

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-350-357>

Поступила 02.08.2023

Поступила после рецензирования 01.09.2023

Принята в печать 08.09.2023

© Абрамова Л. С., Козин А. В., Гусева Е. С., Лаврикова К. А., 2023



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

Научная статья

Open access

ОЦЕНКА ВКУСОВЫХ КАЧЕСТВ ЛОСОСЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

Абрамова Л. С., Козин А. В.*, Гусева Е. С., Лаврикова К. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

свободные
аминокислоты,
термическая
обработка, бульон,
нуклеотиды, вкус
умами, индекс вкуса,
порог вкуса

Методом ^1H -ЯМР-спектроскопии проведено изучение метаболического профиля мышечной ткани атлантического лосося в процессе термической обработки и при хранении для оценки вкусовых качеств продукции. Установлено, что при варке рыбы на пару количество таких соединений, как триметиламин (ТМА), таурин (Tau), глутаминовая кислота (Glu), лизин (Lys), пролин (Pro), серин (Ser), γ -аминомасляная кислота (GABA), креатинин (Cret), увеличивается в бульоне, по сравнению с сырой рыбой, а в вареной рыбе накапливается содержание Тау и Cret. Содержание ТМА, который придает рыбный запах продукции, резко возрастает в вареной рыбе независимо от времени варки, одновременно наблюдается увеличение в вареной рыбе диметиламина (DMA). Проведена обработка массива данных содержания метаболитов методом главных компонент, и выявлено четкое разделение образцов рыбы и бульона, а также отличие рыбы длительного хранения от исходного образца. Вкусовые качества рыбного сырья до и после термической обработки оценены с использованием показателей индекса вкуса (ИВ) основных соединений, характеризующих сладкий, горький, кислый вкус, а также вкус умами. Для расчетов взяты значения порога вкуса соединений, которые широко применяются для комплексной оценки различной пищевой продукции. Значение ИВ для бульона при варке лосося атлантического на пару в течение 30 мин составляло $6,27 \pm 0,06$, а с увеличением времени до 60 мин уменьшилось до $5,61 \pm 0,09$. При длительном хранении рыбы происходило резкое снижение показателя вкуса умами и увеличение горького вкуса, что обусловлено гидролитическими процессами, проходящими при порче продукта. Сделан вывод, что метод ЯМР-спектроскопии позволяет количественно оценить изменение основных метаболитов в образцах лосося атлантического в процессе термической обработки и при хранении. Также установлено, что показатели ИВ, рассчитанные по содержанию свободных аминокислот, нуклеотидов и органических кислот, дают объективную характеристику вкусовых качеств продукции.

Received 02.08.2023

Accepted in revised 01.09.2023

Accepted for publication 08.09.2023

© Abramova L. S., Kozin A. V., Guseva E. S., Lavrikova K. A., 2023

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

Original scientific article

Open access

ASSESSMENT OF THE PALATABILITY OF ATLANTIC SALMON BY NMR SPECTROSCOPY

Liubov S. Abramova, Andrei V. Kozin*, Elena S. Guseva, Kira A. Lavrikova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

KEY WORDS:

free amino acids,
heat treatment, broth,
nucleotides, umami
taste, taste index,
taste threshold

ABSTRACT

^1H -NMR spectroscopy was used to study the metabolic profile of Atlantic salmon muscle tissue during heat treatment and storage to assess the taste of products. It has been established that when steaming fish, the amount of compounds such as trimethylamine (TMA), taurine (Tau), glutamic acid (Glu), lysine (Lys), proline (Pro), serine (Ser), γ -aminobutyric acid (GABA), creatinine (Cret) increased in broth compared to raw fish, and Tau and Cret accumulated in cooked fish. The content of TMA, which gives a fishy smell to the product, increased dramatically in cooked fish, regardless of the cooking duration, and at the same time an increase in dimethylamine (DMA) was observed in cooked fish. The processing of the data array of the content of metabolites by the method of principal components was carried out and a clear separation of fish and broth samples was revealed, as well as the difference between fish stored for a long time and the original sample. The taste qualities of fish raw materials before and after heat treatment were evaluated using the taste active value (TAV) of the main compounds characterizing sweet, bitter, sour tastes, as well as umami taste. The values of the taste threshold of compounds, which are widely used for a comprehensive assessment of various food products, were taken for calculations. The TAV for the broth when steaming Atlantic salmon for 30 min was 6.27 ± 0.06 , and with an increase in time to 60 min, it decreased to 5.61 ± 0.09 . During long-term storage of fish, there was a sharp decrease in the umami taste index and an increase in bitter taste, which is due to hydrolytic processes occurring during product spoilage. It is concluded that the NMR spectroscopy method makes it possible to quantify the change in the main metabolites in Atlantic salmon samples during heat treatment and storage, and TAV calculated from the content of free amino acids, nucleotides and organic acids provides an objective description of the taste of the product.

1. Введение

В последнее время все больше внимания уделяется решению проблемы обеспечения потребителя безопасной продукцией, отвечающей его запросам и ожиданиям. Вкусовые качества продукта (вкус, аппетитность) являются значимым показателем, определенным в стандарте ГОСТ ISO 5492–2014¹, согласно которому вкусовые качества отражают приятные свойства продукта и его пригодность

для потребления в пищу или питье. Особенно важно оценить эту составляющую качества продукции в процессе технологической или кулинарной обработки при изменяющихся условиях хранения для оценки хранимоспособности продукции. Наиболее доступным является органолептический анализ, то есть исследование с помощью органов чувств, но главным недостатком такого анализа является субъективность получаемых результатов.

