

УДК 658.562.012.7

## ОЦЕНКА НУТРИЕНТНОГО И МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ КЕТЫ ТИХООКЕАНСКОЙ (*Oncorhynchus keta*)

© 2024 г. Л. С. Абрамова<sup>1</sup>, А. В. Козин<sup>1</sup>, \*

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, 105187 Россия

\*e-mail kozin82a@gmail.com

Поступила в редакцию 26.04.2023 г.

После доработки 06.06.2023 г.

Принята к публикации 06.07.2023 г.

Анализ биологической ценности кеты показал, что по сбалансированности аминокислотного состава белка кета с нерестовыми изменениями не уступает кете без нерестовых изменений (кета “серебрянка”). Отмечено более высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в общих липидах, в том числе омега-3 в кете с нерестовыми изменениями, по сравнению с кетой “серебрянкой”. Метаболический профиль образцов мышечной ткани кеты, полученный методом ЯМР-спектроскопии показал, что уровень Асп, Глу и Глю заметно повышался во время нерестовой миграции, что объясняется ограниченным питанием рыбы. Рассчитан суммарный индекс вкуса мышечной ткани кеты “серебрянки”, который составил  $4.06 \pm 0.11$ , а для кеты с нерестовыми изменениями —  $3.46 \pm 0.09$ , следовательно, мясо кеты “серебрянки” имеет более насыщенный вкус, по сравнению с кетой, имеющей нерестовые изменения. Результаты анализа пищевой ценности и метаболического профиля мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями могут быть использованы при изготовлении рыбного фарша и последующего производства специализированной пищевой продукции путем введения добавок, стабилизирующих консистенцию, цвет, а также при изготовлении функциональных пищевых добавок.

**Ключевые слова:** кета тихоокеанская, нерестовые изменения, биологическая ценность, метаболический профиль, ЯМР-спектроскопия, индекс вкуса.

**DOI:** 10.31857/S0555109924010109, **EDN:** HBTQOM

Вопросу обеспечения потребителя рыбной продукцией безопасной и гарантированного качества уделяется большое внимание как со стороны добывающих, так и рыбоперерабатывающих предприятий. Для решения данной задачи необходимо хорошо знать изменения, протекающие в рыбе, связанные с сезоном добычи, возрастом, полом рыбы, а также с нерестом, и иметь возможность объективно контролировать основные показатели, характеризующие сырье.

В этом отношении значительный интерес представляют тихоокеанские лососи (горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, кета *O. keta*, нерка *O. nerka*, кижуч *O. kisutch*, чавыча *O. tshawytscha*), которые являются наиболее ценными в пищевом отношении видами среди промысловых рыб Дальнего Востока и составляют 10% от среднегодового общего улова Российской Федерации [1, 2]. Одним из важных промысловых видов тихоокеанских лососевых рыб является кета *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) — второй по численности вид после горбуши *O. gorbuscha* (Walbaum, 1792) [3, 4]. Основным критерием качества кеты в качестве сырья для дальнейшей переработки является цвет мяса, предпочтительно розовый, оранжевый или

красный. В морской период жизни кета имеет серебристую окраску тела, без полос и пятен. В состав пищи в местах нагула в корм кеты включается зоопланктон, который является источником каротиноида астаксантина, который придает характерные розовые оттенки мясу. С входом в опресненную воду начинается мобилизация астаксантина в кожу и овоциты, вследствие чего серебристая окраска начинает заменяться “брачным нарядом”, цвет поверхности становится темным, на боках появляются малиново-лиловые вертикальные полосы, а цвет мяса становится вплоть до светло-серого [5, 6]. В это время происходит также изменение нутриентного состава, что отражается на пищевой ценности как сырья, так и продукции, которая производится из этого вида рыбы. Изучение особенностей динамики биохимического состава мышечной ткани в процессе онтогенеза у кеты представляет научный и практический интерес для оценки промысловых запасов и технологии ее переработки с целью получения продукции с заданными свойствами и комплексом органолептических показателей [7].

Известно, что тихоокеанские лососи являются источником липидов, которые в основном на

45–55% сосредоточены в мышцах. Перед нерестом до 15–20% суммарных липидов накапливается в зрелых гонадах лососевых рыб, а масса яичников (ястыков) достигает 20–25% общей биомассы рыб [8]. При оценке основных биоэнергетических параметров мышечной ткани тихоокеанских лососей Охотского моря по данным, собранным в 2003–2015 гг. установлено, что доля липидов в сыром веществе у неполовозрелых и половозрелых особей кеты составляла 4.2 и 4.4% соответственно. С переходом на IV стадию зрелости гонад у кеты наблюдается снижение калорийности, в основном за счет уменьшения количества липидов в тканях, которое связано с интенсивным созреванием икры и молок [8]. Однако показано, что при снижении содержания липидов в мышцах кеты на этапе нерестовой миграции количество фосфолипидов оставалось постоянным [9]. Благодаря высоким эмульгирующим свойствам фосфолипидов возникают предпосылки для использования сырья с нерестовыми изменениями при получении структурированных продуктов.

Установлено, что во время нерестовой миграции в мышечной ткани кеты *O. keta* происходит также изменение фракционного состава белков, что определяет консистенцию мышечной ткани и ее технологические свойства. Глубина процессов может быть охарактеризована по содержанию свободных аминокислот, нуклеотидов, нуклеозидов, олигопептидов в экстрактах мышечной ткани. Свободные аминокислоты попадают в ткань как при питании рыбы, так и в результате гидролитических процессов при апоптозе, а также некрозе и патологиях. В зависимости от глубины этих процессов меняется содержание свободных аминокислот в мышцах. Отмечено большое количество ансерина (Анс) в экстрактах мышечной ткани кеты при довольно низком уровне Тау, Ала, Гли, Глу и Лиз в экстракте [10, 11]. После гидролиза экстрактов было обнаружено значительное увеличение содержания метилгистидин (Мгис), β-Ала, которые образовались за счет распада Анс. Сумма нуклеотидов и нуклеозидов составляла 3.32–9.22 мкг/г, а преобладающим соединением был инозин-5-монофосфат (ИМФ).

Степень изменения миофибрилярного белка во время нерестовой миграции кеты *O. keta* оценивали путем исследования экстрактов мышечной ткани с помощью ионообменной колоночной хроматографии [12]. Установлено, что уровень Мгис заметно повышается во время нерестовой миграции, особенно у самок, как в миофибрилярных белках, так и в актине. Одновременно с нерестовыми изменениями происходило значительное увеличение таких свободных аминокислот, как Глу, Гли, Лей, Лиз и резкое снижение содержания Гис. Сделано заключение, что изменение количества Мгис в экстрактах мышечной ткани рыб можно рассматривать как показатель степени изменения белка

во время нерестовых миграции кеты и являться маркером при оценке качества сырья для дальнейшего использования.

