моделировании рецептурного состава предусмотрено содержание белка в 100 г продукта не менее 5 % от суточной потребности в белке и обеспечении за счет белка не менее 12 процентов энергетической ценности пищевого продукта [24]. Норма суточной потребности в белках составляет около 70 г для мужчин возраста (18-59) лет и 60 г для женщин (18-59) лет с коэффициентом физической активности $KFA=1,4$ [25]. На основании рассчитанных данных в технические условия по производству паст и паштетов рыбных с фукусом внесен показатель качества «массовая доля белка» с диапазоном от 9 до 15 %. Таким образом, употребление 100 г разработанного продукта обеспечит норму суточной потребности по белку не менее 5%.

Таблица 5. Оптимизация рецептурного состава для прогнозирования функциональности продукта рыбного с фукусом

Table 5. Optimization of the recipe composition for predicting the functionality of a fish product with fucus

№ п/п	Ограничения по функциональным ингредиентам и показателям качества (биологической ценности)
1	$56,5 \leq M1 \leq 84,4; M1 = \sum_{j=1}^7 M1_j (j=1..7)$
2	$M2_f = 30 \pm 1,0 (f=1)$
3	$0 \leq M3_m \leq 10$
4	$0 \leq M4 \leq 3,0; M4 = \sum_{r=1}^8 M4_r (r=1..8)$
5	$0,7 \leq M5 \leq 0,8; M5 = \sum_{p=1}^7 M5_p (p=1..7)$
6	$M1+M2+M3+M4+M5=1$
7	сухие вещества: $31,5 \leq 22,4M1 + 19,7M2_f + 95,0M3_m + 95,0M4 + 96,0M5 \leq 34,5 f=1 m=1$
8	белок: $8,8 \leq 17,4M1 + 0,58M2_f + 0,5M4_r + 0,5M5 \leq 11,2 f=1 r=3$
9	фукоидан: $0,0075 \leq 0,1M2_f \leq 0,05 f=1$
10	йод: $0,225 \cdot 10^{-4} \leq 0,45 \cdot 10^{-4} M1 + 0,001 M2 \leq 5 \cdot 10^{-4}$
11	пищевые волокна: $2 \leq 9,6M2 + 0,8M4 \leq 20$
12	альгинаты: $0,2 \leq 3,0M2 \leq 3$
13	валин ($\leq 4,0$): $0,375 \leq 1,637M1 + 0,01M2 + 0,078M4 \leq 1,95$
14	изолейцин ($\leq 3,0$): $0,30 \leq 1,293 M1 + 0,0005M2 + 0,03M4 \leq 1,55$
15	лейцин $0,69 \leq 2,616 M1 + 0,0005M2 + 0,12M4 \leq 3,65$
16	лизин: $0,615 \leq 2,907M1 + 0,004M2 + 0,190M4 \leq 3,20$
17	метионин+цистин $0,27 \leq 1,335M1 + 0,038M4 \leq 1,40$
18	треонин: $0,36 \leq 1,597 M1 + 0,1M4 \leq 1,85$
19	триптофан $0,12 \leq 0,204 M1 + 0,21M4 \leq 0,60$
20	фенилаланин+тирозин: $0,66 \leq 2,543M1 + 0,028M2 + 0,099M4 \leq 3,45$
21	ПНЖК: $1,8 \leq 1,58M1 + 65,0M3 \leq 10,0$
22	омега-3: $0,3 \leq 1,41M1 \leq 2,5$
23	эйкозапентаеновая кислота: $0,09 \leq 0,71M1$
24	докозагексаеновая кислота: $0,105 \leq 0,449M1$

Для оптимизации рецептурного состава введены обозначения: X_{kl} — k-характеристика l-го компонента ($l=1,2,3.., L; k=1,2,..,K$), M_l — массовая доля l-го компонента ($F_k = f_k(\{M_l\}, \{X_{kl}\}, \{P_{kl}\})$), где $f_k(\{M_l\}, \{X_{kl}\}, \{P_{kl}\})$ — неизвестная функциональная зависимость с параметрами P_{kl} , описывающая k-ую характеристику. Обозначения смеси

