

УДК 639.3/6:664.95:641

**А.В. Жигин^{1,2}, М.В. Сытова¹, Ю.И. Есавкин^{2*}**¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,

107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17;

² Российский государственный аграрный университет —

МСХА имени К.А. Тимирязева,

127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

АКВАКУЛЬТУРА КАК ИСТОЧНИК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Проанализированы современное состояние, принципы функционального питания за рубежом и в нашей стране, существующие методы получения продуктов функционального питания животного происхождения. Показано, что опыт получения таких продуктов в аквакультуре, особенно прижизненным методом, минимален. На примере выращивания радужной форели до средней массы 380 г в модельной установке с замкнутым водоиспользованием (УЗВ) показано, что ее мясо содержало 1,28 г омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на 100 г продукта, норма потребления которых для взрослого человека составляет 1–3 г в сутки. Введением в корм форели селенсодержащего препарата «Эс-векс» (1 мл/кг корма) удалось повысить ее выживаемость на 11,7 %, рыбопродуктивность — на 17,5 %, содержание селена в мясе — до 20,1 мкг/100 г (на 7,3 мкг больше, чем в контроле), получив экологически чистый и функциональный продукт питания. В соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 выращенная рыба является «источником высокого содержания» данных нутриентов.

Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, *Oncorhynchus mikiss*, установка с замкнутым водоиспользованием, функциональные продукты питания, селен, омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, обогащенные рыбные комбикорма.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-910-922.

Zhigin A.V., Sytova M.V., Esavkin Yu.I. Aquaculture as a source of functional food // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 910–922.

* Жигин Алексей Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства, e-mail: azhigin@gmail.com; Сытова Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь, e-mail: nauka@vniro.ru; Есавкин Юрий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства, e-mail: esavkin@rgau-msha.ru.

Zhigin Alexey V., D.Agr., principal researcher, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 17, Verkhnyaya Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140, Russia; professor, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya, Moscow, 127550, Russia, e-mail: azhigin@gmail.com; Sytova Marina V., Ph.D., science secretary, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 17, Verkhnyaya Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140, Russia, e-mail: nauka@vniro.ru; Esavkin Yuri I., D.Agr., professor, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya, Moscow, 127550, Russia, e-mail: esavkin@rgau-msha.ru.

Current state of functional nutrition is analyzed. Principles and methods for production of the natural and artificially enriched functional food of animal origin in Russia and other countries are overviewed. Possibility of using the fish reared at fish farms as a raw material for functional nutrition is shown. Experience of such raw materials production in aquaculture is still insufficient, in particular for the *in vivo* enrichment. High-quality raw materials for the functional nutrition can be produced in aquaculture with recirculated water system. Meat of rainbow trout (*Oncorhynchus mikiss* Walbaum) reared up to the weight of 380 g in a model recirculated water system contains on average 1.28 g omega-3 polyunsaturated fatty acids per 100 g, whereas its consumption rate is 1–3 g per day for human adults. Selenium content in the meat of the rainbow trout underyearlings fed during 110 days by the preparation Essex (1 mL/kg of feed) has increased up to 20.1 mg/100 g (7.3 mg above the control) that corresponds to 28.7 and 36.6 % of the daily consumption rate of selenium for man and woman, respectively. This raw material can be used for production of ecologically clean and functional food products in cases of selenium scarcity. Besides, survival rate of the underyearlings increased by 11.7 % and their yield by 17.5 %. Prospects are shown of a new direction in innovative biotechnology toward production of functional food in high-tech industrial aquaculture using a purposeful enrichment of fish meat with specified nutrients.

Key words: aquaculture, rainbow trout, *Oncorhynchus mikiss*, recirculated water system, functional food, selenium, omega-3 polyunsaturated fatty acid, enriched fish compound.

Введение

Аквакультура в нашей стране является динамично развивающимся направлением рыбохозяйственного комплекса, показывающим за последние 5 лет очень высокие темпы роста объемов производства, — 7–15 % в год. Ее дальнейшее развитие планируется осуществлять в рамках общей Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г., утвержденной распоряжением правительства Российской Федерации от 26 ноября 2019 г. № 2798-р (далее — Стратегия). Данной Стратегией предусмотрено увеличение к 2030 г. объема производства товарной аквакультуры почти в 3 раза, до 618 тыс. т [<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/>].

Вместе с тем успешная реализация поставленных в Стратегии задач тесно связана с дальнейшим устойчивым развитием пищевой и перерабатывающей промышленности на основе наукоемких подходов и инновационных решений принятой ранее в 2012 г. Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г., где основными направлениями в этой сфере, в частности, были определены:

— создание биокаталитических и биосинтетических технологий производства функциональных продуктов питания с использованием биологически активных добавок иммуномодулирующего, антиоксидантного и биокорректирующего действия, пре- и пробиотиков для предупреждения различных заболеваний и укрепления защитных функций организма, снижения риска воздействия вредных веществ, в том числе для населения, проживающего в зонах экологического неблагополучия;

— разработка научных основ прижизненного формирования заданных качественных и функциональных характеристик сырья животного и растительного происхождения с целью создания дифференцированных технологий его переработки и хранения для обеспечения стабильного качества, хранимоспособности и минимизации потерь целевой продукции;

— производство экологически чистых продуктов питания и экологическая безопасность продовольствия [<https://base.garant.ru/70167828/#ixzz7ASBc74Hu>].