Одним из перспективных подходов для более глубокого изучения тканей мышц кеты в различном биологическом состоянии является использование методов метаболомики, которая позволяет получить дополнительные сведения об изменениях комплекса биохимических показателей объекта [13]. Анализ метаболома является ключевым моментом для понимания динамических процессов, происходящих в организме. При нормальных условиях концентрация тех или иных соединений в ткани или жидкости определяется их ролью в метаболических процессах и, как правило, меняется в небольших пределах. Однако при патологии метаболомный профиль пораженной ткани может резко измениться. Изучение динамики состава и концентрации метаболитов дает возможность понять молекулярные основы возникновения изменений в организме и охарактеризовать глубину процесса нерестовых изменений для объективной характеристики пищевой ценности, органолептических показателей и технологической пригодности сырья [14, 15].

В связи с этим вопросы рационального и более эффективного использования кеты с нерестовыми изменениями с целью создания полноценной в пищевом отношении продукции требует современных подходов и является весьма актуальной проблемой.

Цель работы — оценить нутриентный и метаболический профиль мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями для определения рационального использования сырья при получении продукции с заданными органолептическими и функциональными свойствами.

## МЕТОДИКА

**Объекты исследований.** В качестве объектов исследования использовали образцы половозрелых особей кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) различного биологического состояния по 4 экземпляра в каждой выборке. Кета с нерестовыми изменениями выловлена в устье реки Ударница (сентябрь, Сахалинская обл., Россия), рыба без нерестовых изменений (далее кета “серебрянка”) выловлена в заливе Святой Ольги (октябрь, Приморский край, Россия). Образцы после вылова были сразу заморожены и доставлены для исследований в лабораторию.

**Анализ химического состава.** В образцах определяли содержание белковых веществ на автоанализаторе “Kjeltec” модель 1003 (“Tecator”, Швеция) по методу Кьельдаля с коэффициент пересчета содержания азота на содержание белка 6.25. Массовую долю влаги определяли методом высушивания

при 104°C, содержание жира по методу Сокслета на автоматическом экстракторе SER148/6 (“VELP”, Италия). Аминокислотный состав белка определяли по методике, описанной в работе [16].

**Определение фракционного и жирнокислотного состава липидов.** Для экстракции липидов навеску образца 1–2 г помещали в пробирку на 50 мл, приливали 20 мл смеси хлороформ/метанол (2 : 1 по объему), плотно закрывали пробкой и взбалтывали в течение 1.5 ч на лабораторном шейкере. Затем приливали 6.6 мл дистиллированной воды, перемешивали и центрифугировали в течение 5 мин при 3000 г. Нижнюю фазу смеси (хлороформный раствор липофильной фракции) каждого образца отбирали в предварительно доведенные до постоянной массы и взвешенные на аналитических весах круглодонные колбы емкостью 50 мл. Хлороформ из колб отгоняли на вакуумном ротационном испарителе. Оставшуюся липофильную фракцию сушили до постоянной массы (10–20 мин) при температуре 100–105°C, охлаждали в эксикаторе и взвешивали колбу на аналитических весах до постоянной массы.

Фракционный состав липидов определяли методом тонкослойной хроматографии на пластине Silica gel 60 F254 (“Merck”, Германия) в системе растворителей гексан: диэтиловый эфир: уксусная кислота (80 : 30 : 1.5 по объему), как описано в работе [17].

Состав жирных кислот в образцах мышечной ткани определяли путем получения метиловых эфиров жирных кислот общих липидов с использованием метанола и ацетилхлорида с последующим разделением на газовом хроматографе “Agilent 7890A” (“Agilent Technologies”, США) с пламенно-ионизационным детектором на хроматографической колонке 100 м × 0.25 мм × 0.25 мкм “Agilent J&W GC Columns Select FAME” (США). Условия ГХ-анализа: объем пробы 1 мкл, режим с делением потока 30 : 1, газ-носитель азот, скорость потока 0.9 мл/мин, температура инжектора 260°C; температура детектора 270°C. Условия разделения: начальная температура 140°C (изотерма в течение 5 мин), затем увеличение температуры до 220°C со скоростью 4°C/мин, изотерма 25 мин. Сбор и обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения Agilent ChemStation Rev. B.04.03.

#### Подготовка образцов для спектроскопии ЯМР.

Для экстракции водорастворимых полярных метаболитов 25 г гомогенизированной мышечной ткани заливали 50 мл 7.5%-ного раствора ТХУ, перемешивали в гомогенизаторе и фильтровали через бумажный фильтр. Фильтрат нейтрализовали 9 М раствором КОН до значения рН 7.8, фильтровали через бумажный фильтр (№ 1) и центрифугировали при температуре 4°C и 12000 g в течение 10 мин. Аликвоту полученного раствора 500 мкл переносили пипеткой в стандартную ЯМР-ампулу

диаметром 5 мм, добавляли 50 мкл раствора TSP (3-(trimethylsilyl)-propionic-2,2,3,3-d<sub>4</sub> acid sodium salt) в D<sub>2</sub>O с концентрацией 5.46 ммоль/л (в качестве внутреннего стандарта) и регистрировали на приборе “Bruker Avance III” (“Bruker Biospin GmbH”, Германия) с рабочей частотой по протонам 800 МГц при 303 К. Обработку спектров проводили с использованием программного обеспечения TopSpin 3.6.1 (“Bruker BioSpin”, США), идентификацию и количественное определение метаболитов — с применением Chenomx NMR Suite 9.02 (“Chenomx Inc”, Канада), а также сопоставляя международные базы данных: Human Metabolome Database (<http://www.hmdb.ca/>), Biological Magnetic Resonance Data Bank (<http://www.bmrb.wisc.edu/metabolomics/>).

**Расчет показателей пищевой адекватности белковых компонентов рыбного сырья.** При оценке биологической ценности белковых компонентов сырья использовали следующие показатели и критерии, предложенные Липатовым с соавт. [18].

Коэффициент утилитарности  $j$ -ой незаменимой аминокислоты —  $\alpha_j$ :

$$\alpha_j = \frac{C_{\min}}{C_j}, \quad (1)$$

где  $C_{\min}$  — минимальный скор незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологической норме (эталону);  $C_j$  — скор  $j$ -ой незаменимой аминокислоты оцениваемого белка по отношению к физиологической норме (эталону).

