

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-233-244>

Поступила: 07.04.2023

Поступила после рецензирования: 15.06.2023

Принята в печать: 19.06.2023

© Пивненко Т. Н., 2023



<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ

Пивненко Т. Н.

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный Университет (Дальрыбвтуз),
Владивосток, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

пищевые волокна, рыбные
продукты, клетчатка, хитозан,
коллаген, функционально-
технологические свойства

АННОТАЦИЯ

В представленном обзоре приведены современные научные представления о роли пищевых волокон растительного (клетчатка и гидроколлоиды) и животного (хитозан и коллаген) происхождения в пищевых системах. Основное внимание уделяется их значимости и способам применения в технологии рыбной продукции. Пищевые волокна рассматриваются как важные компоненты рациона питания, обеспечивающие профилактику и регуляцию физического и психического здоровья населения. Использование рыбных продуктов способствует не только обогащению сырья функциональными ингредиентами, но и повышению эффективности переработки исходного сырья, в том числе недоиспользуемых водно-биологических ресурсов. Показано влияние пищевых волокон на реструктуризацию рыбных мышечных систем, способность удерживать воду и жиры, стабилизировать эмульсии, изменять сенсорные характеристики, увеличивать выход готовой продукции, а также на сроки ее хранения. Рассмотрены механизмы участия отдельных групп пищевых волокон в физико-химических и биохимических процессах взаимодействия с компонентами рыбного сырья, изучено влияние различных условий обработки на гелеобразование и формирование эмульсий. Приведены факторы, обеспечивающие антимикробное и антиоксидантное действие различных пищевых волокон. Отдельно проанализированы свойства и примеры применения коммерческих препаратов клетчатки из различных источников, выявлено значение молекулярной структуры хитозана и коллагена для обеспечения задаваемых технологических параметров. Сделан вывод о том, что использование пищевых волокон в процессе изготовления рыбной продукции приводит к увеличению экономической эффективности производства и способствует развитию индустрии здорового питания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию Федерального агентства по рыболовству РФ № 827/2023.

Received 07.04.2023

Accepted in revised 15.06.2023

Accepted for publication 19.06.2023

© Pivnenko T. N., 2023

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE DIETARY FIBERS AND THEIR USING IN THE MANUFACTURING TECHNOLOGY OF FISH PRODUCTS

Tatiana N. Pivnenko

Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz), Vladivostok, Russia

KEY WORDS:

dietary fibers, fish products, fiber,
chitosan, collagen, functional and
technological properties

ABSTRACT

This review presents the up-to-date scientific ideas about the role of dietary fibers of plant origin (fiber and hydrocolloids) and animal origin (chitosan and collagen) in the food systems. The main attention is focused on their significance and methods of their using in the manufacturing technology of fish products. Dietary fibers are considered as important components of a diet; the dietary fibers prevent certain disorders and regulate the physical and mental health of the population. Consuming of fish products contributes both to the enrichment of raw materials with functional ingredients, as well as to the increasing in the efficiency of processing of raw materials, including underestimated and underutilized aquatic biological resources. The review shows the influence of dietary fibers on the restructuring of fish muscles systems, their ability to hold water and fats, to stabilize emulsions, to change their sensory characteristics, to increase the yield of the finished food products, and also their ability to influence the shelf life of the finished food product. The mechanisms of involving the certain groups of dietary fibers into the physicochemical and biochemical processes of interaction with the components of fish raw materials are considered; the influence of various conditions of processing on gelation and emulsification is studied. The factors that provide antimicrobial and antioxidant effects of various dietary fibers are given. The properties and examples of using the commercial fiber preparations obtained from various sources are analyzed separately, and the significance of the molecular structure of chitosan and collagen for ensuring the specified technological parameters is considered. It is concluded that using the dietary fiber in the manufacturing process of fish products increases the economic efficiency of production and contributes to the development of the healthy food industry.

FUNDING: The article was published as part of the research topic № 827/2023 of the state assignment of the Federal Agency for Fisheries of the Russian Federation.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Пивненко, Т. Н. (2023). Функциональные свойства пищевых волокон и их применение в технологии рыбной продукции. *Пищевые системы*, 6(2), 233-244. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-233-244>

FOR CITATION: Pivnenko, T. N. (2023). Functional properties of the dietary fibers and their using in the manufacturing technology of fish products. *Food Systems*, 6(2), 233-244. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-233-244>

1. Введение

Изменения в структуре питания современного общества приводят к увеличению доли продуктов, готовых к употреблению, среди которых мясные и рыбные изделия пользуются высоким спросом. Многие категории населения при достаточном уровне потребления белков испытывают дефицит пищевых волокон (ПВ). Рекомендуемые суточные нормы потребления ПВ составляют от 10 до 30 г при соотношении нерастворимые/растворимые ПВ — 3 к 1. В современной концепции здорового питания акцент сместился со стремления удовлетворить саму потребность в пище на выявление потенциальных возможностей пищевых продуктов как регуляторов физического и психического здоровья для снижения рисков хронических заболеваний. С этой точки зрения ПВ занимают лидирующую позицию в списке функциональных ингредиентов [1–6].

Рыба и морепродукты, используемые в пище, обладают высокой питательной и биологической ценностью за счет наличия полноценных и легкоусвояемых белков и незаменимых липидных компонентов, включающих полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), характерные только для морских организмов. Благодаря этому рыбные продукты априори могут рассматриваться в качестве функциональных пищевых продуктов (ФПП), т. е. продуктов питания, обеспечивающих уровень потребления биологически активных ингредиентов, необходимый для поддержания и/или улучшения физиологических показателей организма. Увеличить полноценность рыбных продуктов особенно на фоне потребления больших количеств белка и жира способно введение ПВ в состав изделий, готовых к употреблению. Кроме того, при реструктуризации рыбного сырья с использованием ПВ могут быть задействованы недоиспользуемые рыбные ресурсы, не обладающие исходно стандартными технологическими свойствами [7–10].

Вместе с этим пищевые волокна обладают функционально-технологическими свойствами, влияющими на физико-химические свойства продуктов питания: водоудерживающей способностью (ВУС), вязкостью, криореистентностью, способностью к структурообразованию и так далее. Благодаря использованию ПВ развивается отдельное направление в технологии рыбопродуктов — реструктуризация рыбных продуктов, то есть использование измельченной мышечной ткани для изготовления новых видов продукции, отличающихся внешним видом и текстурой. К этой же категории можно отнести аналоговые продукты с высокой добавленной стоимостью, имитирующие морепродукты. Процесс реструктуризации заключается в удалении отдельных компонентов или добавлении других. При этом происходит не только изменение состава конечного продукта, но и перестроение структуры его исходных составляющих. Такие компоненты могут способствовать хранению, иметь функционально технологические и функционально физиологические свойства. Существуют ингредиенты, выполняющие более одной из этих функций, к ним относятся и ПВ [2,6,8].

Целью представленной работы явился анализ современных научных тенденций применения пищевых волокон различного состава для обеспечения развития технологии рыбной продукции с учетом принципов здорового питания.

2. Материалы и методы

В качестве объектов проведенного анализа были использованы опубликованные научные работы российских и зарубежных исследователей в таких областях исследования как нутрициология, и в частности, функционально биологические свойства ПВ; направленное воздействие ПВ

на физико-химические и органолептические свойства пищевых систем из рыбного сырья; обоснование общих принципов и создание частных технологий рыбной продукции; примеры использования отдельных видов ПВ. Поиск работ был проведен с использованием баз данных Google Scholar, PubMed, Scopus, Web of Science, Mendeley, eLibrary.ru, а также открытых интернет-источников. Были использованы статьи в полнотекстовых вариантах, на русском и английском языках. Справочные данные и официальные документы были взяты на сайтах Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека РФ, Европейского агентства по безопасности продуктов питания, Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США.

3 Функциональные свойства пищевых волокон

3.1. Классификация и основные свойства ПВ

В настоящее время рассматривается несколько вариантов классификации ПВ, включая их разделение по происхождению или молекулярной структуре (линейной и разветвленной). Чаще всего ПВ подразделяют на растворимые и нерастворимые. При этом учитывается их способность к преобразованию в низкомолекулярные производные путем ферментативного гидролиза [1–3,11–12]. Общая характеристика и свойства ПВ представлены в таблице 1.

3.2. Физиологическая функциональность ПВ

Доказана важная роль пищевых волокон в профилактике различных заболеваний и в поддержании здоровья. Эффективность и механизм действия этих компонентов зависят от типа и строения волокон.

3.2.1. Влияние на сердечнососудистую систему, гипохолестеринемическое действие

Механизмы, обеспечивающие наблюдаемые эффекты, заключаются не только в прямой абсорбции липидов в желудочно-кишечном тракте, но и во влиянии на метаболизм нейтральных стеролов и желчных кислот. ПВ, содержащие уруновые кислоты, глюкоманнаны и галактоманнаны, метаболизируются кишечной микрофлорой до короткоцепочечных жирных кислот, которые влияют на снижение уровня холестерина в крови. Еще один механизм — ингибирование синтеза липопротеинов и холестерина в печени. Этот процесс происходит благодаря образованию оболочек из ПВ на поверхности липидных частиц в ЖКТ, что предотвращает их переваривание липолитическими ферментами [1,20–22].

3.2.2. Снижение гликемического индекса

ПВ обладают способностью уменьшать концентрацию глюкозы в плазме крови, снижая выраженность гипогликемической реакции, вызывающей слабость, тошноту, учащенное сердцебиение, которые возникают после приема пищи. ПВ повышают вязкость пищевых гранул, препятствуя контакту веществ с пищеварительными ферментами и кишечным эпителием. Кроме того, ПВ могут изменять перистальтику ЖКТ и тем самым уменьшать транспорт глюкозы к абсорбирующей их поверхности [23,24].