Данные направления научного обеспечения развития пищевой и перерабатывающей промышленности для целей обеспечения профилактики заболеваний, увеличения продолжительности и повышения качества жизни населения остаются актуальными и в настоящее время, найдя свое отражение в проекте новой Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на

период до 2030 г. [<https://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2019/11/proekt-strategyy-razvytyja-pyschevoj-y-pererabatyvajuschej-promyshlennosti-rf.pdf>].

Материалы и методы

В настоящей работе использован описательно-аналитический метод исследования, проведен теоретический анализ научной и методической литературы, а также нормативных документов в области создания продуктов функционального питания и перспектив их прижизненного получения в условиях аквакультуры. В целях определения принципиальной возможности прижизненного обогащения мяса радужной форели селеном и изучения влияния добавки в корма селенсодержащего препарата «Эсвекс» на организм сеголеток форели в условиях модельной установки с замкнутым водоиспользованием аквариальной кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в течение 110 сут проведено их экспериментальное выращивание. Условия проведения опыта для опытной и контрольной групп рыб были одинаковые: плотность посадки — 60 шт./м³, средняя исходная масса — 103,3 г, ихтиомасса — 6,2 кг/м³. Рыбы контрольной группы получали основной рацион: продукционный корм для товарного выращивания форели «ЛимКорм 42/17», рыбам опытной группы к основному рациону добавляли 1 мл/кг корма «Эсвекс». Доза препарата была выбрана исходя из предыдущего опыта его использования при кормлении форели в садках [Есавкин и др., 2007].

По завершении опыта проведено обследование 10 контрольных и 10 опытных экземпляров из каждой группы рыб, выращиваемых с добавлением препарата. Пробы мускулатуры для биохимических исследований брали на уровне спинного плавника. Изучение накопления селена в тканях рыб проводили по общепринятой методике [Голубкина и др., 2002; https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/401377/]. Математическую обработку полученных результатов проводили по Г.Ф. Лакину [1980].

Кроме того, у выращенной ранее в данной установке замкнутого водоиспользования форели, средней массой 380 г, определяли содержание в мясе омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на 100 г продукта методом высокоэффективной хроматографии — масс-спектрометрии.

Результаты и их обсуждение

Известно, что организм человека не синтезирует большинство микронутриентов — витаминов, минеральных и биологически активных веществ — и не способен запастись витаминами впрок на долгий срок (за исключением жирорастворимых). Поэтому многие микронутриенты должны поступать в организм регулярно и в количестве, соответствующем физиологической потребности человека, в течение всего года.

В постановлении главного санитарного врача Российской Федерации от 14 июня 2013 г. № 31 «О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения» Минпромторгу и Минсельхозу России было рекомендовано обратить внимание на развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, специализированных продуктов детского питания, продуктов функционального назначения, диетических (лечебных и профилактических) пищевых продуктов [<https://docs.cntd.ru/document/499028448>].

Другими словами, одной из задач государственной политики в области здорового питания населения является расширение отечественного производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, в том числе продуктов функционального назначения.

Термины «функциональные продукты», «функциональное, или здоровое, питание» появились в Японии в конце 80-х — начале 90-х гг. XX в., когда была сформулирована теория позитивного питания, согласно которой функциональные продукты должны иметь три основных свойства: необходимую пищевую ценность, приятный вкус и

положительное физиологическое воздействие на организм [Современные подходы..., 2016]. К этому еще можно добавить способность регулировать протекание некоторых процессов в организме, профилактическое воздействие относительно определенных заболеваний, абсолютную безвредность.

В 1989 г. в научной литературе впервые появился термин «functional foods» — «функциональные пищевые продукты» (полное название — «физиологически функциональные пищевые продукты»). Японское правительство признает функциональное питание как альтернативу медикаментозной терапии и определяет его как Food for Specific Health Use (FOSHU) [<http://trid.biz/article/zachem-nuzhno-funkcionalnoe-pitanie>].

В отличие от общепринятого понятия рационального питания, под термином «функциональное питание» японские исследователи подразумевают использование таких продуктов естественного происхождения, которые при систематическом употреблении оказывают позитивное регулирующее действие на определенные системы и органы макроорганизма или их функции, улучшая физическое и психическое здоровье человека.

Концепция функционального питания в Европе начала разрабатываться лишь с середины 1990-х гг. В результате многочисленных дискуссий, проходивших в 1995–1998 гг., был разработан итоговый документ, получивший название «Научная концепция функциональных продуктов питания в Европе» (Scientific Concepts of Functions Food in Europe). В нем было представлено обобщенное мнение европейских специалистов по проблеме функционального питания, включая терминологические, технологические аспекты, перспективы развития этой области пищевой индустрии и некоторые другие вопросы. В заключительной части документа было подчеркнуто, что в пищевой индустрии появилась уникальная возможность улучшить здоровье населения за счет организации производства и вывода на рынок новой категории пищевых продуктов — продуктов функционального питания, обладающих не только питательной в традиционном смысле этого слова активностью, но и способностью улучшать физическое и психическое здоровье и/или снижать риск возникновения заболеваний [<https://www.diabetes-ru.org/files/2018-06-21.pdf>].

Международный совет информации о пище (IFIC) и Международный институт жизни и науки Северной Америки (ILSI) рассматривают функциональные продукты как продукты, которые благодаря содержанию биологически активных веществ оказывают благоприятное влияние на здоровье, помимо основной питательной ценности. В соответствии с этими определениями необогащенные продукты, такие как фрукты и овощи, являются простейшим примером функциональных продуктов питания.