Коэффициент рациональности аминокислотного состава —  $R_c$ , численно характеризующий сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону). В случае, когда  $C_{\min} \leq 1$ , коэффициент рациональности аминокислотного состава может быть рассчитан по следующей формуле:

$$R_c = \frac{\sum_{j=1}^n (\alpha_j A_j)}{\sum_{j=1}^n A_j}, \quad (2)$$

где  $A_j$  — массовая доля  $j$ -ой незаменимой аминокислоты в сырье, г/100 г белка.

Показатель “сопоставимой избыточности” содержания незаменимых аминокислот —  $\sigma$ , характеризующий суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых на анаболические нужды в таком количестве белка оцениваемого продукта, которое эквивалентно по их потенциально утилизируемому содержанию 100 г белка эталона:

$$\sigma = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j - C_{\min} \cdot A_j)}{C_{\min}}, \quad (3)$$

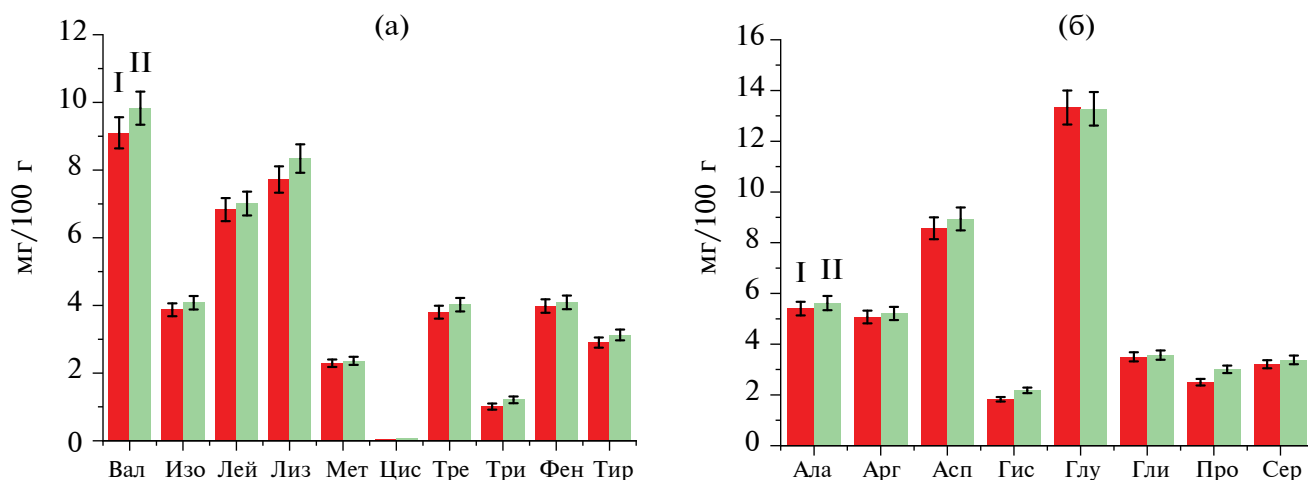


Рис. 1. Содержание незаменимых (а) и заменимых аминокислот (б) в белках образцов кеты № 5 (I) и № 10 (II) (среднее арифметическое  $\pm$  средноквадратичное отклонение).

где  $A_{ij}$  — массовая доля  $j$ -ой незаменимой аминокислоты, соответствующая физиологически необходимой норме (эталону), г/100 г белка.

В качестве идеального принят гипотетический белок, содержание незаменимых аминокислот в котором соответствует потребностям в аминокислотах человека в соответствии с рекомендуемым уровнем потребления пищевых и биологически активных веществ.

**Статистическая обработка.** Статистическую обработку полученных данных: расчет среднего арифметического и средноквадратичного отклонения проводили с помощью программы Origin PRO 2021. Достоверно различающиеся средние значения при  $p \leq 0.05$ , согласно распределению

Стьюдента, отмечены звездочкой. Все результаты приведены как средние арифметические  $\pm$  среднее квадратичное отклонение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки нутриентного профиля проведено определение химического состава мышечной ткани образцов рыб с нерестовыми изменениями и кеты “серебрянки”. Из полученных данных (табл. 1) видно, что кета с нерестовыми изменениями имела в составе мышечной ткани больше влаги и немного меньше белка, по сравнению с образцом кеты “серебрянки”. Содержание жира в образцах нерестовой кеты составляло  $4.00 \pm 0.18\%$ , а в кете “серебрянке”  $6.80 \pm 0.27\%$ .

Таблица 1. Химический состав мышечной ткани образцов кеты

№ образца	Пол рыбы	Массовая доля, %		
		вода	белок	липиды
Кета с нерестовыми изменениями				
1	Самец	$79.79 \pm 2.39$	$17.05 \pm 0.34$	$4.36 \pm 0.17$
2	Самка	$80.65 \pm 2.42$	$17.91 \pm 0.36$	$4.79 \pm 0.19$
3	Самка	$79.50 \pm 2.39$	$17.40 \pm 0.35$	$3.54 \pm 0.14$
4	Самка	$79.00 \pm 2.37$	$18.64 \pm 0.37$	$4.83 \pm 0.19$
5	Смешанная проба образцов 1–4 (в равных долях)	$79.02 \pm 2.37$ $(79.74 \pm 4.78)^*$	$17.55 \pm 0.36$ $(17.75 \pm 0.71)^*$	$4.00 \pm 0.18$ $(4.38 \pm 0.35)^*$
Кета “серебрянка”				
6	Самец	$72.98 \pm 2.92$	$20.31 \pm 0.47$	$6.71 \pm 0.27$
7	Самка	$73.24 \pm 2.93$	$20.98 \pm 0.42$	$6.58 \pm 0.26$
8	Самка	$71.84 \pm 2.87$	$21.12 \pm 0.43$	$7.10 \pm 0.28$
9	Самка	$73.04 \pm 2.92$	$20.34 \pm 0.41$	$6.90 \pm 0.28$
10	Смешанная проба образцов 6–9 (в равных долях)	$73.08 \pm 2.91$ $(75.78 \pm 5.82)^*$	$20.74 \pm 0.41$ $(20.69 \pm 0.86)^*$	$6.80 \pm 0.27$ $(6.82 \pm 0.55)^*$

\*В скобках указаны значения, полученные путем статистической обработки результатов измерений в четырех образцах соответствующей группы.