3.2.3. Регуляция функций кишечника

ПВ способны связывать большое количество воды, увеличивая объем водной фазы пищевых гранул и замедляя всасывание питательных веществ [25]. Происхождение и количество ПВ по-разному влияют на функцию кишечника: устойчивые к ферментации пшеничные отруби больше все-

Таблица 1. Классификация и основные свойства ПВ
Table 1. Classification and main properties of the DF

Представители	Источники	Свойства	Ссылка
<i>Некрахмалистые поли- и олигосахариды</i>			
Целлюлоза	Различные части растений	Нерастворимые Неферментируемые Невязкие	[1,2,12,13–15]
Геми-целлюлоза	Арабиногалактаны, β-глюканы, арабиноксиланы, глюкуроноксиланы, ксилоглюканы, галактоманны, трагаканта), полисахариды водорослей (альгинаты, агар, каррагинан), псиллиум	Нерастворимые Неферментируемые Невязкие	[1,2,12,13–14]
Фруктозаны	Инулин, олигофруктаны	Растворимые или частично растворимые Ферментируемые Невязкие	[1,2,6,13,16]
Камеди и слизи	Экстракты семян (галактоманны — гуаровая камедь и камедь рожкового дерева), экссудаты деревьев (камеди акации, караи, трагаканта), полисахариды водорослей (альгинаты, агар, каррагинан), псиллиум	Растворимые или частично растворимые Ферментируемые Вязкие	[1,2,6,13,16]
<i>Другие полисахариды</i>			
Пектины	Фрукты, овощи, бобовые	Растворимые Ферментируемые Вязкие	[1,2,6,12–14]
Резистентные крахмалы и мальтодекстрины	Различные растения (кукуруза, картофель, бобовые)	Растворимые или частично растворимые Ферментируемые	[1,2,6,12–14]
<i>Производные химического синтеза</i>			
Поли- и олигосахариды	Полидекстроза, лактулоза, производные целлюлозы	Растворимые или частично растворимые Ферментируемые Невязкие	[1,2,13,14,16]
<i>Производные ферментного синтеза</i>			
Поли- и олигосахариды	Фруктоолигосахариды из гидролизата гуара, леван, ксантановая камедь, трансгалактоолигосахариды, олиго-фруктоза, ксилоолигосахариды	Растворимые или частично растворимые Ферментируемые Вязкие	[1,2,12,13,16]
<i>Сложные полимерные соединения</i>			
Воска и полиэферы	Лигнин, кутин, суберин	Нерастворимые Неферментируемые Невязкие	[1,2,12,13,14]
<i>Полимеры животного происхождения</i>			
Полиацетил-глюкозамин	Хитин	Нерастворимые Слабо ферментируемые Невязкие	[1,2,17,18]
	Хитозан	Растворимые в кислой среде Ферментируемые Вязкие	[1,2,17,18]
Белки	Коллаген	Нерастворимые в нативном состоянии Ферментируемые Вязкие	[17,19]

го увеличивают содержимое кишечника; ферментируемые ПВ повышают вязкость пищевых гранул и способствуют росту полезной микрофлоры в кишечнике. В целом ПВ влияют на время транзита содержимого кишечника, разбавляя его и поставляя субстраты брожения для микрофлоры желудочно-кишечного тракта [26]. ПВ важны для профилактики рака, они снижают выработку канцерогенных веществ в толстой кишке и минимизируют взаимодействие между слизистой оболочкой кишечника и канцерогенами [27].

3.2.3. Нарушения обмена веществ

Одна из ведущих проблем современного здравоохранения — ожирение населения, обусловленное чаще всего потреблением высококалорийной пищи и малоподвижным образом жизни [28]. Употребление ПВ снижает доступность питательных веществ и влияет на количество потребляемых калорий. Некоторые волокна могут ингибировать активность ферментов поджелудочной железы, переваривающих углеводы, липиды и белки [11]. Повышение вязкости содержимого кишечника замедляет процесс переваривания и всасывания и обеспечивает более длительное чувство сытости [26,27–29]. Надо учитывать, что ПВ при избыточном потреблении могут в определенной степени препятствовать

усвоению ряда витаминов и минералов, например, кальция, железа, цинка и меди [1]. Поэтому важно учитывать индивидуальные особенности организма и соблюдать нормы потребления.

Таким образом, многочисленные клинические исследования доказывают высокую степень корреляции между диетой с высоким содержанием ПВ и снижением риска ряда хронических заболеваний, что делает ПВ важными функциональными ингредиентами питания.

3.3. Технологическая функциональность ПВ

Использование ПВ в пищевых производствах получает все большее распространение. Преимущества включения ПВ в состав продуктов связаны с их влиянием на удержание воды, повышение вязкости, предотвращение потерь в процессе приготовления, а также на изменение текстуры с незначительным изменением вкуса и запаха. В последние годы значительно расширился ассортимент коммерческих препаратов ПВ из различного сырья, особенно, различных видов клетчатки (из пшеницы, моркови, свеклы, овса, цитрусовых, яблок, сои, водорослей) [2,5,7,13,30]. Также в настоящее время в технологии используют ПВ животного происхождения — хитозан и коллаген [13,15,17, 31].

3.3.1. Вододерживающая способность (ВУС)

Для рыбных продуктов наиболее важным технологическим свойством является способность связывать и удерживать воду. Растворимые волокна, например, пектин и камеди, обладают более высокой ВУС, чем клетчатка. В измельченном виде такие компоненты, как отруби, связывают воду в количестве в несколько раз превосходящую их собственную массу, что определяется размером частиц. Компоненты водорослей в зависимости от типа, могут связывать по сухому веществу количество воды в 20 и более раз по отношению к собственному объему. Гели на основе гидроколлоидов, относящихся к ПВ, обеспечивают создание аналоговых продуктов с хорошей ВУС, что особенно важно в тех случаях, когда используемое сырье имеет исходно низкие функционально-технологические показатели качества [2,7,30].

3.3.2. Жиродерживающая способность (ЖУС)

Способность ПВ связывать жир может зависеть как от пористости волокна (клетчатка и ее производные), так и от молекулярного сродства (хитозан) [10,14,32–34]. По этой причине, если поглощение жира нежелательно, то сначала требуется поместить препараты клетчатки в воду, чтобы она заполнила поры и препятствовала сорбции жира. Это полезно для того, чтобы избежать чрезмерного поглощения жира при жарке, когда волокна используются в тесте или в фарше. ВУС и ЖУС рассматриваемых компонентов зависят от их химической структуры, pH, ионной силы и размера частиц [14,15,32]. В частности, ПВ имеющие высокое сродство к жирам, обеспечивают стабилизацию жировых эмульсий, тогда как ПВ, удерживающие воду, способны регулировать вязкость и снижать возможность синерезиса. Так, например, каппа-каррагинан предотвращает синерезис в рыбных гелях в процессе замораживания/оттаивания [33]. ЖУС клетчатки различного происхождения может быть связана со степенью измельчения и ячеистой структурой, что обеспечивает сорбцию и удержание жира благодаря хорошей доступности гидрофобных частей [15]. В табл. 2 приведены величины ВУС и ЖУС для различных ПВ.

Таблица 2. Водно- и жиродерживающие способности ПВ различного происхождения

Table 2. Water holding and fat holding capacities of the DF of various origin

Наименование ПВ	ВУС, г воды/г массы	ЖУС, г жира/г массы	Ссылка
Пшеничные отруби	2–3	1–5	[2]
Рисовые отруби	4–5	4	[2]
Жмых моркови	18	5	[2]
Цитрусовая клетчатка	2–10	1–2	[2,32]
Яблочная клетчатка	4	—	[2]
Свекольная клетчатка	4–6	1–4	[2]
Пшеничная клетчатка	5–8	5–7	[2,15]
Овсяная клетчатка	1–6	—	[2]
Тростниковая клетчатка	1–10	—	[2]
Гороховая клетчатка	5	—	[2]
Соевая клетчатка	5–10	1	[2]
Клетчатка водорослей	0,5–4	2–3	[8,30]
Каррагинаны	20–100	2	[32]
Гуаровая камедь	55	1	[32]
Ксантановая камедь	100	1	[32]
Хитозан	2–5	5–20	[17,31,32]
Коллаген	10–20	2–12	[17,18]

3.3.3. Вязкость

Способность волокон загущать пищевые системы на водной основе широко используется при производстве продуктов питания. Их применение эффективно при необходимости замены жира водой. Повышение вязкости обеспечивает возможность регулирования текстуры и органолептических свойств продуктов. Например, пектин, камеди, b-глюканы и полисахариды водорослей, образуют высоковязкие растворы. Камеди, наиболее часто используются в качестве загустителей. Вязкость нерастворимых волокон минимальна [1,2, 35–36].

3.3.4. Эмульгирующая способность

ПВ способствуют образованию эмульсий типа жир в воде и стабилизируют их. Стабилизация эмульсий позволяет снизить потери при приготовлении или изменении кислотности среды. Стабильность эмульсий на основе фаршей мышечных тканей поддерживается при наличии высокой ЖУС у добавленных волокон. При этом усиливается адгезивность фаршей [2].

3.3.5. Гелеобразующая способность

Ряд растворимых ПВ — например, каррагинаны, пектины, конжаковая камедь — образуют гели. Способность формировать гель и его характеристики зависят от концентрации компонентов, температуры, наличия определенных ионов и от значения pH. Отдельные ПВ обладают синергической гелеобразующей способностью в сочетании с крахмалом, ксантановой камедью или каррагинанами [8]. При добавлении в фарш альгината натрия с образованием смешанного геля наблюдается снижение прочности и образуется коллоидная система, сформированная за счет взаимосвязи набухших мицелл альгината и гидрофильной оболочки микрочастиц фарша. Полученная пространственная структурная сетка обладает эластичностью, способностью изгибаться и сворачиваться, оказывая меньшее сопротивление внешнему воздействию [37,38]. Исследованы механизмы ассоциации гидроколлоидов с мышечными белками рыб и моллюсков. Так, с помощью электронной микроскопии наблюдали образование сети ПВ, которая располагалась параллельно белковой сети миофибриллярных белков, повышая, таким образом, общую прочность геля [7,39]. Механизм действия ПВ различен. Загустители — гаррофин, гуаровая и ксантановая камеди, КМЦ — образуют нитчатую структуру, гелеобразующие агенты — каррагенаны, альгинаты — покрывают или выстилают полости сплошной сетью. Другая возможность действия ПВ — связывание с водорастворимыми белками — приводит к усилению желирования. Совместное добавление йота-каррагинана и казеина в фарш кальмара обеспечило повышению прочности геля за счет синергического эффекта при ассоциации белков с гидроколлоидами [7].

3.3.6. Хелатирующая способность

У многих типов пищевых волокон есть способность к катионному обмену, они связывают ионы металлов и таким образом предотвращают их участие в активации реакций окисления липидов. Наиболее высокая способность к сорбции ионов металлов установлена для хитозана [1,40].