массовых долей компонентов рецептурной смеси (при $M \geq 0$): $M1_j$ — содержание рыбного сырья (каarp $j=1$, сельдь $j=2$, толстолобик $j=3$, белый амур $j=4$, форель радужная $j=5$, минтай $j=6$, хек $j=7$); $M2_f$ — содержание фукуса (экстракт фукуса «Натив-Детокс» $f=1$; фукус сухой измельченный $f=2$); $M3_m$ — масло растительное (масло подсолнечное $m=1$, масло рапсовое $m=2$, масло льняное $m=3$); $M4_r$ — содержание растительных компонентов (зелень сушеная $r=1$, клюква сушеная $r=2$, морковь пассерованная $r=3$; грибы пассерованные $r=4$, льняной жмых $r=5$, паприка сушеная $r=6$, лук репчатый $r=7$; горчица пищевая $r=8$); $M5_p$ — содержание пряностей (кориандр $p=1$, перец черный $p=2$, мускатный орех $p=3$, кориандр $p=4$, чеснок сушеный $p=5$, перец душистый $p=6$, куркума $p=7$). В качестве целевой функции был выбран показатель относительной биологической ценности продукта (БЦ). Таким образом, оптимизационная задача состоит в поиске $M1, M2... M5$, для которых БЦ достигает максимума при заданных ограничениях в виде формул. Представлена модель для оптимизации рецептурного состава с применением карпа обыкновенного, сельди тихоокеанской и экстракта фукуса «Натив-Детокс», масла подсолнечного, моркови сушеной и смеси пряностей. Условия, при которых рецептурная композиция максимально приближается к опорной, можно описать в виде неравенств, представленных в табл. 5. Введены ограничения, которые установлены экспериментально и в соответствии с требованиями нормативной документации [26, 27].

Таким образом, разработана математическая модель, описывающая содержание рецептурных компонентов для производства паст и паштетов рыбных с фукусом, обеспечивающая биологическую ценность паст и паштетов рыбных с бурой водорослью фукус.

Представленная модель позволяет получить продукт на основе рыбного сырья, обогащенный бурой водорослью фукус, сбалансированный по важным показателям биологической ценности. Модель с пределами внесения по ряду критериев позволяет спрогнозировать функциональные свойства различной направленности. Данная математическая модель была оптимизирована для получения минимальной стоимости готовых паст и паштетов на основе рыбного сырья с добавлением бурой водоросли фукус.

Заключение. Изучено влияние компонентного состава и технологических режимов на биологическую ценность паст и паштетов рыбных с бурой водорослью фукус. На основании проведенных исследований разработана математическая модель компонентного состава, позволяющая прогнозировать функциональные свойства паст и паштетов рыбных с фукусом за счет сбалансированного аминокислотного и жирнокислотного состава, содержания ценного полисахарида фукоидана, пищевых волокон, в том числе альгинатов, и органического йода. По результатам проведенных исследований разработаны и утверждены в установленном порядке рецептуры, технические условия и технологическая инструкция по производству паст и паштетов рыбных с фукусом.

Список использованных источников

1. Комплексное исследование химического состава бурых водорослей Белого моря / К. Г. Боголицин [и др.] // Химия растительного сырья. — 2012. — № 4. — С. 153–160.
2. Влияние геля из бурых морских водорослей на микрофлору кишечника при дисбактериозе, инициированном антибиотиками / Е. В. Марцинкевич [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2016. — № 4(34). — С. 79–84.
3. Антибактериальные свойства фукоиданов из бурых водорослей *Fucus Vesiculosus* Баренцева моря / И. М. Лапина [и др.] // Фундаментальная гликобиология: сб. тезисов V Всероссийской конференции (Гатчина, 21-24 сентября 2021 г.). — М., 2021. — С. 27–28.
4. Егорова, М. А. Использование добавок к рациону человека и животных на основе фукуса пузырчатого для профилактики поражений щитовидной железы при радиационных авариях / М. А. Егорова, Е. Е. Остапчук, С. Н. Коломиец // Актуальные проблемы радиационной и химической защиты: сб. тр. XXX Международной научно-практической конференции (г. Химки, 19 марта 2020 г.). — М., 2020. — С. 27–32.
5. Лапина, И. М. Влияние фукоидана из *Fucus Vesiculosus* на клетки HER G2 CHANG LIVER / И. М. Лапина, Е. В. Журишкина // Фундаментальная гликобиология: сб. материалов IV Всероссийской конференции; отв. редактор С.Г. Литвинцев. — М., 2018. — С. 43–44.
6. Потребители выбирают функциональные продукты [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://produkt.by/stories/persony/potrebiteli-vybirayut-funkcionalnye-produkty>. — Дата доступа: 29.07.2024.
7. Перекус стал частью жизни. Замдиректора BREMOR — о том, что едят белорусы и какой будет еда будущего [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://myfin.by/article/biznes/perekus-stal>