Результаты определения аминокислотного состава белка (рис. 1) свидетельствовали о том, что оба образца кеты имели полный набор незаменимых аминокислот и были близки по составу.

Анализ сбалансированности аминокислотного состава белка по отношению к эталону для двух видов кеты показал, что кета с нерестовыми изменениями имела значения  $\sigma = 10.65 \pm 0.53$ ,  $R_c = 0.68 \pm 0.03$ , а кета “серебрянка” —  $\sigma = 12.54 \pm 0.63$ ,  $R_c = 0.64 \pm 0.03$ . Суть качественной оценки сравниваемых белков с помощью формализованных показателей заключалось в том, что чем выше значение  $R_c$  или меньше значение  $\sigma$ , (в идеале  $R_c = 1$ ,  $\sigma = 0$ ), тем лучше сбалансированы незаменимые аминокислоты и тем рациональнее они могут быть использованы организмом.

Следовательно, мышечная ткань кеты с нерестовыми изменениями, так же как и кеты “серебрянки” имела близкую сбалансированность незаменимых аминокислот и могла быть источником полноценного белка.

Значительный интерес при оценке нутриентного профиля мышечной ткани кеты различного биологического состояния представляли жирнокислотный и фракционный состав липидов, так как рыбное сырье с позиции здорового питания рассматривается в качестве источника полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Хорошо известно, что состав липидов рыбы меняется в зависимости от возраста, физиологического состояния, характера питания и района обитания. Установлено, что относительное содержание фосфолипидов в тканях рыбы на протяжении года остается постоянным, в то время как содержание нейтрального жира (триглицеридов) подвержено колебаниям, в частности, в период нагула рыбы — сильно увеличивается, а при истощении в период нереста — уменьшается. Как видно из данных фракционного состава липидов (табл. 2), при относительно небольшом изменении фосфолипидов в мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями

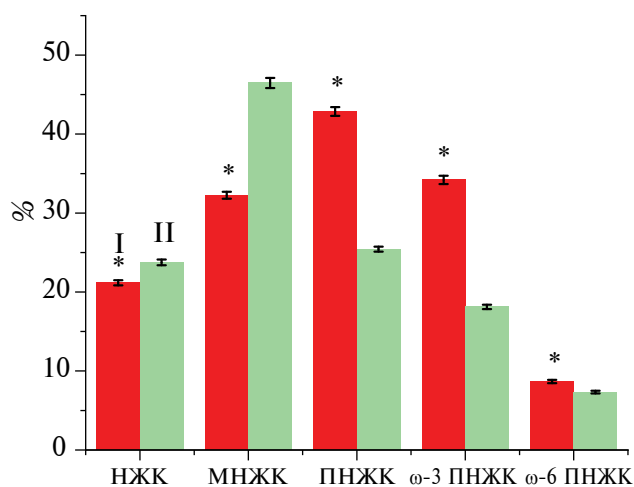


Рис. 2. Суммарное содержание насыщенных, мононенасыщенных, ПНЖК, ПНЖК омега-3, ПНЖК омега-6 в образцах кеты № 5 (I) и № 10 (II).

наблюдалось снижение содержания триглицеридов. Увеличение доли свободных жирных кислот в образцах нерестовой кеты свидетельствовало о более глубоких процессах, происходящих в нерестовой рыбе, что, по-видимому, объяснялось протекающим некротическим гидролизом в мышцах, по сравнению с кетой “серебрянкой” [19].

Анализ жирнокислотного состава липидов (рис. 2) показал, что происходило изменение степени насыщенности жиров, которое выражалось в увеличении относительного содержания ненасыщенных кислот при истощении рыбы в период интенсивного развития гонад и нереста, что согласовывалось с ранее проведенными исследованиями [20]. Из представленных данных видно, что мышечная ткань кеты с нерестовыми изменениями содержала значительное количество омега-3 ПНЖК, около 30% от суммы жирных кислот, что было выше, чем в кете “серебрянке”. Вследствие высокой ненасыщенности жира, который содержался в мясе кеты с нерестовыми изменениями,

Таблица 2. Фракционный состав липидов образцов кеты, %

Наименование фракции	Образец № 5	Образец № 10
Полярные липиды (фосфолипиды)	7.0 ± 0.1	8.3 ± 0.1
1,2-Диглицериды	3.4 ± 0.3	1.4 ± 0.7
1,3-Диглицериды + стеринны (холестерин)	1.0 ± 0.6	2.4 ± 0.3
Свободные жирные кислоты	32.9 ± 3.1	17.3 ± 5.3
Триглицериды	53.2 ± 4.8	65.8 ± 3.4
Воска	—	2.5 ± 0.8
Эфиры стериннов	0.3 ± 0.2	0.5 ± 0.6
Углеводороды	0.9 ± 0.4	—
Другое	1.2 ± 1.0	1.7 ± 1.7