3.3.7. Текстурирование

Применение ПВ в рыбных продуктах способно обеспечить желательную текстуру измельченной мышечной ткани [7,8,37]. Примером такого использования является концентрат соевого белка, содержащий около 25% клетчатки, способной имитировать мышечные миотомы [41]. Свойства ПВ изменять текстуру пищевых сред находят применение

в производстве продуктов питания с получением волокнистой, слоистой, однородной, твердой, мягкой, пластичной, хрупкой структур [42].

ПВ также обладают рядом других способностей: контроль кристаллизации сахаров, стабилизация замороженных продуктов, предотвращение деформации и усадки реструктурированных продуктов, повышение сроков хранения, увеличение выхода готовой продукции, предотвращение прогорания. Благодаря такому широкому спектру возможностей рыбные продукты, обогащенные ПВ, могут быть представлены на рынке разнообразным ассортиментом изделий, подходящих для всех категорий потребителей, в соответствии с их вкусовыми предпочтениями и представлениями о правильном питании [16].

3.4. Свойства отдельных ПВ

3.4.1. Хитозан

Хитозан — представитель ПВ животного происхождения. Его предшественником является хитин, встречающийся в природе в экзоскелетах ракообразных, моллюсков, насекомых, а также в некоторых грибах в качестве основного фибриллярного полимера клеточной стенки. Хитин — катионный полисахарид, образованный мономерами N-ацетилглюкозамина и глюкозамина. При деацетилировании хитина получают хитозан в виде ряда производных, отличающихся степенью деацетилирования (СД), молекулярной массой (Мм) и вязкостью. Они используются в широком спектре пищевых продуктов [16,18,31,32]. Хитозан не гидролизруется пищеварительными ферментами, частичное его переваривание может осуществляться бактериальной микрофлорой и некоторыми пищеварительными ферментами с неспецифической активностью, такими как амилазы и липазы. Основным ограничением в использовании хитозана в пищевых производствах является чрезвычайно слабая растворимость при pH 5,5–7,5. Варьируя такую характеристику как СД можно влиять на это свойство [43]. Производные хитозана в виде ацетата, аскорбата, лактата, малата растворимы в воде. Растворимый хитозан также может быть получен в форме олигосахаридов путем ферментативного гидролиза [44].

Хитозан обладает многочисленными биологически активными свойствами [18,43,44]. С физиологической точки зрения основное действие хитозана — снижение всасывания в кишечнике липидов, поэтому он признан эффективным абсорбентом холестерина и агентом, способствующим потере массы тела [17,29,42]. Обычно хитозан хорошо переносится клинически, но при длительном потреблении необходимо контролировать отсутствие нарушения кишечной флоры, выявлять препятствия всасыванию микроэлементов и витаминов [32,40].

Одной из тенденций при создании продуктов здорового питания является отказ от химических консервантов. С этой точки зрения хитозан и его производные могут рассматриваться как наиболее перспективные ингредиенты [18,44]. Они предотвращают жизнедеятельность различных групп микроорганизмов: бактерий, грибов и дрожжей [18,46–47]. Предложены два основных механизма ингибирования микробных клеток. Взаимодействие хитозана с отрицательно заряженными карбоксильными группами липополисахаридов и пептидогликанов на поверхности бактериальной клеточной стенки вызывает образование непроницаемого слоя вокруг клетки и блокирует транспорт необходимых веществ. Также отмечено ингибирование синтеза РНК и белка путем проникновения в ядро клетки [45,46]. В этом случае величина Мм является решающим параметром. Механизм проти-

вогрибкового действия хитозана аналогичен и проявляется по отношению к грибкам, содержащим большое количество ПНЖК. Наноматериалы на основе хитозана проявляют повышенную бактерицидную способность. На видовую восприимчивость и эффективность антимикробного действия влияют Мм и СД молекул хитозана [48].

Хитозан обладает способностью образовывать полупроницаемые покрытия, которые при нанесении на пищевые продукты продлевают срок хранения, действуя как барьер для кислорода и воды [42–44]. Покрытия из хитозана могут содержать дополнительные компоненты (антиоксиданты, антимикробные препараты, ароматизаторы), обладающие способностью постепенного высвобождения при хранении продукта. Исследовано влияние покрытий из хитозана разного состава, включая наночастицы, на сохранение качества рыбных продуктов, а также на замедление проявления меланоза у ракообразных [7,49].

Антиоксидантная активность хитозана, добавленного в растительные и животные жиры, хорошо сравнима с действием аскорбиновой кислоты [50]. Показано, что хитозан с высокой Мм проявляет менее выраженный антиоксидантный эффект за счет образования более компактной структуры, стабилизированной прочными внутримолекулярными водородными связями [47–49]. Антиоксидантное действие хитозана в полуфабрикатах из рыбы и морепродуктов и зависит от концентрации и типа хитозана [2,7]. При добавлении его в фарши сельди и трески наблюдали снижение степени окисления жиров почти на 50%. Механизм такого действия может быть обусловлен связыванием ионов металлов и липидов [7,50].

Применение хитозана позволяет получать стабильные эмульсии [51]. Для проявления эмульгирующей способности хитозана требуется соблюдение определенных условий (концентрации, температуры, pH среды). Сочетание с другими полимерами, например, агаром или белками приводит к усилению этой способности. Хитозан может образовывать эмульсии без добавления поверхностно-активных веществ (ПАВ), благодаря наличию молекул с различной СД. Молекулы с низкой СД стабилизируют капли воды внутри масляных капель, в то время как гидрофильные молекулы стабилизируют масляные капли в образующейся множественной эмульсии. Обнаружена положительная корреляция между повышением устойчивости к синерезису и увеличением вязкости хитозана. Наименее благоприятное влияние препарата с низкой Мм на стабильность эмульсий объясняется утратой эффективности совместной адсорбции на границе раздела фаз. Показано преобладание электростатических взаимодействий при межфазной стабилизации, что более характерно для хитозана с низкой СД [52]. Эмульсии, стабилизированные комплексами ПАВ-хитозан, обладали лучшей устойчивостью при термообработке и замораживании чем эмульсии, на основе ПАВ, что объясняется увеличением электростатического и стерического отталкивания между каплями. Мм хитозана не оказывала сильного влияния на свойства эмульсий «масло в воде», на ζ -потенциал и средний диаметр частиц во вторичных эмульсиях, но при очень низкой СД (40%) доля агрегированных капель была значительно ниже [53].

При применении хитозана для получения формованных рыбных продуктов используется его способность изменять реологические характеристики пищевых масс и формировать стабильные структуры. Растворенный хитозан после внесения его в пищевую систему образует в пространстве между частицами фарша сплошной слой. С течением времени уплотнение геля и уменьшение его объема между частицами фарша приводит к образованию пустот. Окончатель-

ная структура представляет собой прочный каркас из тонких волокон хитозана [7,8,31,38]. В рыбных продуктах, полученных путем низкотемпературной осадки, взаимодействие структурообразователей и соластворимых белков играет основную роль для получения продуктов с желаемой текстурой. При pH системы, превышающей pI, суммарный заряд мышечных белков становится отрицательным. Поэтому для образования электростатических взаимодействий необходимо добавление катионных биополимеров, таких как хитозан. Внесение хитозана позволяет улучшить реологические свойства реструктурированных рыбных изделий, например, сурими из сырья со слабой гелеобразующей способностью мышечной ткани. Выраженность такого действия зависит от типа и концентрации хитозана [54]. Наиболее однородная структура образуется при использовании хитозанов со средними и низкими значениями Мм. Оптимальная прочность сурими из канального сома с добавлением хитозана была достигнута при концентрации 1,5% по отношению к массе сырья. Увеличение концентрации привело к образованию менее упорядоченной структуры и снижению прочности геля. Однако в ряде работ сообщается, что для достижения подобного эффекта достаточно 0,3–0,5% хитозана, и при этом наименее выражены нежелательные сенсорные изменения — появление вязкого привкуса [32].

Показано влияние pH, соотношения белок/полисахарид, ионной силы и СД на микроструктуру при взаимодействии между миофибриллярными белками и хитозаном. Относительно низкие соотношения белок/полисахарид (5:1) улучшали коллоидную стабильность продуктов в слабокислых средах (pH < 6,5). Добавление KCl (0,05–0,6 М) разрушало коллоидную стабильность и способствовало разделению фаз. Максимальную вязкоупругость наблюдали при соотношении белок/полисахарид 1:1, pH 6,5 и 95% СД. Подтверждено, что в образовании комплексов главную роль играют электростатические взаимодействия [52].

Полагают, что воздействие хитозана на гелеобразование в мышечной ткани рыб может быть обусловлено его влиянием на активность эндогенной тканевой транскламиназы (ТГ). Относительно способности хитозана быть субстратом для ТГ существуют противоречивые данные. Есть большая вероятность того, что аминокислоты хитозана могут служить акцепторами ацильных групп в реакции переноса ацила от γ -карбоксиамидных групп к глутаминовым остаткам белка. Однако также показано отсутствие изменений в молекулярно-массовом распределении белковых фракций в фарше рыб с добавлением хитозана после воздействия ТГ, а его присутствие рассматривается как стерическое препятствие для образования межбелковых сшивок. Но во всех случаях отмечено стабилизирующее влияние на текстуру продукта [55–56].

3.4.2. Коллаген

Исследования последних лет позволяют рассматривать коллаген в качестве ПВ. Это связано с низкой степенью переваривания его в ЖКТ и наличием функциональных технологических и физиологических качеств, свойственных ПВ [17–19]. Коллаген является основным компонентом соединительных тканей животных и составляет около 70% сухой массы кожи [57]. Видовая и тканевая специфичность коллагена обусловлена его Мм, количеством и распределением активных полярных групп, вариативностью термостабильности. Коллаген различных типов, полученный из морских и наземных животных, используется в производстве ряда пищевых продуктов, косметики и медицинских материалов [58]. В последнее время его широко применяют в составе ФПП [59–60].

Физиологические эффекты коллагена связаны с его влиянием на нарушения обмена веществ, таких как ожирение, сахарный диабет 2 типа, гипертония, некоторые виды рака, а также различные психологические проблемы и физические нарушения [28,61].

Для выделения коллагена из соединительной ткани и перевода его в растворимое состояние разработаны различные методы, определяющие характеристики и свойства полученных субстанций. Разрушение внутри- и межмолекулярных поперечных связей макромолекул коллагена под действием химических, физических и механических факторов приводит к изменению пространственной структуры. Чаще всего для изменения микроструктуры коллагена используют термообработку, после чего он превращается в желатин, обладающий гелеобразующими свойствами. Изменения, происходящие в молекулах коллагена, в первую очередь выражаются в показателях степени полимерности и выплавляемости [62–64].