- castu-zizni-zamdirektora-bremor-o-tom-cto-edat-belorusy-i-kakoj-budet-eda-budusego. — Дата доступа: 29.07.2024.
8. Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии : МВИ.МН 1363-2000 : утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 14.07.00. — Минск : [б. и.]. — 2000. — 23 с.
 9. ГОСТ Р 55483-2013. Мясо и мясные продукты. Определение жирно-кислотного состава методом газовой хроматографии : ГОСТ Р 55483-2013. — введ. 01.07.2014. — М.: Стандартиформ, 2014. — 14 с.
 10. ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа : ГОСТ 26185-84. Взамен ГОСТ 13929—68 (в части определения хлористого натрия в водорослях и продуктах их переработки), ГОСТ 13930—68 (в части определения влаги в водорослях и продуктах их переработки), ГОСТ 22455—77 (в части разд. 3 пп. 3.1—3.3), ГОСТ 6730—75 (в части разд. 3 пп. 3.1—3.5), ГОСТ 16280—70 (в части разд. 2, пп. 2.6—2.18). — введ. 01.01.85. — М.: Стандартиформ, 2018. — 32 с.
 11. Методика выполнения измерений по определению массовой доли клетчатки в продуктах детского питания : МВИ.МН 3928-2011 : утв. дир. ГУ «Респ. научно-практ. центр гигиены» Респ. Беларусь 22.06.11. — Минск : [б. и.]. — 2011. — 13 с.
 12. Количественное определение фукоидана [Электронный ресурс] // Тихоокеанский институт биоорганической химии. — Режим доступа: https://www.piboc.dvo.ru/structure/ext_labs/met/D.pdf. — Дата доступа: 02.06.2024.
 13. Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом = Прадукты харчовыя. Методыка вызначэння таксічных элементаў атамна-эмісійным метадам : ГОСТ 30538-97. — Введ. РБ 01.09.98. — Минск: Госстандарт, 2019. — 27 с.
 14. Пищевые продукты функциональные. Термины и определения : СТБ 1818-2007. — Введ. 01.07.2008. — Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. — 12 с.
 15. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю): утв. решением Комис. Тамож. союза, 28 мая 2010 г., №299. — Минск, 2010 — 421с.
 16. Колмакова, А. А. Состав аминокислот в перспективных компонентах питания радужной форели в условиях аквакультуры Красноярского края / А. А. Колмакова, В.И. Колмаков // Журнал Сибирского федерального университета. Биология, 2022. 15(3). С. 363-377.
 17. Абрамова, Л. С. Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья / Л. С. Абрамова. — М.: Изд-во ВНИРО, 2005. — 175 с.
 18. Бубырь, И. В. Пищевая ценность пресноводных рыб Беларуси / И.В. Бубырь // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук: научный журнал. — 2015. — № 1 (72), Ч. 1. — С. 57-64.
 19. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of FAO Expert Consultation. — Rome: FAO, 2013. — 66 p.
 20. Павловская, Л. М. Прудовая рыба — перспективное сырье для промышленной переработки / Л. М. Павловская, Л. А. Гапеева // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2018. — №3 (41). — С. 58-95.
 21. Влияние геля из бурых морских водорослей на микрофлору кишечника при дисбактериозе, инициированном антибиотиками / Е. В. Марцинкевич [и др.] // Пищевая промышленности: наука и технологии. — 2016. — № 4 (34). — С. 79-84.
 22. Евдокимова, О.В. Использование экстракта морской водоросли фукуса в качестве йодообогащающей добавки / О.В. Евдокимова, Е.Б. Гриминова, Н.Н. Толкунова, Г.А. Саркисян, С.Л. Свергуненко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. — 2006. — №2-3. — С.72-73.
 23. Научные основы здорового питания / В.А. Тутельян [и др.]. — М.: Издательский дом «Панорама», 2010. — 816 с.
 24. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенического норматива «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Министерств здравоохранения Республики Беларусь, 21 июня 2013 г., № 52 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. — Минск, 2017.
 25. Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь: санитарные нормы и правила: утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 20.11.2012 г. № 180. — Минск, 2012. — 43 с.
 26. Павловская, Л. М. Проектирование рецептур консервов для детского питания с помощью математического моделирования / Л. М. Павловская // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. — 2006. - №4. - С. 107-110.

27. Красуля, О. Н. Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика: учебное пособие / О.Н. Красуля, С.В. Николаева, А.В. Токарев, А.Е. Краснов, И.Г. Панин. – СПб. ГИОРД, 2015. – 320 с.

Информация об авторах

Красовская Елена Сергеевна, заведующий лабораторией физико-химических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: gagara.7878@mail.ru

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник — заведующий научно-исследовательским сектором Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Алексеенко Маргарита Сергеевна, кандидат технических наук, заведующий сектором органолептического анализа лаборатории физико-химических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: a.rita.s@mail.ru

Information about the authors

Krasovskaya Elena Sergeevna, head of the laboratory of physical and chemical research of the Republican control and testing complex for the quality and safety of food products of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: gagara.7878@mail.ru

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher — Head of Research Sector of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of the RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Alekseenko Margarita Sergeevna, PhD (Engineering), Head of the Organoleptic Analysis Sector of the laboratory of physical and chemical research of the Republican control and testing complex for the quality and safety of food products of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: a.rita.s@mail.ru