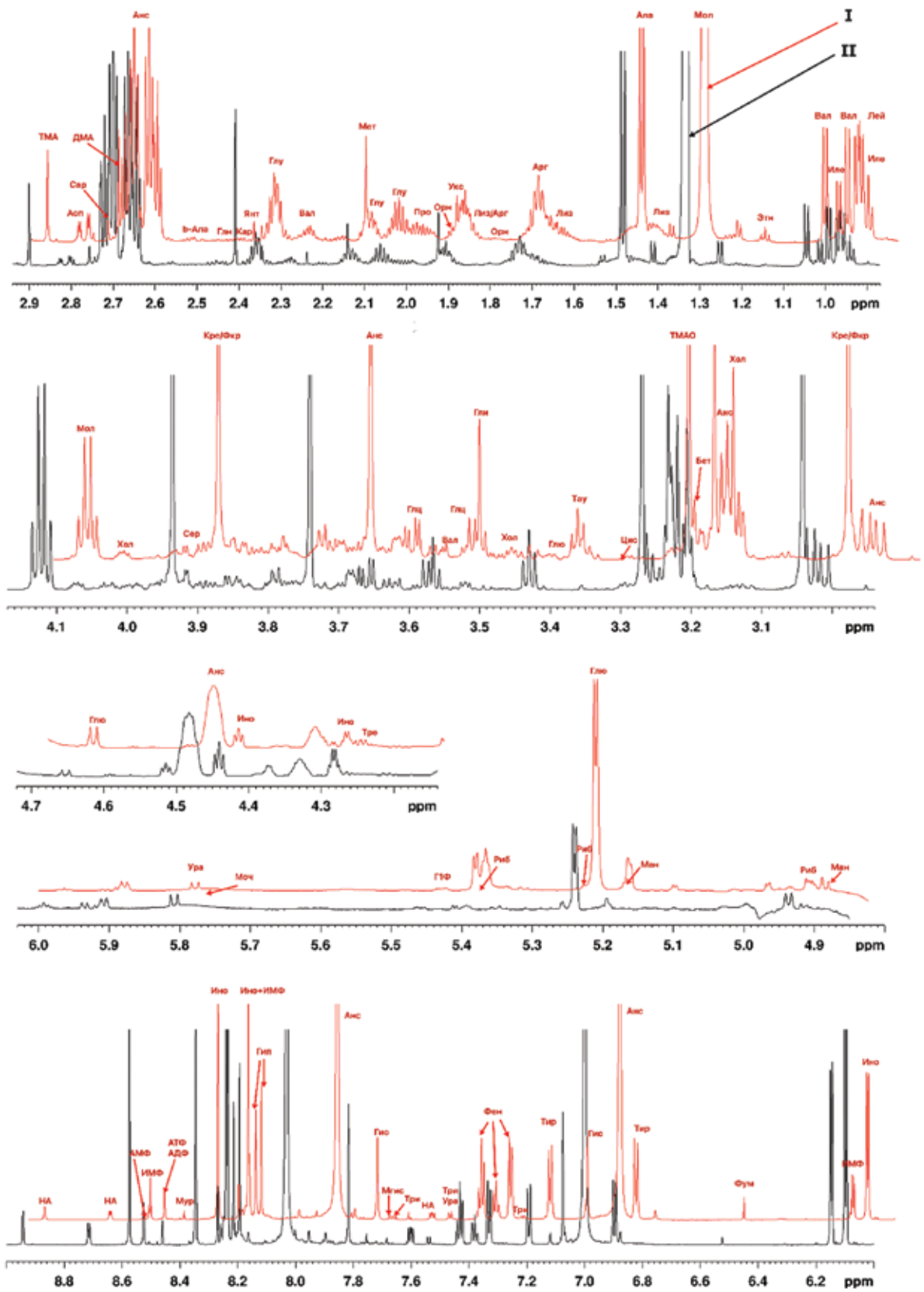


Рис. 3. Спектры ЯМР <sup>1</sup>H экстрактов мышечной ткани образцов кеты № 5 (I) и № 10 (II).



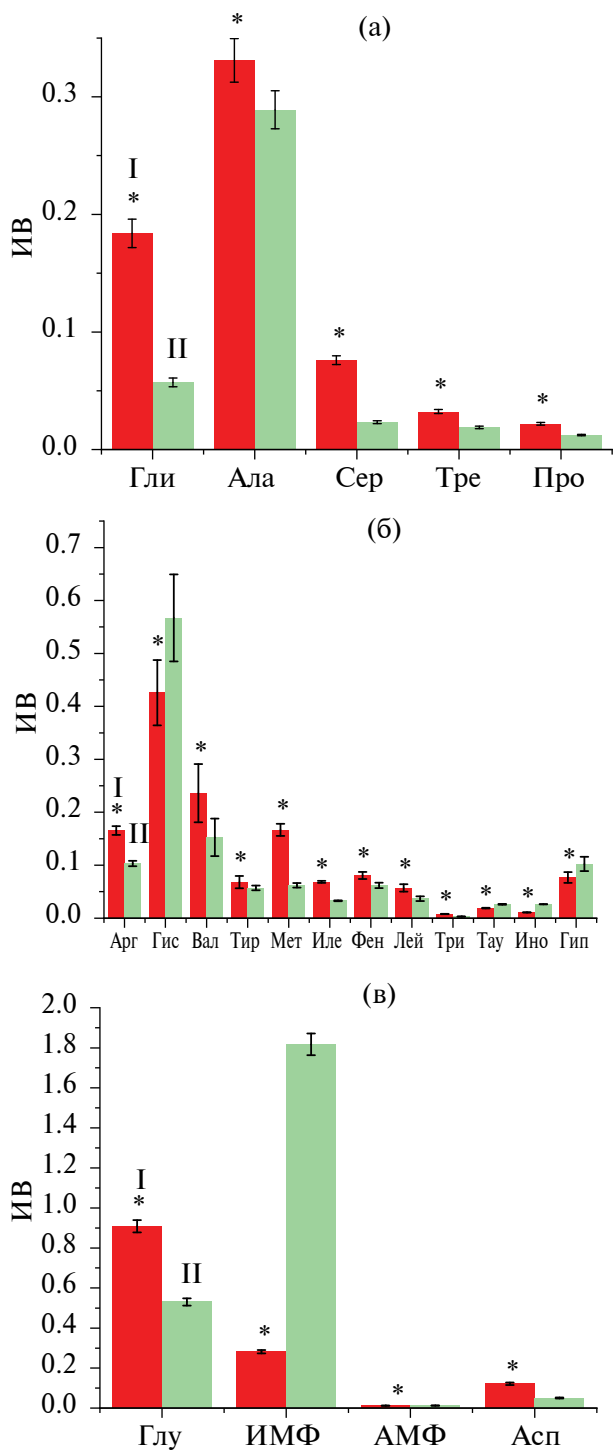


Рис. 4. Показатели индекса вкуса образцов кеты № 5 (I) и № 10 (II): сладкий (а), горький (б), умами (в).

он легко подвергался окислению и полимеризации, что должно учитываться при обеспечении условий хранения сырья.

Сравнение нутриентного профиля мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями и кеты “серебрянки” показало, что нерестовые изменения

практически не приводили к ухудшению пищевой и биологической ценности кеты. Однако по ряду технологических показателей, таких как бледный цвет мяса, ослабленная консистенция, кета с нерестовыми изменениями уступала кете “серебрянке” и требовала специальных технологических подходов при ее переработке.

Для получения дополнительной информации об изменениях мышечной ткани кеты различного биологического состояния был исследован метаболический профиль путем определения низкомолекулярных органических соединений — метаболитов, как промежуточных, так и конечных продуктов обмена, в мышечной ткани образцов методом спектроскопии ЯМР (рис. 3).

Идентифицировано и определено количественное содержание ряда аминокислот, нуклеотидов, нуклеозидов, азотистых соединений (табл. 3). Отмечено, что увеличение содержания таких метаболитов, как Асп, Глу, Иле, Лей, Тре, Сер, Лиз, характерно для кеты с нерестовыми изменениями. Кроме того, показателем нерестового состояния рыбы было повышенное количество глюкозы, которое составляло  $42.39 \pm 2.12$  мг/100 г, по сравнению с содержанием в рыбе “серебрянке” —  $13.45 \pm 0.67$  мг/100 г. Такое отличие в содержании Глю закономерно и объясняется ограниченным питанием рыбы во время нерестовой миграции.