Выплавляемость — образование при температуре денатурации из нерастворимого коллагена растворимых продуктов, которые после охлаждения образуют гель. При этом часть водородных связей, удерживающих полипептидные цепочки в третичной структуре, ослабевает и разрывается. Происходит продольное расщепление фибрилл и разрыхление соединительной ткани. Рассматривают две стадии распада коллагена: расщепление на субфибриллы, филаменты, макромолекулярные тяжи, и далее деполимеризацию самих макромолекул. При термообработке накапливаются соединения с меньшей Мм — желатин, желатоза, глютин — образующие после охлаждения прочные гели. При распаде (полной деполимеризации) коллагена появляются полипептиды различной длины и отдельные аминокислоты [60].

Отличительной особенностью молекул коллагена является их способность к агрегации. Процесс деструкции коллагена является необратимым. Поэтому ренатурация не приводит к восстановлению исходной структуры, возможно лишь образование агрегатов с высокой Мм. Частичное восстановление молекул коллагена возможно, если при денатурации разрушается только третичная структура. Ренатурованный продукт соответствует исходному по величине вязкости, температуре денатурации, гидродинамическим свойствам [60].

ВУС коллагена варьируется в зависимости от состава окружающей среды, присутствия и типа кислот, щелочей и солей. Выделяют набухание и разбухание коллагена. Набухание минимально при pH 6,5–8,5, что соответствует pI коллагена. При этом происходит утолщение коллагеновых волокон, уменьшение их длины [60,63]. Разбухание под действием кислот и щелочей, является неспецифическим и подавляется добавлением солей. Это связано с эффектом Доннана или осмотической способностью заряженных групп аминокислот притягивать и удерживать молекулы воды. В растворах нейтральных солей волокна коллагена утолщаются без укорачивания и расщепляются на тонкие нити. Этот эффект зависит от природы солей и обусловлен специфическим разрушением солевых мостиков между цепями коллагена [65].

На технологические свойства мышечных систем с добавлением коллагена существенно влияет pH среды. Сдвиг pH в щелочную или кислую сторону приводит к изменению распределения положительных и отрицательных зарядов на поверхности молекулы и изменению ее свойств. Показатель pI миофибриллярных белков менее 5, а pI коллагенов около 6,0–6,75. В кислой среде снижается изометрическое напряжение волокон коллагена. При этом также меняется температура денатурации: при pH 3 она составляет 35–40 °C, а при

pH 1 она снижается до 30 °С. В кислой среде увеличивается растворимость коллагена, ускоряется процесс его разваривания и образования желатина, тем самым повышается прочность гелей. Воздействие реагентов на функциональные свойства коллагена, зависит от их сродства к белкам и носит индивидуальный характер. Хлораты, йодиды, соли кальция и магния вызывают сильное набухание, а хлорид натрия почти не влияет на пространственную структуру коллагена [63–64].

Применение коллагена в производстве продуктов на основе мышечных белков обеспечивает возможности улучшения консистенции и структурно-механических свойств, образование требуемой монолитности, нарезаемости и «жевательности». С помощью коллагена можно получать эмульгированные и реструктурированные целномышечные изделия и полуфабрикаты. К преимуществам использования коллагена в мышечных пищевых системах относится снижение потерь при термообработке и хранении, высокий выход готовых изделий, улучшение экономических показателей производства [2,66,67].

Коллагеновые белки способны к синергетическому взаимодействию с различными гидроколлоидами [62–63]. Увеличение прочности и термостабильности гелей наблюдается при совместном использовании коллагена с каррагинанами, желатиной, камедью, гидроксипропилметилцеллюлозой, крахмалами. При сочетании коллагена с альгинатами в мышечных белковых системах образуются гели и эмульсии с повышенной термостабильностью [2,17]. Описано получение термостабильных гидрогелей из коллагена и производных крахмала и КМЦ за счет реакции взаимодействия альдегидных групп со свободными аминогруппами коллагена. При этом третичная структура коллагена не меняется [62,63,68].

Для получения заданных структурно-механических свойств пищевых продуктов совместно с коллагеном используют хитозан. При взаимодействии аминогрупп хитозана с противоионами в молекулах коллагена или желатина происходит образование полиэлектролитных комплексов. Использование бинарного структурообразователя на основе желатина и хитозана в рыбных фаршах обеспечило формирование плотной упругой структуры белковых гелей и было более эффективным, чем применение отдельно взятого желатина. При этом значительно увеличилась температура плавления гелей, вязкость, упругость [32,69].

Возможность усовершенствования физико-химических свойств коллагена и желатина может быть реализована при комбинации с другими белками или путем ферментативной модификации [70,71]. Коллаген считается хорошим субстратом для фермента ТГ. Поперечные межмолекулярные связи, образуемые ТГ в белках, являются важными факторами в процессе гелеобразования [55]. Перекрестные связи между отдельными нитями коллагена приводят к формированию новой структуры и образованию биополимера с иными свойствами [71]. Изменение функциональных свойств коллагена может повлиять на качество многих видов продукции. Особенно важным является использование ТГ для переработки нестандартного в технологическом плане сырья, каковым, например, являются глубоководные рыбы рода макруросов, мышечная ткань которых содержит более 90% воды, а ВУС миофибриллярных белков очень низка. Поэтому при различных видах переработки наблюдаются очень высокие технологические потери. Образование термостабильной гелеобразной структуры в мышечной системе макруросов возможно при сочетании ТГ и структурообразователей белковой и полисахаридной природы. При исследовании влияния системы коллаген + лактат хитозана в присутствии

ТГ на формирование текстуры мышечной ткани макруруса *Albatrossia pectoralis* показано увеличение прочности мышечной системы на 90% по сравнению с исходным сырьем. Исследование фракционного состава белков показало, что внесение коллагена и лактата хитозана не меняло направленность действия фермента, но обеспечило уменьшение фракции миогенов и повышение количества высокомолекулярных белковых агрегатов [55].

3.4.3. Клетчатка

В настоящее время имеется большое количество коммерческих препаратов клетчатки из разных растительных источников (табл. 3). Кроме препаратов из пшеницы, в качестве источников используют овес, рис, сахарную свеклу, сою, горох, подорожник и другие [1,2,13,15,72]. Большинство препаратов клетчатки не являются пищевыми добавками и не входят в перечень ингредиентов, подлежащих обязательному декларированию с индексом «Е». ПВ этого типа в продуктах из мышечных тканей обеспечивают повышение выхода при приготовлении, улучшение реологических свойств, вкусовых качеств и текстуры, снижение производственных затрат. В зависимости от происхождения варьируется состав препаратов: получаемые из овощей и фруктов содержат больше пектина, а в выделенных из злаков преобладают нерастворимая целлюлоза и гемицеллюлоза [2].

Таблица 3. Свойства препаратов клетчатки, используемых в пищевой промышленности по данным российских научно-производственных компаний

Table 3. Properties of fiber preparations used in the food production industry according to the Russian research and production companies

Наименование	Состав, %	Размер частиц, мкм	Цвет/Вкус
Пшеничная клетчатка (Витацель) ¹	Целлюлоза и гемицеллюлоза — 98 Белок < 1	70–300	Белый / нейтральный
Цитрусовая клетчатка (Семфайбер) ¹	ПВ — 36, в том числе растворимые — 40 Белок — 4.	70–350	Желтый/с горечью
Свекловичная клетчатка (ECOLIGHT native) ²	ПВ — 45 Пектины — 15 Белок — 8	200; 400	Желтоватый / нейтральный
Соевая клетчатка ¹	ПВ — 80, в том числе растворимые — 12 Белок — 20	150	Белый/нейтральный
Овсяная клетчатка ¹	ПВ — 96, в том числе растворимые — 3 Белок — 3,	350	Белый (желтый)/нейтральный
Яблочная клетчатка ¹	ПВ — 60, в том числе растворимые — 11 Белок — 5	< 500	Светло коричневый/яблочный
Гороховая клетчатка (Swelite) ³	ПВ — 50; крахмал — 35; Белок — 10	350	Желтоватый / нейтральный
Картофельная клетчатка ⁴	ПВ — 25; крахмал — 45 Белок — 3	<500	Кремный / нейтральный
Виноградная клетчатка ⁵	ПВ — 50–70 Белок — 8–10 Полифенолы >5	<400	Коричневый/какао
Клетчатка из бурых водорослей ⁶	Нерастворимые ПВ >60 Растворимые ПВ — 16 Полифенолы >5 Альгиновая кислота — 4	<400	Зеленоватая/специфический

¹ http://www.ingredico.ru/katalog/syrie/piwevye_volokna_seamfajbr_reamfibre/

² <http://www.пищевые-волокна.рф>

³ <http://www.100ing.ru/product/gorokhovye-volokna-frantsiia/>

⁴ <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0077/3888.pdf>

⁵ kubansad.ru/media/uploads/files/dissoviet/predv_rassmotr/dis_tichonova.compressed.pdf

⁶ научная статья [73]

Клетчатка не относится к гелеобразующим ПВ. Однако пищевые мышечные системы с ее добавлением обладают удовлетворительными свойствами, несмотря на изменение механических показателей и текстуры. Эти изменения являются следствием пропорционального снижения содержания в геле белка, образующего в итоге нерегулярную сеть. Высокая ВУС клетчатки не всегда благоприятно влияет на структуру геля, т. к. может приводить к обезвоживанию самого белка [10]. Такое явление имело место при использовании пшеничной клетчатки в рыбных фаршах, где в общей матрице образовывались два отдельных типа водных полостей, что косвенно ухудшило гелеобразующую способность мышечного белка [74,75].

Описаны криопротекторные свойства клетчатки, обеспечивающие стабильность аналоговых продуктов из моллюсков при замораживании-оттаивании. При добавлении препаратов пшеничной клетчатки разной степени измельчения (250 и 80 мкм) в фарши из мышечной ткани хека и ставриды лучшие результаты в отношении ВУС были показаны при использовании гранул размером 250 мкм. Также добавление этого препарата позволило осветлить образцы, что особенно важно для продуктов из ставриды, имеющей темную мышечную ткань. Отмечена коммерческая привлекательность такого явления. Реструктурированный продукт был менее жестким и липким. Повышение содержания клетчатки более чем на 3% привело к сенсорному ощущению сухости изделия [7,8].