Продукты здорового питания не являются лекарствами и не могут излечивать, но помогают предупредить болезни и старение организма в сложившейся экологической обстановке, полезны они и больным в качестве вспомогательной терапии.

В настоящее время продукты функционального питания составляют не более 3 % всех известных пищевых продуктов. Согласно прогнозам, в ближайшие десятилетия их доля достигнет 30–50 % всего продуктового рынка. Таким образом, можно говорить о том, что производство функциональных продуктов питания является долгосрочной тенденцией, а не кратковременным модным явлением [Современные подходы..., 2016].

В отечественной науке термин «функциональное питание» длительное время не использовался, хотя отдельные аспекты этого научного направления изучались достаточно долго и глубоко. В российскую литературу термин «функциональное питание» вошел только в 1993 г.

Основные термины и определения, касающиеся данной группы продуктов, представлены в ГОСТ Р 52349–2005 «Продукты пищевые функциональные. Термины и определения». В соответствии с ним, в частности, определены следующие понятия.

1. *Функциональный пищевой продукт* — пищевой 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 нем физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

2. *Обогащенный пищевой продукт* — функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких физиологически функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам с целью предотвращения возникновения или исправления имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ.

3. *Физиологически функциональный пищевой ингредиент* — вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, а также живые микроорганизмы, входящие в состав функционального пищевого продукта, 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 % суточной физиологической потребности [ГОСТ Р 52349–2005].

Сегодня в нашей стране производство функциональных продуктов постепенно увеличивается. Все больше выпускается продуктов, обогащенных витаминами, макро- и микроэлементами и другими необходимыми для здоровья человека веществами.

Объем российского производства функциональных продуктов питания увеличился с 2006 по 2011 г. практически на 160 % в натуральном выражении, при этом рост объема рынка продолжается в пределах 2–3 % в год (см. таблицу). Специалисты компании GranfViewResearch прогнозируют, что до 2025 г. эта категория продуктов в нашей стране будет показывать рост потребления в 7,9 % ежегодно [https://milknews.ru/longridy/funkcionalniye-produkty.html].

Объемы продаж и потребления функциональных продуктов питания в России
[http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=1832]
Sales and consumption of functional food products in Russia
[from: http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=1832]

Показатель	Год*					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Объем продаж, тыс. т	267,4	275,5	285,5	295,8	306,8	314,0
Прирост, % к предыдущему году	2,2	3,0	3,6	3,6	3,7	2,4
Объем продаж, млрд руб.	101,3	107,6	114,1	120,2	125,9	130,7
Прирост, % к предыдущему году	5,6	6,2	6,0	5,3	4,8	3,8
Потребление, кг/чел.	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2

* Сведения взяты из Euromonitor international.

При этом следует констатировать, что в существующих нормативных документах, так или иначе затрагивающих вопросы функционального питания, практически отсутствуют упоминания о продукции аквакультуры как о возможном сырье или продукте функционального и специализированного назначения.

Вместе с тем создание изделий массового потребления повышенной пищевой и биологической ценности, а также продуктов профилактического и диетического назначения требует расширения и совершенствования сырьевой базы отечественной промышленности [https://www.oborud.info/news/?t=10921]. Одним из таких направлений может стать производство нового поколения продукции в условиях аквакультуры.

Одним из уникальных и безопасных видов сырья для получения продуктов функционального питания является рыба — важнейший источник пищи человека. Ее ценность как продукта питания определяется в первую очередь наличием большого количества полноценных белков, содержащих все восемь жизненно необходимых незаменимых аминокислот. Все это делает рыбу незаменимой и особенно ценной в

детском, лечебном и диетическом питании. Исходя из этого, рыбу по содержанию ряда нутриентов можно правомерно отнести к естественным функциональным продуктам питания по приведенной выше аналогии с фруктами и овощами.

Рыбы относятся к натуральному сырью животного происхождения и, как было сказано выше, в своем составе имеют витамины, белки, жиры, минералы и другие компоненты в сбалансированных пропорциях. Их систематическое употребление способствует нормализации и ускорению процесса метаболизма. При этом мясо рыбы не относится к лекарственным средствам и биологически активным добавкам и его употребление исключает последствия передозировки перечисленных выше веществ. Таким образом, выращенная рыба при определенных условиях может считаться натуральным продуктом функционального питания.

Примером может служить радужная форель, которая заслуженно пользуется высоким спросом в крупных промышленных, курортных и туристских центрах. При условии выращивания в экологически чистых условиях форель априори отвечает требованиям продукта функционального питания. Это связано с тем, что, в отличие от многих других видов, культивируемая форель относится к рыбам, мускулатура которых богата жиром. Таким образом, радужная форель — функциональный продукт натурального происхождения, источник омега-3 полиненасыщенных жирных кислот, норма потребления которых для взрослого человека составляет 1–3 г в сутки.

Наши исследования показали, что мясо форели средней массой 380 г, выращенной в модельной УЗВ, содержало в своем составе 1,28 г омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на 100 г продукта. Таким образом, выращенная рыба является источником высокого содержания этих нутриентов. Соответственно, для получения суточной нормы их потребления человеку достаточно съесть 100–200 г мяса форели.