При изучении степени деградации миофибрилярного белка во время нерестовой миграции кеты установлено, что уровень Мгис повышается во время нерестовой миграции. Согласно полученным данным (табл. 3) в кете “серебрянке” содержалось Мгис  $0.21 \pm 0.01$  мг/100 г, в нерестовой рыбе —  $1.23 \pm 0.06$  мг/100 г.

Результаты анализа метаболического профиля образцов мышечной ткани кеты были использованы для характеристики кеты с нерестовыми изменениями, по сравнению с кетой “серебрянкой” в качестве пищевого сырья. Как было показано выше, по таким органолептическим показателям, как цвет и консистенция, кета с нерестовыми изменениями уступала кете “серебрянке”. Однако представляло большой интерес объективно оценить динамику изменения вкуса в образцах нерестовой кеты и кеты “серебрянки” путем анализа выявленных метаболитов. Согласно литературным данным, накопление таких аминокислот, как Про, Тре, Сер, Ала и Гли придает сладкий вкус продукту, в то время как Тау, Три, Лей, Фен, Иле, Мет, Тир, Вал, Арг, Гис, а также соединения Ино и Гип увеличивали привкус горечи [21, 22]. Особое внимание заслуживал анализ метаболитов, которые обладали вкусом умами, который был предложен в начале XX века, как отличающийся от соленого, сладкого, кислого и горького под названием “вкусный вкус”. В результате было установлено, что вкус умами определяется в основном содержанием Глу или ее солей и ИМФ, но содержание

Таблица 3. Содержание идентифицированных метаболитов в образцах кеты

№ п/п	Метаболит	Структурный фрагмент	<sup>1</sup> H химические сдвиги (ppm)	Образец № 5, мг/100 г	Образец № 10, мг/100 г
Незаменимые аминокислоты					
1	Лей	δCH <sub>3</sub> ; δ'CH <sub>3</sub>	<b>0.95 (t)</b>	10.87±1.33*	7.00±0.85
2	Иле	δCH <sub>3</sub> ; β'CH <sub>3</sub>	0.94 (t); 1.01 (d)	6.17±0.16*	2.95±0.08
3	Вал	γCH <sub>3</sub> ; γ'CH <sub>3</sub>	0.99 (d); <b>1.04 (d)</b>	9.44±2.20*	6.10±1.42
4	Мет	SCH <sub>3</sub>	<b>2.14 (s)</b>	5.00±0.35*	1.86±0.13
5	Лиз	γCH <sub>2</sub> ; δCH <sub>2</sub> ; βCH <sub>2</sub>	1.47 (m); <b>1.73 (m)</b> ; 1.91 (m)	18.67±1.69*	9.91±0.90
6	Тре	βCH	<b>4.26 (m)</b>	8.40±0.45*	4.90±0.26
7	Фен	2×CH, ring; CH; 2×CH, ring	<b>7.33 (d)</b> ; 7.37(t); <b>7.43 (t)</b>	7.26±0.60*	5.58±0.46
8	Три	CH, ring; CH, ring; CH, ring;	7.28 (t); 7.54 (d); 7.73 (d)	0.70±0.03*	0.28±0.01
9	Цис	2×SCH <sub>2</sub>	3.34 (m)	2.48±0.12*	0.24±0.01
10	Тир	2×CH, ring; 2×CH, ring	6.89 (d); <b>7.19 (d)</b>	6.59±0.50*	5.52±0.42
Заменимые аминокислоты					
11	Ала	βCH <sub>3</sub>	<b>1.48 (d)</b>	19.86±1.11*	17.34±0.97
12	Гис	NCH; NCHN	7.06 (s); <b>7.79 (s)</b>	8.52±1.24*	11.35±1.65
13	Гли	αCH <sub>2</sub>	<b>3.56 (s)</b>	23.90±1.58*	7.42±0.49
14	Таурин	CH <sub>2</sub> ; SCH <sub>2</sub>	3.25 (t); <b>3.42 (t)</b>	35.46±1.06*	48.91±1.47
15	Глн	γCH <sub>2</sub>	2.45 (m)	0.61±0.04*	3.05±0.19
16	Глу	βCH <sub>2</sub> ; γCH <sub>2</sub>	2.08 (m); <b>2.35 (t)</b>	27.26±0.93*	15.92±0.54
17	Асп	βCH <sub>2</sub>	2.68 (m); <b>2.81 (dd)</b>	12.17±0.61*	5.06±0.25
18	Арг	γCH <sub>2</sub> ; βCH <sub>2</sub>	<b>1.69 (m)</b> ; 1.91 (m)	8.28±0.41*	5.16±0.26
19	Про	CH; NCH	<b>2.01 (m)</b> ; 3.38 (m)	6.58±0.33*	3.68±0.18
20	Сер	βCH <sub>2</sub>	3.96 (m)	11.40±0.57*	3.49±0.17
21	Орн	γCH <sub>2</sub> ; βCH <sub>2</sub>	<b>1.79 (m)</b> ; 1.93 (m)	2.93±0.15*	1.12±0.06
Дипептиды					
22	Ансерин	CH <sub>2</sub> ; CH <sub>2</sub> ; CH <sub>2</sub> ; CH <sub>3</sub> ; CH; CH, ring; NCHN	2.67 (m); 3.09 (dd); 3.21 (m); <b>3.71 (s)</b> ; 4.47 (s уширенный); 6.95 (s); 7.92 (s)	287.10±4.31*	353.90±5.31
Органические кислоты					
23	Молочная кислота	βCH <sub>3</sub> ; αCH	1.33 (d); <b>4.12 (q)</b>	189.04±3.58*	348.16±6.60
24	Уксусная кислота	CH <sub>3</sub>	<b>1.91 (s)</b>	0.61±0.13*	1.31±0.28
25	Янтарная кислота	2×CH <sub>2</sub>	<b>2.40 (s)</b>	0.59±0.14*	5.59±1.32
26	Фумаровая кислота	2×CH	<b>6.52 (s)</b>	0.57±0.03*	0.16±0.01
Углеводороды					
27	Г1Ф	C <sub>1</sub> H	<b>5.45 (q)</b>	0.46±0.03*	0.26±0.02
28	Глюкоза (α + β)	C <sub>4</sub> H; C <sub>5</sub> H; C <sub>1</sub> H; C <sub>1</sub> H	<b>3.42 (m)</b> ; 3.65 (m); 4.65 (d); 5.23 (d)	42.39±2.12*	13.45±0.67
29	Рибоза	CH	<b>4.93 (d)</b> ; 5.25 (s); 5.38 (d)	3.50±0.18*	3.20±0.16
30	Манноза	CH; CH	<b>4.90 (s)</b> ; 5.19 (s)		0.96±0.18
Азотистые основания					
31	ТМА	3×CH <sub>3</sub>	<b>2.90 (s)</b>	0.83±0.03	0.86±0.03



Таблица 3. Окончание.