Использование препарата МКЦ в реструктурированных рыбных изделиях позволило снизить количество добавляемых для приготовления сурими криопротекторов и модифицированного крахмала, и достичь образования не крахмалистой текстуры. Этот вид ПВ также предотвращал преобразование гелеобразных продуктов в эластичные и сухие при морозильном хранении, а также обеспечил увеличение ВУС и уменьшение синерезиса при размораживании. Клетчатка из гороха позволила улучшить текстурные свойства термоиндуцированных гелеобразных продуктов из хека и морского окуня. Однако этот же препарат не повлиял на прочность сурими из скумбрии, но увеличил твердость и сухость продукта [75]. Введение до 6% пшеничной и виноградной клетчатки в сурими и рубленое филе из минтая и фарш из хека из практически не изменило их внешний вид, но уменьшилось ощущение излишней эластичности. Одновременно возросла способность удерживать воду даже после термообработки. Добавление 1–3% клетчатки в продукты, предназначенные для жарки, позволило снизить поглощение жиров из фритюра [76]. Использование эмульгаторов на основе пшеничной клетчатки, гидратированной рыбными бульонами из вторичного рыбного сырья привело к увеличению ВУС, агрегативной устойчивости и термостабильности эмульсий [72].

Среди большого количества типов клетчатки выделяют антиоксидантные, получаемые из яблок, винограда, цитрусовых и водорослей [30]. Эти препараты имеют высокое содержание растворимых волокон, а наличие ассоциированных полифенольных соединений (>5%) наделяет их антиоксидантными свойствами. Такие ПВ были добавлены в реструктурированные продукты, приготовленные из ставриды — рыбы, склонной к быстрому окислению. В итоге значительно повысилась ВУС, снизилось количество жидкости, образующейся при размораживании, повысился выход готового продукта и уменьшились потери при нагревании. При этом когезионная способность и твердость продукта снизились. Добавление 2% виноградных ПВ обеспечило хорошие сенсорные характеристики и замедлило окисление липидов в мышечном фарше, хранившемся при минус 20° С до 180 дней [8,77,78].

Благодаря замедлению уровня окисления ПНЖК антиоксидантные ПВ обеспечивают создание пищевых продуктов, имеющих повышенные органолептические и питательные свойства. Исследования интересов потребителей показало предпочтение к использованию альтернативных источников ПВ, таких как, например, морские водоросли [78].

Применение клетчатки позволяет производить привлекательные по вкусу и внешнему виду реструктурированные продукты. Исследовано влияние концентрата из бурой водоросли *Fucus spp.* на фарш ставриды при морозильном хранении. Концентрат состоял в основном из нерастворимых ПВ (>60%) при достаточно высоком содержании растворимых веществ (16%) и фенольных соединений (>5%). В образцах рыбного фарша с добавлением 1 и 2% ПВ фукуса отмечено снижение степени окисления липидов и общего количества потерь после размораживания и варки образцов. Сенсорные характеристики продуктов не отличались от контрольных. Измельченные морские водоросли были использованы в качестве источника ПВ в рыбных продуктах с восстановленной структурой [9]. Предложены изделия по типу «швейцарского ролла» из морепродуктов, содержащие натуральные цветные ПВ из морских водорослей и винограда. Одно из них в качестве покрытия содержало гель сурими, обогащенный пшеничной клетчаткой, а внутри находился рыбный фарш, смешанный с сублимированными морскими водорослями *Ulva rigida* [8]. Содержание в таком продукте ПВ было достаточным, чтобы считать его источником функциональных ингредиентов.

Водорослевую клетчатку рассматривают как набухающий полимер. В ее надмолекулярной структуре выделяют области с различной степенью упорядоченности молекул, влияющих на протекание сорбционных процессов, которые осуществляемых гидроксильными группами целлюлозы и карбоксильными группами примесных составляющих. Для сульфатированных полисахаридов (СП) важно наличие полярных групп: гидроксильных, карбоксильных и сульфатных, способных удерживать воду [79–80]. Изучена эффективность добавления порошка зеленой водоросли *Ulva intestinalis* и выделенного из нее СП на окисление липидов, pH, цвет, текстуру, выход и вкус реструктурированных рыбных продуктов типа сурими из серебристого карпа [8,77]. В обоих случаях показано снижение накопления продуктов окисления липидов при хранении в течение 6 мес. Наименьшие потери влаги были показаны для образцов с добавленным СП. Текстурные характеристики обоих продуктов в этот период оставались стабильными, в то же время контрольные образцы затвердевали. Сенсорные показатели, и наиболее всего сочность, были признаны лучшими для образцов с добавлением СП, благодаря меньшим потерям при приготовлении. Следовательно, гидратационные свойства препаратов в большей степени зависели от содержания растворимых ПВ, а наиболее высокие значения ВУС отмечены для СП в очищенной форме.

4. Выводы

Таким образом, проведенный анализ возможностей и преимуществ использования ПВ при производстве рыбной продукции позволяет говорить об их огромном технологическом потенциале, обеспечивающим использование различных видов исходного рыбного сырья для создания продуктов с добавленной стоимостью. Целесообразность включения ПВ в рыбные продукты базируется на их способности влиять на такие процессы как удержание воды и жиров, стабилизация эмульсий, гелеобразование, изменение текстуры и сенсорных характеристик, увеличение выхода готовой продукции, увеличение сроков хранения

и так далее. На основе анализа современных научных исследований обосновано использование различных видов ПВ в технологии рыбных продуктов. К последним следует отнести реструктурированные продукты, включая гели сурими, студни, желе, пищевые покрытия и панировки, а также

разнообразный ассортимент формованных рыбных изделий, включая колбасы, сосиски, котлеты, медальоны, палочки, боллы, паштеты. Одновременно с совершенствованием технологий использование функциональных ингредиентов обеспечивает развитие индустрии здорового питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Li, Y.-O., Komarek, A.R. (2017). Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis and applications. *Food Quality and Safety*, 1(1), 47–59. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx007>
- Mehta, N., Ahlawat, S.S., Sharma, D.P., Dabur, R.S. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products — a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 633–647. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2>
- EFSA (2017). Dietary reference values for nutrients summary report. *EFSA Supporting Publication*, 14(12), Article e15121. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
- Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» Утверждены Руководителем Роспотребнадзора, Главным санитарным врачом Российской Федерации А. Ю. Поповой 22 июля 2021 г. Электронный ресурс https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/789/1-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf Дата доступа 12.03.2023.
- Gibson, R., Eriksen, R., Chambers, E., Gao, H., Aresu, M., Heard, A. et al. (2019). Intakes and food sources of dietary fibre and their associations with measures of body composition and inflammation in UK adults: cross-sectional analysis of the airwave health monitoring study. *Nutrients*, 11(8), Article 1839. <https://doi.org/10.3390/nu11081839>
- Пырьева, Е.А., Сафронова, А.И. (2019). Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения. *Вопросы питания*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
- Borderias, A., Sanchez-Alonso, I., Perez-Mateos, M. (2005). New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. *Trends in Food Science Technology*, 16(10), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.011>
- Moreno, H.M., Herranz, B., Pérez-Mateos, M., Sánchez-Alonso, I., Borderias, J.A. (2014). New alternatives in seafood restructured products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(2), 237–248. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.719942>
- Jannat-Alipour, H., Rezaei, M., Shabanpour, B., Tabarsa, M., Rafipour, F. (2019). Addition of seaweed powder and sulphated polysaccharide on shelf-life extension of functional fish surimi restructured product. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3777–3789. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03846-y>
- Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Partington S., Jaczynski, J. (2013). Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute. *Food Chemistry*, 141(1), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.111>
- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Dai, F.-J., Chau, C.-F. (2016). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 37–42. <http://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>
- Zinina, O., Merenkova, S., Tazeddinova, D., Rebezov, M., Stuart, M., Okuskhanova, E. et al. (2019). Enrichment of meat products with dietary fibers: a review. *Agronomy Research*, 17(4), 1808–1822. <https://doi.org/10.15159/AR.19.163>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., Patil, R.T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Игорянова, Н.А., Мелешкина, Е.П. (2016). Перспективы использования ингредиентов, содержащих пищевые волокна вторичных продуктов переработки зерна, для стабилизации структуры пищевых систем. Международная конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. Москва: ВНИИМП им. В. М. Горбатова, 2016.
- Zhang, B., Wang, S., Wichienchot, S., Huang, Q., Dhital, S. (2021). Dietary fibers: structural aspects and nutritional implications. Chapter in a book: *Food Hydrocolloids*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0320-4_15
- Irastorza, A., Zarandona, I., Andonegi, M., Guerrero, P., de la Caba, K. (2021). The versatility of collagen and chitosan: from food to biomedical applications. *Food Hydrocolloids*, 116, Article 106633. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106633>
- Philibert, T., Lee, B.H., Fabien, N. (2017). Current status and new perspectives on chitin and chitosan as functional biopolymers. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181(4), 1314–1337. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2286-2>
- Неклюдов, А.Д., Иванкин, А.Н. (2007). Коллаген: Получение, свойства и применение. Москва: Московский государственный университет леса, 2007.
- Zhang, S., Tian, J., Lei, M., Zhang, J. (2022). Association between dietary fiber intake and atherosclerotic cardiovascular disease risk in adults: a cross-sectional study of 14,947 population based on the National Health and Nutrition Examination Surveys. *BMC Public Health*, 22(1), Article 1076. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13419-y>
- Barber, T.M., Kabisch, S., Pfeiffer, A.F.H., Weickert, M.O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), Article 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Weickert, M.O., Pfeiffer, A.F.H. (2018). Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. *The Journal of Nutrition*, 148(1), 7–12. <https://doi.org/10.1093/jn/nxx008>
- Weickert, M.O. (2018). High fiber intake, dietary protein, and prevention of type 2 diabetes. *Expert Review of Endocrinology & Metabolism*, 13(5), 223–224. <https://doi.org/10.1080/17446651.2018.1513320>
- Honsek, C., Kabisch, S., Kemper, M., Gerbracht, C., Ararat, A.M., Birkenfeld, A.L. et al. (2018). Fibre supplementation for the prevention of type 2 diabetes and improvement of glucose metabolism: The randomised controlled Optimal Fibre Trial (OptiFiT). *Diabetologia*, 61(6), 1295–1305. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4582-6>
- Eswaran, S., Muir, M., Chey, W. (2013). Fiber and functional gastrointestinal disorders. *American Journal of Gastroenterology*, 108(5), 718–727. <https://doi.org/10.1038/ajg.2013.63>
- Ардатская, М.Д. (2010). Клиническое применение пищевых волокон. Москва: 4TE Apt, 2010.
- Yang, Y., Yang, L., Zhou, L., Tang, S. (2021). A critical review of the effect of dietary fiber intake on the prevention of colorectal cancer in Eastern Asian countries. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021, Article 6680698. <https://doi.org/10.1155/2021/6680698>
- Yumuk, V., Tsigos, C., Fried, M., Schindler, K., Busetto, L., Micic, D. et al. (2015). European guidelines for obesity management in adults. *Obes Facts*, 8(6), 402–424. <https://doi.org/10.1159/000442721>
- Ahn, S.-I., Cho, S., Choi, N.-J. (2021). Effectiveness of chitosan as a dietary supplement in lowering cholesterol in murine models: a meta-analysis. *Marine Drugs*, 19(1), Article 26. <https://doi.org/10.3390/md19010026>
- Eskicioglu, V., Kamiloglu, S., Nilufer-Erdil, D. (2015). Antioxidant dietary fibres: Potential functional food ingredients from plant processing by-products. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(6), 487–499. <https://doi.org/10.17221/42/2015-CJFS>
- Петрова, Е.А., Легонькова, О.А. (2012). Применение хитозана в мясной индустрии. *Пищевая промышленность*, 1, 49–51.
- Максимова, С.Н., Сафронова, Т.М., Суворцева, Е.В. (2017). Использование хитозана в технологии пищевых продуктов из водных биоресурсов. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3, 35–40.
- Рензеева, Т.В., Тубольцева, А.С., Понкратова, Е.К., Луговая, А.В., Казанцева, А.В. (2014). Функционально-технологические свойства порошкообразного сырья и пищевых добавок в производстве кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 4(35), 43–49.
- Hunt, A., Park, J.W. (2013). Alaska pollock fish protein gels as affected by refined carrageenan and various salts. *Journal of Food Quality*, 36(1), 51–58. <https://doi.org/10.1111/jfq.12010>
- Хатко, З.Н., Титов, С.А., Саранов, И.А., Корышева, Н.Н., Ашинова, А.А., Колодина, Е.М. (2019). Влияние гидратации пектинов на внутреннее трение и вязкость их водных растворов. *Новые технологии/New technologies*, 3, 113–124. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10310>
- Прянишников, В.В., Колыхалова, В.В., Глотова, И.А., Гиро, Т.М., Николаева Ю. В. (2014). Пищевые волокна в качестве ингредиентов полуфабрикатов. *Современные наукоемкие технологии*, 11, 29–30.
- Montero, P., Hurtado, J.L., Pérez-Mateos, M. (2014). Microstructural behaviour and gelling characteristics of myosin protein gels interacting with hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 14(5), 455–461. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00025-4)
- Ramírez, J.A., Uresti, R.M., Velázquez, G., Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1842–1852. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.009>
- Nyaisaba, B.M., Hatab, S., Liu, X., Chen, Y., Chen, X., Miao, W. et al. (2019). Physicochemical changes of myofibrillar proteins of squid (*Argentinus illex*) induced by hydroxyl radical generating system. *Food Chemistry*, 297, Article 124941. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.008>
- Matin, H.R.H., Shariatmadari, F., Torshizi, M.A.K. (2013). In vitro mineral-binding capacity of various fibre sources: the monogastric sequen-