Понятно, что далеко не по всем нутриентам рыба является натуральным функциональным продуктом, но она может быть обогащена полезными компонентами двумя способами:

- прижизненным обогащением живых организмов путем их включения в рацион с последующим накоплением в органах и тканях;

- введением нутриентов в полученное рыбное сырье в процессе его переработки.

Анализ доступной информации показывает, что в целом оба направления получения продуктов функционального питания из животного сырья применяются как в мировой, так и в отечественной практике. Однако для этих целей наиболее часто используются мясомолочный скот и молочные продукты, а также птица и ее яйца. При этом прием прижизненного обогащения живого организма менее распространен и предполагает получение сырья с заданным компонентным составом [<https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=863117>].

В настоящее время нет комплексных разработок технологий производства сырья и продуктов животноводства с оптимальной питательной ценностью и оздоравливающими свойствами. Нет и четкой увязанности звеньев во всей продовольственной цепочке: «почва — вода — корма — животное (порода, генотип, система содержания и откорма) — сырье/продукт животноводства (технологическая, химическая и биологическая оценка; экономический анализ) — одобрение со стороны потребителей и здоровье потребителя» [Хорбанчук и др., 2009].

Аналогичные проблемы еще меньше проработаны в аквакультуре. Прижизненное обогащение выращиваемых рыб для получения функциональных продуктов пока не нашло широкого применения, чаще практикуется введение нутриентов в полученное сырье из морских видов рыб в процессе его переработки.

Исследования по получению функциональных продуктов в аквакультуре весьма ограничены, фрагментарны и начаты сравнительно недавно. Вместе с тем стремительно развивающийся сегмент сырьевых ресурсов в виде аквакультуры требует самого пристального внимания ученых и специалистов как потенциальный источник для производства функциональной продукции. Возросший спрос на недорогую прудовую

рыбу и изделия из нее дает возможность задействовать для их производства местные сырьевые ресурсы. В связи с этим особое значение приобретают научно обоснованные подходы к оценке качества рыбного сырья, его технологической пригодности, обеспечение потребительских предпочтений, разработки системы контроля качества сырья и выпускаемой продукции [Шебела, Сарбатова, 2014].

В Воронежском государственном университете инженерных технологий проведены исследования по разработке технологии аналоговых продуктов из прудовых рыб, наиболее распространенных в данном регионе, с заданными свойствами и повышенной пищевой и биологической ценностью (карпа, толстолобика, белого амура и щуки). Было установлено, что в исследуемых образцах их мяса содержание незаменимых аминокислот и витаминов составило 27 % от суточной потребности человека, что доказывает целесообразность создания биологически полноценных и функциональных продуктов питания на основе мышечной ткани этих объектов аквакультуры [Калач, 2011].

На высокую биологическую ценность прудовых растительноядных рыб (белый и пестрый толстолобик, белый амур) указывают и другие исследователи, рекомендуя их для поддержания состояния здоровья различных групп населения, особенно пожилых людей и детей [<https://www.oborud.info/news/?t=10921>].

Перспективным объектом индустриальной аквакультуры является африканский клариевый сом *Clarias gariepinus*. Исходя из установленного его химического состава и функционально-технологических свойств сырья, этот объект аквакультуры перспективен для создания поликомпонентных продуктов функционального назначения диабетического, диетического и геродиетического направлений [Моисеенко, Мукатова, 2019].

Можно согласиться с исследователями из Ульяновского аграрного университета, что в России практически отсутствует практика конструирования продуктов функционального назначения в аквакультуре. Однако теоретические знания об адаптогенах — веществах, способных вызвать состояние неспецифической повышенной сопротивляемости организма, — и механизмах их действия на организм позволяют предположить, что задача конструирования продукта функционального питания в виде живой и свежей рыбы, обогащенной адаптогенами, вполне решается в условиях индустриальной аквакультуры [Романов и др., 2018; Романова и др., 2018].

Следует отметить, что введение в рацион различных биологически активных добавок и других нутриентов (витамины, пробиотики, пребиотики, минеральные вещества и т.д.) в корма для рыб практикуется достаточно широко [Бахарева, 2016; Грозеску, 2016; Гусева, 2019; и др.].

Так, было показано влияние пробиотика «Субтилис» на интерьерные показатели внутренних органов клариевых сомов. Отмечено статистически значимое увеличение сердца, печени, количества внутреннего жира [Артеменков, 2013].

Изучались рост и рыбоводно-физиологические показатели нильской тилпии при выращивании в бассейнах на комбикормах с добавкой «Метаболит плюс». Было установлено, что ее введение в комбикорм в объеме 1–3 % от массы корма улучшало физиологическое состояние, экстерьерно-интерьерные показатели особей, повышало скорость роста, оплату корма и выход съедобных частей [Пырских, 2017]. С аналогичными целями, а также для повышения стрессоустойчивости и сохранности карпа при транспортировке проводились исследования по использованию комплексного препарата «Виусид-Вет» в кормлении карпа в садках [Мухаметшин, 2019].

Показан положительный эффект использования бактериальных препаратов «Ферм-КМ» и «Простор» в кормлении осетровых рыб для повышения репродуктивных качеств производителей и улучшения рыбоводно-биологических, гематологических, микробиологических и экономических показателей товарного выращивания [Жандалгарова, 2017].

Однако цель этих и других аналогичных исследований не предусматривала разработки методов получения функциональной пищевой рыбной продукции, а заключалась

в улучшении физиологического состояния выращиваемых рыб, повышении скорости их роста и в итоге — повышении рыбопродуктивности.