№ п/п	Метаболит	Структурный фрагмент	<sup>1</sup> H химические сдвиги (ppm)	Образец № 5, мг/100 г	Образец № 10, мг/100 г
32	ТМАО	3×CH <sub>3</sub>	<b>3.26 (s)</b>	33.70±0.36*	42.08±0.44
33	ДМА	2×CH <sub>3</sub>	<b>2.73 (s)</b>	1.02±0.05*	0.68±0.03
34	Бетаин	3×CH <sub>3</sub>	<b>3.25 (s)</b>	1.15±0.06	1.17±0.06
35	Холин	3×CH <sub>3</sub> ; αCH <sub>2</sub> ; βCH <sub>2</sub>	3.20 (s); <b>3.51 (t)</b> ; 4.07 (m)	10.69±0.23	10.72±0.23
Нуклеотиды					
36	АТФ+АДФ	CH, ring CH, ring	8.27 (s) <b>8.52 (s)</b>	2.45±0.12*	8.43±0.42
37	АМФ	CH, ring	8.60 (s)	0.15±0.01	0.16±0.01
38	ИМФ	C <sub>1</sub> H, ribose; CH, ring; CH, ring	6.14 (d); 8.23 (s); <b>8.57 (s)</b>	7.05±0.21*	45.43±1.36
39	Инозин	C <sub>4</sub> H, ribose C <sub>3</sub> H, ribose C <sub>1</sub> H, ribose; CH, ring	4.28 (q); 4.44 (t); 6.09 (d); <b>8.34 (s)</b>	27.98±0.45*	67.78±1.08
40	Гип	NCHN; NCHN	<b>8.19 (s)</b> ; 8.21 (s)	9.41±1.24*	12.53±0.65
Прочие					
41	Этанол	βCH <sub>3</sub>	1.18 (t)	0.63±0.03*	0.14±0.01
42	Саркозин	CH <sub>3</sub> ; CH	<b>2.75 (s)</b> ; 3.61(s)	0.20±0.01*	0.22±0.01
43	Кре/Фкр	NCH <sub>3</sub> ; NCH <sub>2</sub>	3.04 (s); <b>3.93 (s)</b>	159.83±2.70*	196.91±3.33
44	Карнитин	CH; CH	<b>2.44 (m)</b> ; 4.56 (m)	1.32±0.07*	1.09±0.05
45	Цитруллин	NH	<b>6.39 (s)</b> (уширенный)	1.45±0.07*	0.27±0.01
46	Глицерол	CH <sub>2</sub> ; CH <sub>2</sub>	3.56 (m); <b>3.66 (dd)</b>	33.69±1.68*	25.96±1.30
47	Урацил	CH, ring; CH, ring	<b>5.80 (d)</b> ; 7.53 (d)	0.42±0.02*	0.55±0.03
48	Мочевина	2×NH <sub>2</sub>	<b>5.79 (s)</b> (уширенный)	0.63±0.03*	1.14±0.06
49	β-Аланин	CH <sub>2</sub>	<b>2.55 (t)</b>	0.39±0.08*	0.71±0.15
50	Мгис	NCH; NCHN	7.01 (s); <b>7.67 (s)</b> ;	1.23±0.08*	0.21±0.01
51	Никотин-амид	CH, ring; NCH, ring; NCH, ring	7.60 (m); <b>8.70 (d)</b> ; 8.94 (s)	1.29±0.04*	3.02±0.09

Примечание. Жирным шрифтом отмечены значения химического сдвига соединения, принятого для количественного расчета. Г1Ф — глюкоза-1-фосфат; Гип — гипоксантин; ДМА — диметиламин; Кре — креатин; Мгис — метилгистидин; Мур — муравьиная кислота; ТМА — триметиламин; ТМАО — триметиламинооксид; Фкр — креатинфосфат.

АМФ и Асп также учитываются в комплексной оценке вкуса умами [23].

Для оценки вклада основных метаболитов в насыщенность вкуса образцов мышечной ткани проведен расчет индекса вкуса (ИВ) каждого метаболита путем отношения содержания соединения к значению порога его вкуса [24]. Порог вкуса свободных аминокислот в соответствии с литературными данными широко используется для комплексной оценки различной пищевой продукции [25].

Изменения значений индекса вкуса (рис. 4) показали, что наибольший вклад в показатель вкуса образцов мышечной ткани кеты вносят соединения,

придающие вкус умами. При этом суммарный показатель индекса вкуса умами для мяса кеты “серебрянки” составлял  $2.43 \pm 0.06$ , а для кеты с нерестовыми изменениями —  $1.43 \pm 0.03$ , что свидетельствовало о сохранении достаточно высокого уровня вкусовых качеств образца, который обеспечивался содержанием глютаминовой кислоты, известной как основная вкусовая добавка.

Для комплексной оценки вкуса каждого образца был рассчитан индекс вкуса как сумма всех составляющих: для мышечной ткани кеты “серебрянки” —  $4.06 \pm 0.11$ , а для кеты с нерестовыми изменениями —  $3.46 \pm 0.09$ . Из полученных

данных следует, что по вкусовым ощущения мышечная ткань кеты “серебрянки” имела несколько более насыщенный вкус по сравнению с кетой, имеющей нерестовые изменения, что объяснялось расходом основных соединений на построение гонад в нерестовый период. Однако суммарный индекс вкуса мяса кеты с нерестовыми изменениями остался достаточно высоким, превышающим аналогичный показатель, рассчитанный для семги, горбуши [24].

С позиции оценки пищевой ценности полученные результаты свидетельствовали о небольшом ухудшении потребительских качеств мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями, которые обусловлены уменьшением содержания липидов и накоплением свободных жирных кислот при относительно стабильной биологической ценности белка. Однако метаболический профиль образцов кеты показал значительное накопление ряда свободных аминокислот в мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями, по сравнению с кетой “серебрянкой”. Расчет индекса вкуса показал, что по вкусовым ощущениям мышечная ткань кеты “серебрянки” имела более насыщенный вкус, по сравнению с кетой, имеющей нерестовые изменения. Увеличение содержания Асп, Глу и Глю и накопление Мгис характерно для образцов кеты с нерестовыми изменениями.