- tial simulated physiological conditions. *Advanced Studies in Biology*, 5(5), 235–249. <https://doi.org/10.12988/asb.2013.2535>
41. Панина, Е.В., Королькова, Н.В., Колобаева, А.А., Сорокина, И.А., Курчаева, Е.Е. (2022). Концептуальные подходы к использованию продуктов переработки бобов сои при производстве функциональных продуктов питания. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*, 1(18), 51–62. <https://doi.org/10.53914/issn2311-6870.2022.1.51>
42. Шишкина, Д.И., Соколов, А.Ю. (2018). Анализ зарубежных технологий мясных продуктов функционального назначения. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 80(2(76)), 189–194. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-189-194>
43. Gámiz-González, M.A., Piskin, A.E., Pandis, C., Chatzimanolis-Moustakas, C., Kyritsis, A., Mari, B. et al. (2015). Determining the influence of N-acetylation on water sorption in chitosan films. *Carbohydrate Polymers*, 133, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.020>
44. Kabanov, V.L., Novinyuk, L.V. (2020). Chitosan application in food technology: a review of recent advances. *Food Systems*, 3(1), 10–15. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-1-10-15>
45. Friedman, M., Juneja, V.K. (2010). Review of antimicrobial and antioxidative activities of chitosans in food. *Journal of Food Protection*, 73(9), 1737–1761. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.9.1737>
46. Verlee, A., Mincke, S., Stevens, C.V. (2017). Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 164, 268–283. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.001>
47. Gutiérrez, T.J. (2017). Chitosan applications for the food industry. Chapter in a book: Chitosan: derivatives, composites and applications. Scrivener Publishing LLC, 2017. <https://doi.org/10.1002/9781119364849.ch8>
48. Ngo, D.-H., Vo, T.-S., Ngo, D.-N., Kang, K.-H., Je, J.-Y., Pham, H. N.-D. et al. (2015). Biological effects of chitosan and its derivatives. *Food Hydrocolloids*, 51, 200–216. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.023>
49. Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstien, J.M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation. *Food Chemistry*, 240, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
50. Cao, X., Islam, M.N., Chitrakar, B., Duan, Z., Xu, W., Zhong, S. (2020). Effect of combined chlorogenic acid and chitosan coating on antioxidant, antimicrobial, and sensory properties of snakehead fish in cold storage. *Food Science and Nutrition*, 8, 975–981. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1378>
51. Huang, P., Huang, C., Ma, X., Gao, C., Sun, F., Yang, N. et al. (2021). Effect of pH on the mechanical, interfacial, and emulsification properties of chitosan microgels. *Food Hydrocolloids*, 121, Article 106972. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106972>
52. Huang, M., Xu, Y., Xu, L., Bai, Y., Xu, X. (2022). Interactions of water-soluble myofibrillar protein with chitosan: phase behavior, microstructure and rheological properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 78, Article 103013. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103013>
53. Ruzaina, I., Zhong, F., Rashid, N.A., Jia, W., Li, Y., Som, H.Z.M. et al. (2017). Effect of different degree of deacetylation, molecular weight of chitosan and palm stearin and palm kernel olein concentration on chitosan as edible packaging for cherry tomato. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), Article e13090. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13090>
54. Li, X., Xia, W. (2010). Effects of chitosan on the gel properties of salt-soluble meat proteins silver carp. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 958–954. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.026>
55. Пивненко, Т.Н., Ковалев, Н.Н., Конькова, Д.А., Позднякова, Ю.М. (2022). Влияние пищевых волокон на структурообразование в мышечной ткани объекта глубоководного рыбного промысла макрура с малозлазого в присутствии транслугутиназы. *Вестник КрасГАУ*, 2(179), 121–129. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-2-121-129>
56. Пивненко, Т.Н. (2021). Применение транслугутиназы в пищевой промышленности. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 55(1), 5–22.
57. Silvipriya, K.S., Kumar, K.K., Bhat, A.R., Kumar, B.D., John, A., Iakshmanan, P. (2015). Collagen: animal sources and biomedical application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(03), 123–127. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50322>
58. Coppola, D., Oliviero, M., Vitale, G.A., Lauritano, C., D'Ambra, I., Iannace, S. et al. (2020). Marine collagen from alternative and sustainable sources: extraction, processing and applications. *Marine Drugs*, 18(4), Article 214. <https://doi.org/10.3390/md18040214>
59. Hashim, P., Mohd Ridzwan, M.S., Bakar, J., Mat Hashim, D. (2015). Collagen in food and beverage industries. *International Food Research Journal*, 22(1), 1–8.
60. Антипова, Л.В., Сторублевцев, С.А. (2014). Коллагены: источники, свойства, применение. Воронеж: ВГУИТ, 2014.
61. Zhu, C., Zhang, W., Liu, J., Mu, B., Zhang, F., Lai, M. et al. (2017). Marine collagen peptides reduce endothelial cell injury in diabetic rats by inhibiting apoptosis and the expression of coupling factor 6 and microparticles. *Molecular Medicine Reports*, 16(4), 3947–3957. <https://doi.org/10.3892/mmr.2017.7061>
62. Tumerkan, E.T.A., Cansu, U., Boran, G., Mac Regenstien, J., Ozogul, F. (2019). Physicochemical and functional properties of gelatin obtained from tuna, frog and chicken skins. *Food Chemistry*, 287, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.088>
63. Дроздова, Н.А., Насонова, В.В. (2016). Влияние различных пищевых добавок и ингредиентов на технологические характеристики животных белков. *Теория и практика переработки мяса*, 1(3), 48–56. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-3-48-56>
64. Туниева, Е. К. Афанасьева, Ю.И. (2021). Влияние соли на функционально-технологические свойства соединительнотканного белка. *Все о мясе*, 3, 3–5. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-3-3-5>
65. Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L. et al. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 2016, Article 3182746. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
66. Ramírez, J. A., Uresti, R. M., Velázquez, G., Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1842–1852. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.009>
67. Tang, C., Zhou, K., Zhu, Y., Zhang, W., Xie, Y., Wang, Z. et al. (2022). Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 133, Article 107748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107748>
68. He, Y., Wang, C., Wang, C., Xiao, Y., Lin, W. (2021). An overview on collagen and gelatin-based cryogels: fabrication, classification, properties and biomedical applications. *Polymers (Bazel)*, 13(14), Article 2299. <https://doi.org/10.3390/polym13142299>
69. Кращенко, В.В., Карпенко, Ю.В. (2014). Влияние бинарного структурообразователя на свойства рыбных студней. *Известия ТИИРО*, 179, 272–278. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-179-272-278>
70. Gaspar, A.L.C., de Góes-Favoni, S.P. (2015). Action of microbial transglutaminase in the modification food proteins. *Food Chemistry*, 171, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.019>
71. Cheng, S., Wang, W., Li, Y., Gao, G., Zhang, K., Zhou, J. et al. (2019). Cross-linking and film-forming properties of transglutaminase-modified collagen fibers tailored by denaturation temperature. *Food Chemistry*, 271, 527–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.223>
72. Кораблева, Н.С., Базарнова, Ю.Г. (2013). Исследование препаратов пшеничной клетчатки для использования в рыбных фаршевых продуктах. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, 2, 10.
73. Дружинина, А.С., Боголицын, К.Г., Каплицин, П.А., Овчинников, Д.В., Паршина, А.Э., Шульгина, Е.В. и др. (6–7 октября 2016). *Структура и физико-химические свойства целлюлозы арктических бурых водорослей*. Материалы Второй Всероссийской научно-практической Интернет-конференции с международным участием. Россия, Петрозаводск, 2016.
74. López-Marcos, M.C., Bailina, C., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J.A., Fernández-López, J. (2015). Properties of dietary fibers from agroindustrial co-products as source for fiber-enriched foods. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 2400–2408. <https://doi.org/10.1016/j.focba.2022.100149>
75. Sánchez-Alonso, I., Haji-Maleki, R., Borderías, A.J. (2007). Wheat fiber as a functional ingredient in restructured fish products. *Food Chemistry*, 100(3), 1037–1043. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.090>
76. Martínez-Pineda, M., Yagüe-Ruiz, C., Vercet, A. (2021). Frying conditions, methyl cellulose, and κ-carrageenan edible coatings: useful strategies to reduce oil uptake in fried mushrooms. *Foods*, 10(8), Article 1694. <https://doi.org/10.3390/foods10081694>
77. Jannat Alipour, H., Rezaei, M., Shabanpour, B., Tabarsa, M.E. (2018). Effects of sulfated polysaccharides from green alga *Ulva intestinalis* on physicochemical properties and microstructure of silver carp surimi. *Food Hydrocolloids*, 74, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.038>
78. Careche, M., Borderías, A.J., Sánchez-Alonso, I., Lund, E.K. (2011). Functional seafood products. Chapter in a book: Functional foods: concept to product. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2011. <https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.557>
79. Боголицын, К.Г., Каплицин, П.А., Дружинина, А.С., Овчинников, Д.В., Шульгина, Е.В., Паршина А. Э. (2015). Целлюлозная матрица арктических бурых водорослей: выделение, структура. *Современные наукоемкие технологии*, 12–1, 14–19.
80. Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Kim, H.-W., Lee, M.-A. et al. (2012). Effects of *Laminaria japonica* on the physicochemical and sensory characteristics of reduced-fat pork patties. *Meat Science*, 91(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.011>