Исследования должны включать развитие новых технологий производства в аквакультуре, в переработке, обеспечивающих сохранение биоактивных компонентов в готовых продуктах, при сохранении их традиционной формы и сенсорных свойств, а также экономический анализ и маркетинговые исследования [Хорбаньчук и др., 2009].

В плане «конструирования» рыбы как продукта функционального назначения рассматривались перспективы использования пробиотиков «Споротермин» и «Пролам». Их использование было обусловлено необходимостью снижения уровня условно-патогенной микробиоты в органах и тканях рыб вследствие органического загрязнения воды продуктами метаболизма при высокой плотности посадки. При этом в работе не ставилась задача создания функционального продукта узконаправленного действия [Романов и др., 2018; Романова и др., 2018].

С.И. Кононенко с соавторами [2016] считают, что элементы, концентрация которых в воде обычно невелика, должны поступать в организм с пищей. Обычно к ним относят фосфор, цинк, йод, марганец, кобальт, селен и др.

При разработке функциональных продуктов питания необходимо соблюдать следующие принципы: для их обогащения в первую очередь используются те ингредиенты, дефицит которых действительно наблюдается, широко распространен и опасен для здоровья. Для России это витамины С, группы В, минеральные вещества, такие как йод, железо и кальций [<https://www.oborud.info/news/?t=10921>].

В аквакультуре рыбу можно обогащать витаминами А, Е, Н, В₂, С, которые вводятся с кормами. Однако исследований, посвященных использованию витаминов при выращивании рыбы в аквакультуре, сравнительно немного [Ткачева, Тищенко, 2011; Коршунова и др., 2016].

Среди наиболее востребованных в настоящее время функциональных продуктов являются йодобогащенные, так как у населения центральных регионов России широко регистрируется как эндемическая, так и индивидуальная йодная недостаточность, связанная с пищевыми предпочтениями и низким потреблением морской рыбы и нерыбных гидробионтов.

В связи с этим отдельно следует выделить серию исследований по обогащению йодом различных видов выращиваемых рыб, которые были проведены в Саратовском государственном аграрном университете [Тарасов, 2016; Поддубная, 2018; и др.]. Эти работы отличает комплексный подход к изучению проблемы, заключающийся в том, что авторами изучены не только влияние йодсодержащих препаратов на морфофизиологические и рыбоводно-биологические показатели объектов выращивания, но и на пищевое качество полученной рыбоводной продукции, а также на содержание йода в органах и тканях изучаемых особей. В результате была наглядно продемонстрирована возможность прижизненного обогащения рыб столь важным нутриентом, как йод.

Помимо исследований с введением в корма йодсодержащих препаратов, были проведены немногочисленные опыты по влиянию селенсодержащих препаратов на динамику накопления и распределения селена в организме рыб [Есавкин и др., 2007].

Селен представляет собой физиологически важный микроэлемент, незаменимый в питании человека и животных. Правительство Российской Федерации определило дефицит селена наряду с недостаточностью других микроэлементов как значительную угрозу для населения и национальной экономики.

Поскольку функциональные продукты изготавливаются только из экологически чистого сырья высокого качества, выращенная в аквакультуре продукция должна полностью соответствовать указанному требованию, а именно положениям Федерального закона Российской Федерации от 03.08.2018 года № 280-ФЗ «Об органической продукции и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», где содержится четкое определение органических (экологически чистых) продуктов и сформулированы принципы их производства.

Следует отметить, что, несмотря на наличие различных методов осуществления товарной аквакультуры, наиболее гарантированного получения экологически чистой рыбоводной продукции можно добиться, применяя рыбоводные УЗВ. Это объясняется глобальным загрязнением окружающей среды, что в полной мере относится к водным экосистемам, являющимся одними из главных источников пищевых ресурсов. Лимитирующими факторами выступают земельные, водные ресурсы и их экологическое состояние. При эксплуатации циркуляционных установок достигается полная независимость производственного процесса от природно-климатических и экологических условий, а также его непрерывность независимо от времени года [Жигин, 2011, 2018]. Кроме того, выращивание рыбы в УЗВ позволяет уйти от сезонности в производстве, обеспечивая стабильность и ритмичность поставок экологически чистой рыбной продукции, в том числе с заданными функциональными свойствами.

В связи с этим нами в условиях УЗВ проведены исследования, цель которых определить влияние добавки в корма селенсодержащего препарата «Эсвекс» на организм сеголеток радужной форели и установить возможность его накопления в мясе подопытных рыб.

Результаты показали, что введение в комбикорм данного препарата в количестве 1 мл/кг корма не оказало статистически значимого влияния на рыбоводные показатели за исключением выживаемости рыб. В опыте она была выше и составила 86,7 против 75,0 % в контроле, что повлияло на рыбопродуктивность, которая оказалась выше на 17,5 % в опытном бассейне.

Анализ мышечной ткани выращенной форели показал, что в опытной группе содержание селена составило 20,1 мкг/100 г, что на 7,3 мкг больше, чем в контроле (12,8 мкг/100 г).