На основании результатов анализа пищевой ценности и метаболического профиля мышечной ткани кеты с нерестовыми изменениями разработаны рекомендации по ее рациональному использованию, предусматривающие производство пищевого рыбного фарша для последующего производства широкого ассортимента специализированной пищевой продукции с заданными свойствами путем введения добавок, стабилизирующих консистенцию, цвет, а также при изготовлении функциональных пищевых добавок [26].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яновская Н. В., Павлова А. О., Кононова Л. А., Бондаренко Г. А., Григорьева Е. Г., Селиванова Т. А. Статистические сведения по рыбной промышленности России. / Ред. К. В. Колончина. М.: ВНИРО, 2022. 86 с.
2. Макоедов А. Н., Макоедов А. А. // Известия ТИНРО. 2022. Т. 202. № 2. С. 255–267. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-255-267>
3. Животовский Л. А., Рубцова Г. А., Каев А. М., Шитова М. В., Смирнов Б. П., Точилина Т. Г., Афанасьев К. И. // Вопросы ихтиологии. 2022. Т. 62. № 3. С. 335–344. <https://doi.org/10.31857/S0042875222030249>
4. Кловач Н. В., Леман В. Н., Ельников А. Н., Вараксин И. А. // Рыбное хозяйство. 2018. № 6. С. 42–47.
5. Животовский Л. А., Федорова Л. К., Шитова М. В., Воронова Л. А., Борзов С. И., Погодин В. П., Рубцова Г. А., Афанасьев К. И. // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11. № 2 (42). С. 313–326.
6. Reid R. A., Durance T. D., Walker D. C., Reid P. E. // Food Research International. 1993. V. 26. P. 1–9. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(93\)90099-5](https://doi.org/10.1016/0963-9969(93)90099-5).
7. Холоша О. А., Таргунакова Е. С. // Рыбное хозяйство. 2013. № 5. С. 126–128.
8. Горбатенко К. М., Мельников И. В., Овсянников Е. Е., Овсянникова С. Л. // Известия ТИНРО. 2019. Т. 197. С. 152–165. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-197-152-165>
9. Hatano M., Mizogami M., Sugawara A., Ando S. // Nippon Suisan Gakkaishi. 1989. V. 55. P. 1623–1627.
10. Choon-Kyu P., Sang-Bo S., Eung-Ho L. // Kor. J. Fish. Soc. 1996. V. 29. P. 51–63.
11. Shirai T., Fuke S., Yamaguchi K., Konosu, S. // Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. 1983. V. 74. № 4. P. 685–689. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(83\)90128-1](https://doi.org/10.1016/0305-0491(83)90128-1)
12. Ando S., Hatano M. // Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 1986. V. 52. № 7. P. 1237–1241.
13. Гончаров Н. В., Уколов А. И., Орлова Т. И., Мигаловская Е. Д., Войтенко Н. Г. // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135. № 1. С. 3–17.
14. Kaneko G., Ushio H., Ji H. // Fish Sci. 2019. V. 85. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12562-018-1266-6>
15. Lulijwa R., Alfaro A. C., Young T. // Rev. Aquac. 2022. V. 14. P. 547–577. <https://doi.org/10.1111/raq.12612>
16. Скурихин И. М., Тутельян В. А. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов. М.: Медицина, 1998. 342 с.
17. Кейтс М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир, 1975. 300 с.
18. Лупатов Н. Н., Сажинев Г. Ю., Башкиров О. И. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 8. С. 11–14.
19. Ando S., Hatano M., Zama K. // Comp. Biochem. Physiol. B. 1985. V. 80. P. 303–307. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(85\)90137-3](https://doi.org/10.1016/0305-0491(85)90137-3)
20. Ando S. // Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University. 1986. V. 33 (1–2). P. 1–95.
21. Camacho C., Correia T., Teixeira B., Mendes R., Valente Luísa M. P. et al. // Food Chemistry. 2023. V. 404. Part A. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134505>.
22. Xue Q., Xue C., Luan D., Wen Y., Bi S., Wei Z., Mou H. // LWT — Food Sci. Technol. 2021. V. 146. P. 111466. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111466>
23. Ninomiya K. // Food Reviews International. 2002. V. 18. № 1. P. 23–38. <https://doi.org/10.1081/FRI-120003415>
24. Heu M. S., Choi Byeong-Dae, Kim K. H., Kang S. In., Kim Y. J., Kim Jin-Soo // Kor. J. Fish. Aquat. Sci. 2015. V. 48. № 1. P. 16–25. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0016>

25. Kato H., Rhue M. R., Nishimura T. Role of Free Amino Acids and Peptides in Food Taste. Eds R. Teranishi, R. G. Buttery, F. Shahidi Flavor Chemistry American Chemical Society, 1989. 158 p.
26. Abramova L. S., Kozin A. V. Nutritional and Biological Value of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) with Spawning Changes. // Proceedings of the International Conference "Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration", 2020. P. 196–203.

## Assessment of the Nutrient and Metabolic Profile of the Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*)

L. S. Abramova<sup>a, \*</sup> and A. V. Kozin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,  
Moscow, 105187 Russia

\*e-mail kozin82a@gmail.com

An analysis of the biological value of chum salmon showed that, in terms of the balance of the amino acid composition of the protein, chum salmon with spawning changes is not inferior to chum salmon without spawning changes (chum salmon "silver"). A higher content of polyunsaturated fatty acids in total lipids, including omega-3, was noted in chum salmon with spawning changes compared to chum salmon "silver". The metabolic profile of chum salmon samples obtained by NMR spectroscopy showed that the levels of Asp, Glu and Glc markedly increase during spawning migration, which is explained by the limited feeding of fish. The total taste index was calculated of chum salmon «silver», which was  $4.06 \pm 0.11$ , and that chum salmon with spawning changes was  $3.46 \pm 0.09$ , therefore, according to taste sensations chum salmon «silver» has a richer taste compared to chum salmon with spawning changes. The results of the analysis of the nutritional value and metabolic profile of chum salmon with spawning changes can be used in the manufacture of minced fish for the subsequent production of specialized food products by introducing functional additives that balance the consistency, color, and also give a functional orientation.

*Keywords:* chum salmon, spawning changes, biological value, metabolic profile, NMR spectroscopy, taste index.