REFERENCES

1. Li, Y.-O., Komarek, A.R. (2017). Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis and applications. *Food Quality and Safety*, 1(1), 47–59. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fy007>
2. Mehta, N., Ahlawat, S.S., Sharma, D.P., Dabur, R.S. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products — a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 633–647. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2>
3. EFSA (2017). Dietary reference values for nutrients summary report. *EFSA Supporting Publication*, 14(12), Article e15121. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
4. Methodical recommendations “Rational nutrition. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation” MR2.3.1.2.3.1.0253–21. (Approved by the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Pro-

- tection and Human Well-being, the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation A. Yu. Popova on July 22, 2021). Moscow, 2021. Retrieved from https://www.rosпотреbnadzor.ru/upload/iblock/789/1-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf. Accessed March 12, 2021 (In Russian)
5. Gibson, R., Eriksen, R., Chambers, E., Gao, H., Aresu, M., Heard, A. et al. (2019). Intakes and food sources of dietary fibre and their associations with measures of body composition and inflammation in UK adults: cross-sectional analysis of the airwave health monitoring study. *Nutrients*, 11(8), Article 1839. <https://doi.org/10.3390/nu11081839>
 6. Pyryeva, E.A., Safronova, A.I. (2019). The role of dietary fibers in the nutrition of the population *Problems of Nutrition*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059> (In Russian)
 7. Borderias, A., Sanchez-Alonso, I., Perez-Mateos, M. (2005). New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. *Trends in Food Science Technology*, 16(10), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.011>
 8. Moreno, H.M., Herranz, B., Pérez-Mateos, M., Sánchez-Alonso, I., Borderías, J.A. (2014). New alternatives in seafood restructured products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(2), 237–248. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.719942>
 9. Jannat-Alipour, H., Rezaei, M., Shabanpour, B., Tabarsa, M., Rafipour, F. (2019). Addition of seaweed powder and sulphated polysaccharide on shelf-life extension of functional fish surimi restructured product. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3777–3789. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03846-y>
 10. Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Partington S., Jaczynski, J. (2013). Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute. *Food Chemistry*, 141(1), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.111>
 11. Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
 12. Dai, F.-J., Chau, C.-F. (2016). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 37–42. <http://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>
 13. Zinina, O., Merenkova, S., Tazeddinova, D., Rebezov, M., Stuart, M., Okuskhanova, E. et al. (2019). Enrichment of meat products with dietary fibers: a review. *Agronomy Research*, 17(4), 1808–1822. <https://doi.org/10.15159/AR.19.163>
 14. Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., Patil, R.T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
 15. Igoryanova, N.A., Meleshkina, E.P. (2016). *Prospects for using ingredients containing food fibers of secondary products of grain processing for stabilization of food system structures*. International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveyevich Gorbатов. Moscow: VNIIMP, 2016.
 16. Zhang, B., Wang, S., Wichienchot, S., Huang, Q., Dhital, S. (2021). Dietary fibers: structural aspects and nutritional implications. Chapter in a book: *Food Hydrocolloids*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0320-4_15
 17. Irastorza, A., Zaranonda, I., Andonegi, M., Guerrero, P., de la Caba, K. (2021). The versatility of collagen and chitosan: from food to biomedical applications. *Food Hydrocolloids*, 116, Article 106633. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.106633>
 18. Philibert, T., Lee, B.H., Fabien, N. (2017). Current status and new perspectives on chitin and chitosan as functional biopolymers. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181(4), 1314–1337. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2286-2>
 19. Neklyudov, A.D., Ivankin, A.N. (2007). Collagen: Obtaining, properties and application. Moscow: MGUL, 2007. (In Russian)
 20. Zhang, S., Tian, J., Lei, M., Zhang, J. (2022). Association between dietary fiber intake and atherosclerotic cardiovascular disease risk in adults: a cross-sectional study of 14,947 population based on the National Health and Nutrition Examination Surveys. *BMC Public Health*, 22(1), Article 1076. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13419-y>
 21. Barber, T.M., Kabisch, S., Pfeiffer, A.F.H., Weickert, M.O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), Article 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
 22. Weickert, M.O., Pfeiffer, A.F.H. (2018). Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. *The Journal of Nutrition*, 148(1), 7–12. <https://doi.org/10.1093/jn/nxx008>
 23. Weickert, M.O. (2018). High fiber intake, dietary protein, and prevention of type 2 diabetes *Expert Review of Endocrinology & Metabolism*, 13(5), 223–224. <https://doi.org/10.1080/17446651.2018.1513320>
 24. Honsek, C., Kabisch, S., Kemper, M., Gerbracht, C., Arafat, A.M., Birkenfeld, A.L. et al. (2018). Fibre supplementation for the prevention of type 2 diabetes and improvement of glucose metabolism: The randomised controlled Optimal Fibre Trial (OptFiT). *Diabetologia*, 61(6), 1295–1305. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4582-6>
 25. Eswaran, S., Muir, M., Chey, W. (2013). Fiber and functional gastrointestinal disorders. *American Journal of Gastroenterology*, 108(5), 718–727. <https://doi.org/10.1038/ajg.2013.63>
 26. Ardatskaya, M.D. (2010). Clinical application of dietary fiber. Moscow: 4TE Art, 2010/ (In Russian)
 27. Yang, Y., Yang, L., Zhou, L., Tang, S. (2021). A critical review of the effect of dietary fiber intake on the prevention of colorectal cancer in Eastern Asian countries. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021, Article 6680698. <https://doi.org/10.1155/2021/6680698>
 28. Yumuk, V., Tsigos, C., Fried, M., Schindler, K., Busetto, L., Micic, D. et al. (2015). European guidelines for obesity management in adults. *Obes Facts*, 8(6), 402–424. <https://doi.org/10.1159/000442721>
 29. Ahn, S.-I., Cho, S., Choi, N.-J. (2021). Effectiveness of chitosan as a dietary supplement in lowering cholesterol in murine models: a meta-analysis. *Marine Drugs*, 19(1), Article 26. <https://doi.org/10.3390/md19010026>
 30. Eskicioglu, V., Kamiloglu, S., Nilufer-Erdil, D. (2015). Antioxidant dietary fibres: Potential functional food ingredients from plant processing by-products. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(6), 487–499. <https://doi.org/10.17221/42/2015-CJFS>
 31. Petrova, E.A., Legonkova, O.A. (2012). The use of chitosan in meat industry. *Food Industry*, 1, 49–51. (In Russian)
 32. Maksimova, S.N., Safronova, T.M., Surovtseva, E.V. (2017). Use of chitosan technology of foodstuff from aquatic bioresources. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 2–3, 35–40. (In Russian)
 33. Renzyaeva, T. V., Tuboltseva, A. S., Ponkratova, E. K., Lugovaya, A. V., Kazantseva, A. V. (2014). Functional and technological properties of powdered raw materials and food additives for confectionary. *Food Processing: Techniques and Technology*, 4(35), 43–49. (In Russian)
 34. Hunt, A., Park, J.W. (2013). Alaska pollock fish protein gels as affected by refined carrageenan and various salts. *Journal of Food Quality*, 36(1), 51–58. <https://doi.org/10.1111/jfq.12010>
 35. Khatko, Z.N., Titov, S.A., Saranov, I.A., Korysheva, N.N., Ashinova, A.A., Kolodina, E.M. (2019). Influence of pectin hydration on internal friction and viscosity of their aqueous solutions. *New Technologies*, 3, 113–124. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10310> (In Russian)
 36. Pryanishnikov, V.V., Kolikhalova, V.V., Glotova, I.A., Giro, T.M., Nikolaeva, U.V. (2014). Food fibre vitacel in semi-finished products technology. *Modern High Technologies*, 11, 29–30. (In Russian)
 37. Montero, P., Hurtado, J.L., Pérez-Mateos, M. (2014). Microstructural behaviour and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 14(5), 455–461. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00025-4)
 38. Ramírez, J.A., Uresti, R.M., Velázquez, G., Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1842–1852. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.009>
 39. Nyaisaba, B.M., Hatab, S., Liu, X., Chen, Y., Chen, X., Miao, W. et al. (2019). Physicochemical changes of myofibrillar proteins of squid (*Argentinus illex*) induced by hydroxyl radical generating system. *Food Chemistry*, 297, Article 124941. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.008>
 40. Matin, H.R.H., Shariatmadari, F., Torshizi, M.A.K. (2013). In vitro mineral-binding capacity of various fibre sources: the monogastric sequential simulated physiological conditions. *Advanced Studies in Biology*, 5(5), 235–249. <https://doi.org/10.12988/asb.2013.2535>
 41. Panina, E. V., Korolkova, N. V., Kolobaeva, A. A., Sorokina, I. A., Kurchaeva, E. E. (2022). Conceptual approaches to the use of soy bean processing products in the production of functional food. *Technologies and Commodity Science of Agricultural Products*, 1(18), 51–62. https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2022_1_51 (In Russian)
 42. Shishkina, D.I., Sokolov, A. Yu. (2018). Analysis of foreign technologies for the functional meat products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80(2(76)), 189–194. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-189-194> (In Russian)
 43. Gámiz-González, M.A., Piskin, A.E., Pandis, C., Chatzimanolis-Moustakas, C., Kyritsis, A., Mari, B. et al. (2015). Determining the influence of N-acetylation on water sorption in chitosan films. *Carbohydrate Polymers*, 133, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.020>
 44. Kabanov, V.L., Novinyuk, L.V. (2020). Chitosan application in food technology: a review of recent advances. *Food Systems*, 3(1), 10–15. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-1-10-15>
 45. Friedman, M., Juneja, V.K. (2010). Review of antimicrobial and antioxidative activities of chitosans in food. *Journal of Food Protection*, 73(9), 1737–1761. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.9.1737>
 46. Verlee, A., Mincke, S., Stevens, C.V. (2017). Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 164, 268–283. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.001>
 47. Gutiérrez, T.J. (2017). Chitosan applications for the food industry. Chapter in a book: *Chitosan: derivatives, composites and applications*. Scrivener Publishing LLC, 2017. <https://doi.org/10.1002/9781119364849.ch8>
 48. Ngo, D.-H., Vo, T.-S., Ngo, D.-N., Kang, K.-H., Je, J.-Y., Pham, H. N.-D. et al. (2015). Biological effects of chitosan and its derivatives. *Food Hydrocolloids*, 51, 200–216. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.023>
 49. Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstein, J.M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation. *Food Chemistry*, 240, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
 50. Cao, X., Islam, M.N., Chitrakar, B., Duan, Z., Xu, W., Zhong, S. (2020). Effect of combined chlorogenic acid and chitosan coating on antioxidant, antimicrobial, and sensory properties of snakehead fish in cold storage. *Food Science and Nutrition*, 8, 973–981. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1378>
 51. Huang, P., Huang, C., Ma, X., Gao, C., Sun, F., Yang, N. et al. (2021). Effect of pH on the mechanical, interfacial, and emulsification properties of chitosan microgels. *Food Hydrocolloids*, 121, Article 106972. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106972>