Сопоставляя эти данные с величиной суточной потребности человека в селене (70 мкг для мужчин и 55 мкг для женщин) можно заключить, что рыба, выращенная в контроле, содержала в мясе 18,3–23,3 % суточной нормы и в соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 может быть отнесена к продукту «источник селена», а форель, получавшая в корм селенсодержащую добавку, в зависимости от пола потребителя, близка или соответствует продукту с «высоким содержанием селена», так как этот показатель составлял 28,7–36,6 % от суточной нормы потребления соответственно мужчины и женщины.

Таким образом, благодаря введению в кормовой рацион форели, выращиваемой в УЗВ, селенсодержащего препарата «Эсвекс» в количестве 1 мл/кг корма удалось не только повысить ее выживаемость и рыбопродуктивность, но и увеличить содержание селена в мясе, получив экологически чистый и функциональный продукт питания.

Заключение

В целом проведенные исследования — это первые шаги в создании нового направления инновационной биотехнологии производства экологически чистой рыбы, отвечающей требованиям продукта функционального питания, в высокотехнологичной индустриальной аквакультуре путем получения натуральной продукции, а также целенаправленного прижизненного обогащения мяса рыб заданными нутриентами через введение их в организм со скормливаемым комбикормом.

Разработка таких технологий предполагает создание, помимо стартовых и продукционных (финишных) рыбных комбикормов, еще и линейки специализированных комбикормов, обогащенных требуемыми нутриентами с определением сроков их введения в рацион и продолжительности скормливания перед реализацией рыбы. Важной составляющей является подбор видов и пород гидробионтов, препаратов с соответствующими нутриентами, способов обогащения ими комбикормов, подбор оптимальных дозировок, способствующих не только повышению рыбопродуктивности, но и оптимальному уровню обогащения выращиваемого организма в количестве,

соответствующем продукту функционального питания. Требуется проведение медико-биологических исследований по усвоению человеческим организмом полученной рыболовной продукции.

Такие комплексные и многоплановые исследования следует проводить в рамках многопрофильных коллективов, включающих рыбоводов, ветеринаров, технологов рыбопереработки, специалистов в области диетического питания.

Благодарности

Авторы выражают свою признательность лаборантам-исследователям межкафедрального учебно-научного центра биологии и животноводства Тимирязевской академии И.В. Байдарову и В.В. Дернакову за техническое обеспечение проведения научной работы.

Финансирование работы

Результаты настоящего исследования были получены в рамках научно-исследовательских работ, выполняемых высшими учебными заведениями, подведомственными Министерству сельского хозяйства Российской Федерации, за счет средств федерального бюджета по заказу Минсельхоза России в 2020 г.

Соблюдение этических стандартов

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

А.В. Жигин разработал концепцию исследования, осуществлял руководство над его проведением и принимал участие в аквариальных работах, осуществлял написание текста статьи с последующим редактированием; М.В. Сытова отвечала за сбор и обработку литературных источников и нормативных правовых актов, касающихся темы исследований, участвовала в написании, редактировании и оформлении текста статьи; Ю.И. Есавкин проводил лабораторные и аквариальные исследования, обобщение и статистическую обработку полученных результатов.

Список литературы

Артеменков Д.В. Выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в УЗВ на комбикормах с добавками пробиотика «Субтилис»: дис. ... канд. с.-х. наук. — М., 2013. — 139 с.

Бахарева А.А. Научно-обоснованные методы повышения продуктивности ремонтно-маточных стад осетровых рыб за счет оптимизации технологии кормления и содержания в условиях рыбоводных хозяйств Волго-Каспийского бассейна: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2016. — 32 с.

Голубкина Н.А., Скальный А.В., Соколов Я.А., Щелкунов Л.Ф. Селен в медицине и экологии: моногр. — М.: КМК, 2002. — 136 с.

Грозеску Ю.Н. Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2016. — 34 с.

Гусева Ю.А. Формирование научных основ использования панкреатического гидролизата соевого белка в питании рыб в промышленных условиях: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Саратов, 2019. — 39 с.

Есавкин Ю.И., Панченков Г.Т., Панов В.П., Базутко Н.П. Морфологические и физиолого-биохимические особенности радужной форели, выращиваемой на кормах с добавками селена и токоферола (препарата «Эсвекс») // Мат-лы Междунар. симпоз. «Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата». — Астрахань: АГТУ, 2007. — С. 458–460.