52. Huang, M., Xu, Y., Xu, L., Bai, Y., Xu, X. (2022). Interactions of water-soluble myofibrillar protein with chitosan: phase behavior, microstructure and rheological properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 78, Article 103013. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103013>
53. Ruzaina, I., Zhong, F., Rashid, N.A., Jia, W., Li, Y., Som, H.Z.M. et al. (2017). Effect of different degree of deacetylation, molecular weight of chitosan and palm stearin and palm kernel olein concentration on chitosan as edible packaging for cherry tomato. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), Article e13090. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13090>
54. Li, X., Xia, W. (2010). Effects of chitosan on the gel properties of salt-soluble meat proteins silver carp. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 958–954. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.026>
55. Pivnenko, T.N., Kovalev, N.N., Konkova, D.A., Pozdnyakova, Yu.M. (2022). Dietary fibers effect on muscle tissue structure formation of the deep-sea fishing object of the giant grenadier in the presence of transglutaminase. *Bulletin of KSAU*, 2(179), 121–129. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-2-121-129> (In Russian)
56. Pivnenko, T.N. (2021). Application of transglutaminase in the food industry. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 55(1), 5–22. (In Russian)
57. Silvipriya, K.S., Kumar, K.K., Bhat, A.R., Kumar, B.D., John, A., Iakshmanan, P. (2015). Collagen: animal sources and biomedical application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(03), 123–127. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50322>
58. Coppola, D., Oliviero, M., Vitale, G.A., Lauritano, C., D'Ambra, I., Iannace, S. et al. (2020). Marine collagen from alternative and sustainable sources: extraction, processing and applications. *Marine Drugs*, 18(4), Article 214. <https://doi.org/10.3390/md18040214>
59. Hashim, P., Mohd Ridzwan, M.S., Bakar, J., Mat Hashim, D. (2015). Collagen in food and beverage industries. *International Food Research Journal*, 22(1), 1–8.
60. Antipova, L.V., Storublevtsev, S.A. (2014). Collagens: Sources, properties, application. Voronezh, VGUIT, 2014. (In Russian)
61. Zhu, C., Zhang, W., Liu, J., Mu, B., Zhang, F., Lai, M. et al. (2017). Marine collagen peptides reduce endothelial cell injury in diabetic rats by inhibiting apoptosis and the expression of coupling factor 6 and microparticles. *Molecular Medicine Reports*, 16(4), 3947–3957. <https://doi.org/10.3892/mmr.2017.7061>
62. Tumerkan, E.T.A., Cansu, U., Boran, G., Mac Regenstein, J., Ozogul, F. (2019). Physicochemical and functional properties of gelatin obtained from tuna, frog and chicken skins. *Food Chemistry*, 287, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.088>
63. Drozdova, N.A., Nasonova, V.V. (2016). Influence of different food additives and ingredients on the technological characteristics of animal proteins. *Theory and Practice of Meat Processing*, 1(3), 48–56. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-3-48-56> (In Russian)
64. Tunieva, E.K., Afanasyeva, Yu.I. (2021). Effect of salt on functional properties of collagen protein. *Vsyo o Myase*, 3, 3–5. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-3-3-5> (In Russian)
65. Listrat, A., Lebre, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L. et al. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 2016, Article 3182746. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
66. Ramírez, J. A., Uresti, R. M., Velázquez, G., Vázquez, M. (2011). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1842–1852. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.009>
67. Tang, C., Zhou, K., Zhu, Y., Zhang, W., Xie, Y., Wang, Z. et al. (2022). Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 133, Article 107748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107748>
68. He, Y., Wang, C., Wang, C., Xiao, Y., Lin, W. (2021). An overview on collagen and gelatin-based cryogels: fabrication, classification, properties and biomedical applications. *Polymers (Bazel)*, 13(14), Article 2299. <https://doi.org/10.3390/polym13142299>
69. Krashchenko, V. V., Karpenko, Yu. V. (2014). Effect of binary builder on properties of fish jellies. *Izvestiya TINRO*, 179, 272–278. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-179-272-278> (In Russian)
70. Gaspar, A.L.C., de Góes-Favoni, S.P. (2015). Action of microbial transglutaminase in the modification food proteins. *Food Chemistry*, 171, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.019>
71. Cheng, S., Wang, W., Li, Y., Gao, G., Zhang, K., Zhou, J. et al. (2019). Cross-linking and film-forming properties of transglutaminase-modified collagen fibers tailored by denaturation temperature. *Food Chemistry*, 271, 527–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.223>
72. Korableva, N.S., Bazarnova, Yu.G. (2013). Research of preparations of wheat cellulose for application in fish farshevy products. *Processes and Food Production Equipment*, 2, 10. (In Russian)
73. Druzhinina, A.S., Bogolitsyn, K.G., Kaplitsyn, P.A., Ovchinnikov, D.V., Parshina, A.E., Shulgina, E.V. et al. (October 6–7, 2016). *Structure and physico-chemical properties of cellulose of Arctic brown algae*. Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical Internet Conference with international participation. Russia, Petrozavodsk, 2016. (In Russian)
74. López-Marcos, M.C., Bailina, C., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J.A., Fernández-López, J. (2015). Properties of dietary fibers from agroindustrial co-products as source for fiber-enriched foods. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 2400–2408. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100149>
75. Sánchez-Alonso, I., Haji-Maleki, R., Borderías, A.J. (2007). Wheat fiber as a functional ingredient in restructured fish products. *Food Chemistry*, 100(3), 1037–1043. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.090>
76. Martínez-Pineda, M., Yagüe-Ruiz, C., Vercet, A. (2021). Frying conditions, methyl cellulose, and k-carrageenan edible coatings: useful strategies to reduce oil uptake in fried mushrooms. *Foods*, 10(8), Article 1694. <https://doi.org/10.3390/foods10081694>
77. Jannat Alipour, H., Rezaei, M., Shabanpour, B., Tabarsa, M.E. (2018). Effects of sulfated polysaccharides from green alga *Ulva intestinalis* on physicochemical properties and microstructure of silver carp surimi. *Food Hydrocolloids*, 74, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.038>
78. Careche, M., Borderías, A.J., Sánchez-Alonso, I., Lund, E.K. (2011). Functional seafood products. Chapter in a book: Functional foods: concept to product. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2011. <https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.557>
79. Bogolitsyn, K.G., Kaplitsyn, P.A., Druzhinina, A.S., Ovchinnikov, D.V., Shulgina, E.V., Parshina, A.E. (2015). Cellulose matrix of arctic brown algae: Purification, structure. *Modern High Technologies*, 12–1, 14–19. (In Russian)
80. Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Kim, H.-W., Lee, M.-A. et al. (2012). Effects of *Laminaria japonica* on the physicochemical and sensory characteristics of reduced-fat pork patties. *Meat Science*, 91(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.011>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Пивненко Татьяна Николаевна — доктор биологических наук, профессор, профессор, кафедра «Пищевая биотехнология», Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Дальрыбвтуз) 690087, Владивосток, Луговая, 52-Б Тел.: +7-924-230-25-34 E-mail: tnpivnenko@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0330-489X	Tatiana N. Pivnenko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor, Department «Food Biotechnology», Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz) 52-B, Lugovaya str., Vladivostok, 690087, Russia Tel.: +7-924-230-25-34 E-mail: tnpivnenko@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0330-489X
Критерии авторства	Contribution
Автор имеет единоличное отношение к написанию рукописи и несет ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.	The author declares no conflict of interest.