- Жандалгарова А.Д.** Использование бактериальных препаратов «Ферм-км» и «Простор» в кормлении осетровых рыб : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2017. — 19 с.
- Жигин А.В.** Замкнутые системы в аквакультуре : моногр. — М. : РГАУ-МСХА, 2011. — 664 с.
- Жигин А.В.** Рыбоводные установки в аквакультуре : учеб. пособие. — М. : ЭЙПиСиПабблишинг, 2018. — 296 с.
- Калач Е.В.** Разработка технологии аналоговых продуктов функционального назначения из объектов аквакультуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж, 2011. — 24 с.
- Кононенко С.И., Юрина Н.А., Максим Е.А., Чернышов Е.В.** Инновационные кормовые добавки при выращивании молоди рыб // Изв. Горского ГАУ. — 2016. — Т. 53, № 1. — С. 30–34.
- Коршунова Н.В., Литовченко Е.А., Доровских В.А.** Эколого-гигиеническое изучение растительных адаптогенных продуктов для повышения резистентности организма к условиям низких и высоких температур // Бюл. физиологии и патологии дыхания. — 2016. — Вып. 61. — С. 46–51. DOI: 10.12737/21453.
- Лакин Г.Ф.** Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1980. — 292 с.
- Моисеенко М.С., Мукатова М.Д.** К вопросу разработки технологии продуктов функциональной направленности из объектов аквакультуры // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2019. — № 2. — С. 94–100. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-2-94-100.
- Мухаметшин С.С.** Эффективность использования препарата «Виусид-Вет» в кормлении карпа : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Саранск, 2019. — 18 с.
- Поддубная И.В.** Научно-практическое обоснование использования йодсодержащих кормовых добавок в товарном рыбоводстве : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2018. — 37 с.
- Пырников А.С.** Рост и рыбоводно-физиологические показатели тилляпии при выращивании на комбикормах с добавкой «Метаболит плюс» : дис. ... канд. с.-х. наук. — М., 2017. — 162 с.
- Романов В.В., Романова Е.М., Любомирова В.Н., Мухитова М.Э.** Конструирование функционального рыбного продукта в условиях индустриальной аквакультуры // Вестн. Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2018. — № 1(41). — С. 151–156. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-151-156.
- Романова Е.М., Романов В.В., Любомирова В.Н. и др.** Инновационные технологии производства продуктов функционального назначения в индустриальной аквакультуре // Рыбоводство и рыб. хоз-во. — 2018. — № 5(148). — С. 54–59.
- Современные подходы в создании функциональных продуктов на мясной основе :** методические указания по выполнению лабораторных работ для направления подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» / сост. С.В. Андреева. — Саратов : Саратовский ГАУ, 2016. — 72 с.
- Тарасов П.С.** Продуктивность и товарные качества ленского осетра в установке замкнутого водоснабжения при скармливании добавки «Абиопептид с йодом» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Саранск, 2016. — 19 с.
- Ткачева И.В., Тищенко Н.Н.** Витамины в питании рыб // Тр. Кубанского ГАУ. — 2011. — № 28. — С. 140–142.
- Хорбаньчук Я.О., Юзвик А., Томасик Ц. и др.** Функциональные продукты питания животного происхождения и их значение для здоровья людей // Птица и птицепродукты. — 2009. — № 3. — С. 15–17.
- Шебела К.Ю., Сарбатова Н.Ю.** Особенности технологии производства функциональных продуктов из мяса рыбы // Молодой ученый. — 2014. — № 20(79). — С. 233–235.

References

- Artemenkov, D.V.,** Cultivation of Clarius catfish (*Clarias gariepinus*) in closed water use units on mixed fodders with the addition of the probiotic “Subtilis”, *Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Moscow, 2013.
- Bakhareva, A.A.,** Scientifically grounded methods of increasing the productivity of sturgeon replacement broodstock by optimizing the technology of feeding and keeping in the conditions of fish farms in the Volga-Caspian basin, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2016.
- Golubkina, N.A., Skal'nyy, A.V., Sokolov, Ya.A., and Shchelkunov, L.F.,** *Selen v meditsine i ekologii* (Selenium in medicine and ecology), Moscow: KMK, 2002.
- Grosescu, Yu.N.,** Innovative methods to increase the feeding efficiency of sturgeon fish based on the use of unconventional feed raw materials and biologically active preparations in diets, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2016.

Guseva, Yu.A., Formation of scientific foundations for the use of soy protein pancreatic hydrolyzate in fish nutrition in industrial conditions, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Saratov, 2019.

Esavkin, Yu.I., Panchenkov, G.T., Panov, V.P., and Bazutko, N.P., Morphological, physiological and biochemical characteristics of rainbow trout grown on feed with additives of selenium and tocopherol (the drug “Esvex”), in *Mater. Mezhdunar. simpoz. “Teplovodnaya akvakul'tura i biologicheskaya produktivnost' vodoyemov aridnogo klimata”* (Mater. Intern. Symp. “Warm water aquaculture and biological productivity of water bodies in arid climate”), Astrakhan: Astrakhan. Gos. Tekh. Univ., 2007, pp. 458–460.

Zhandalgarova, A.D., The use of bacterial preparations “Ferm-km” and “Prostor” in feeding sturgeon fish, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2017.

Zhigin, A.V., *Zamknutyie sistemy v akvakul'ture* (Closed systems in aquaculture), Moscow: RGAU-MSKHA, 2011.

Zhigin, A.V., *Rybovodnyie ustanovki v akvakul'ture* (Fish breeding installations in aquaculture), Moscow: EyPiSiPublishing, 2018.

Kalach, E.V., Development of technologies for analog functional products from aquaculture facilities, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation*, Voronezh, 2011.

Kononenko, S.I., Yurina, N.A., Maxim, E.A., and Chernyshov, E.V., Innovative feed additives for growing fish fry, *Izv. Gorskogo Gos. Agr. Univ.*, 2016, Vol. 53, no. 1, pp. 30–34.

Korshunova, N.V., Litovchenko, E.A., and Dorovskikh, V.A., Ecological and hygienic investigation of the adaptogenic herbal products to increase resistance of the organism to conditions of low and high temperatures, *Byul. Fiziologii i patologii dykhaniya*, 2016, no. 61, pp. 46–51. doi 10.12737/21453

Lakin, G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1980.

Moiseenko, M.S. and Mukatova, M.D., On developing technology of products of the functional orientation produced from aquaculture objects, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2019, no. 2, pp. 94–100. doi 10.24143/2073-5529-2019-2-94-100

Mukhametshin, S.S., The effectiveness of using the drug “Viusid-Vet” in feeding carp, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Saransk, 2019.

Poddubnaya, I.V., Scientific and practical substantiation of the use of iodine-containing feed additives in commercial fish farming, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2018.

Pysikov, A.S., Growth and fish-breeding and physiological indicators of tilapia when grown on compound feed with the additive “Metabolite plus”, *Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Moscow, 2017.

Romanov, V.V., Romanova, E.M., Lyubomirova, V.N., and Mukhitova, M.E., Construction of functional fish products in the conditions of industrial aquaculture, *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2018, no. 1(41), pp. 151–156. doi 10.18286/1816-4501-2018-1-151-156

Romanova, E.M., Romanov, V.V., Lyubomirova, V.N., Muhitova, M.E., Shadyeva, L.A., Shlenkina, T.M., and Galushko, I.S., Innovative technology for the production of functional foods in the industrial aquaculture, *Rybovod. Rybn. Khoz.*, 2018, no. 5(148), pp. 54–59.

Andreyeva, S.V., *Sovremennyye podkhody v sozdanii funktsional'nykh produktov na myasnoy osnove* (Modern approaches to creating functional meat-based products), Saratov: Saratovskiy GAU, 2016.

Tarasov, P.S., Productivity and commercial qualities of the Lena sturgeon in a closed water supply installation when feeding the additive “Abiopeptide with iodine”, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Saransk, 2016.

Tkacheva, I.V. and Tishchenko, N.N., Vitamins in fish nutrition, *Tr. Kubanskogo Gos. Agrarnogo Univ.*, 2011, no. 28, pp. 140–142.

Horbanchuk, Ya.O., Yuzvik, A., Tomasik, Ts., Horbanchuk, K., Shimanskaya, E., and Sivets, D., Functional food products of animal origin and their importance for human health, *Pitisa i pitseprodukty*, 2009, no. 3, pp. 15–17.

Shebela, K.Yu. and Sarbatova, N.Yu., Features of the technology for the production of functional products from fish meat, *Molodoy uchenyy*, 2014, no. 20(79), pp. 233–235.

Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 26 Noyabrya 2019 g. № 2798-r ob utverzhdenii Strategii razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa RF na period do 2030 g. i plana meropriyatiy po yeye realizatsii (Order of the Government of the Russian Federation of November 26, 2019 no. 2798-r on

the approval of the strategy for the development of the fishery sector of the Russian Federation for the period up to 2030 and an action plan for its implementation. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/>. Cited December 12, 2020.

Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 17 Aprelya 2012 g. № 559-r o Strategii razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti RF na period do 2020 g. (Order of the Government of the Russian Federation of April 17, 2012 no. 559-r on the Strategy for the Development of the Food and Processing Industry of the Russian Federation for the Period until 2020. <https://base.garant.ru/70167828/#ixzz7ASBc74Hu>. Cited December 12, 2020.

Proyekt Strategii razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda (Draft Strategy for the Development of the Food and Processing Industry of the Russian Federation for the Period up to 2030). <https://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2019/11/proekt-strategyy-razvytyja-pyschevoj-y-pererabatyvajuschej-promyshlennosty-rf.pdf>. Cited August 11, 2021.

Metodicheskiye ukazaniya MUK 4.1.033-95 "Khimicheskiye faktory. Opredeleniye selena v produktakh pitaniya" (Methodical instructions MUK 4.1.033-95 "Chemical factors. Determination of selenium in food"). https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/401377/. Cited December 10, 2020.

Postanovleniye Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiyskoy Federatsii ot 14 Iyunya 2013 g. № 31 g. Moskva "O merakh po profilaktike zabolevaniy, obuslovlennykh defitsitom mikronutrientov, razvitiyu proizvodstva pishchevykh produktov funktsional'nogo i spetsializirovannogo naznacheniya" (Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of June 14, 2013 no. 31, Moscow "On measures for the prevention of diseases caused by micronutrient deficiencies, the development of the production of functional and specialized foods"). Cited December 11, 2020.

Zachem nuzhno funktsional'noye pitaniye (Why do you need functional nutrition). <http://trid.biz/article/zachem-nuzhno-funkcionalnoe-pitanie>. Cited November 16, 2020.

Isaev, V.A., *Funktsional'nyye produkty pitaniya: opredeleniya i kharakteristika osnovnykh grupp funktsional'nykh ingrediyyentov* (Functional food products: definitions and characteristics of the main groups of functional ingredients). <https://www.diabetes-ru.org/files/2018-06-21.pdf>. Cited December 07, 2020.

Antonova, N., Functional products: how the trend for superfoods took over the world and reached Russia, *News and Analytics of the Dairy Market*, 2019. <https://milknews.ru/longridy/funkcionalniye-produkty.html>. Cited August 11, 2021.

Skobelev, V., *Obzor rossiyskogo rynka funktsional'nykh ingrediyyentov* (Review of the Russian functional ingredients market). <http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=1832>. Cited December 06, 2020.

Kononov, K.L., Loseva, A.I., Shulbaeva, M.T., and Pechenik, N.V., Creation of qualitatively new products with desired properties, *Molochnaya SFERA*, 2010, no. 4(34). <https://www.oborud.info/news/?t=10921>. Cited December 25, 2020.

Proizvodstvo funktsional'nykh pishchevykh produktov pitaniya (Production of functional food products). <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=863117>. Cited October 01, 2015.

Поступила в редакцию 6.09.2021 г.

После доработки 21.10.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.