Использование современной приборной базы для оценки вкусовых качеств продукции является важным направлением как в научных исследованиях, так и в производственной практике. Однако необ-

¹ ГОСТ ISO 5492–2014 «Органолептический анализ. Словарь» — М.: Стандартинформ, 2020. — 49 с.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Абрамова, Л. С., Козин, А. В., Гусева, Е. С., Лаврикова, К. А. (2023). Оценка вкусовых качеств лосося атлантического методом ЯМР-спектроскопии. *Пищевые системы*, 6(3), 350–357. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-350-357>

FOR CITATION: Abramova, L. S., Kozin, A. V., Guseva, E. S., Lavrikova, K. A. (2023). Assessment of the palatability of Atlantic salmon by NMR spectroscopy. *Food Systems*, 6(3), 350–357. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-350-357>

ходимо обеспечить создание биосенсоров, мультисенсорных систем, а также разработать спектроскопические методы анализа [1,2].

В практике исследований находит все большее применение мультисенсорная система типа «электронный язык», имеющая различное целевое назначение, в том числе и для оценки пищевой продукции в процессе кулинарной обработки [3,4]. В настоящее время указанные устройства пока не получили широкого распространения в практических приложениях по ряду причин, главным образом обусловленных сложностью постоянной многомерной калибровки, необходимой при решении специальной задачи [5].

Развивающимся направлением исследований для объективной оценки пищевой продукции является изучение роли свободных аминокислот, пептидов, органических кислот при исследовании вкусовых качеств продукта. Проведен анализ влияния циклического изменения температуры хранения мороженого филе тилапии с -20°C до -10°C на вкусовые качества продукции путем определения содержания свободных аминокислот методом многомерной инфракрасной спектроскопии. Установлено, что после девятого цикла изменения температуры хранения общее содержание свободных аминокислот увеличилось в 1,30 раза, достигнув максимального уровня ($611,16 \pm 73,60$ мг/100 г); в том числе возросло количество аминокислот, придающих продукции вкус умами [6]. На примере оценки интенсивности вкуса супа из баранины показано, что добавление курдючного жира и экстракта перца непальского приводит к усилению вкуса за счет содержания треонина (Thr), аспарагиновой кислоты (Asp) и пяти органических кислот: щавелевой, молочной (La), лимонной, янтарной (SA) и аскорбиновой [7]. При варке говядины добавление специй, соли и сахарозы способствовало увеличению содержания свободных аминокислот в говяжьем бульоне и усилению его вкуса. Значения индекса вкуса Asp, Glu, Pro, аланина (Ala), валина (Val), метионина (Meth), аргинина (Arg) и винной кислоты были больше 1 в образце бульона, сваренного с добавлением специй и масла [8]. Исследовано влияние методов обработки на вкусовые качества ветчины путем определения метаболического профиля продукции и оценки вклада метаболитов на показатели качества ветчины, полученной как по традиционной технологии, так и с использованием новых технологических подходов. Установлено, что Glu, La, глицин (Gln), ансерин (Ans) и креатин (Cre) вносят наибольший вклад в интенсивность вкуса и насыщенность ветчины, изготовленной по усовершенствованному способу [9]. Динамика изменения вкуса ветчины из свиной корейки исследована с использованием современных сенсорных технологий, таких как «электронный нос» и «электронный язык», и подтверждена результатами определения свободных аминокислот и расчетом индекса вкуса. Результаты показали, что общее содержание свободных аминокислот достигло максимального значения на 35-й день созревания ветчины, а аминокислоты, придающие продукту вкус умами, имели наибольшие значения на всех этапах изготовления ветчины. Установлено, что индекс вкуса аминокислот достоверно коррелирует с сенсорной оценкой ветчины, проведенной с использованием «электронного языка» [10].

Согласно литературным данным, наличие аминокислот Pro, Thr, Ser, Ala и глутамина (Glu) придает сладкий вкус продукту, в то время как Tau, триптофан (Trp), лейцин (Leu), фенилаланин (Phe), изолейцин (Ile), Meth, тирозин (Tyr), Val, Arg, гистидин (His), а также соединения инозин (Ino) и гипоксантин (Hx) усиливают привкус горечи [11,12,13]. Наибольший вклад в формирование вкуса продукта вносят аминокислоты, образующие вкус умами, который определяется в основном содержанием Glu или ее солей, а также инозин-5-монофосфатом (IMP). Присутствие в составе Asp также учитывается в комплексной оценке вкуса умами [14]. При изучении вкуса пищевых продуктов широко применяется метод расчета ИВ исходя из содержания свободных аминокислот и нуклеотидов. Этот показатель отражает вклад отдельного соединения в общий вкус продукта. Он определяется как отношение концентрации соединения в продукте к его пороговому значению (к минимальной концентрации, при которой соединение может быть воспринято) [15]. Такой подход был принят для исследования зависимости изменения химических показателей икры морского ежа в процессе холодильного хранения и общего вкуса продукта. Показано, что аминокислоты, придающие сладкий вкус, умами и горечь вносят значительный вклад во вкусовое восприятие продукта в целом, в том числе и в процессе хранения [11].

Проведена оценка компонентов вкуса при классификации 29 специй с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) путем определения содержания свободных аминокислот, нуклеотидов и органических кислот в этих специях и расчета индекса вкуса каждого компонента [16]. Результаты показали значительные различия в общем количестве свободных аминокислот

(1,12–31,59 г/кг), органических кислот (9,63–71,90 г/кг) и нуклеотидов (0,03–2,72 г/кг) в рассмотренных специях. Установлено, что девять аминокислот, особенно Glu и Arg, имеют ИВ выше, чем 1. Исходя из значений индекса вкуса SA, щавелевой, винной и аскорбиновой кислот показано, что они также вносят значительный вклад в общий вкус специй. В соответствии с кластерным анализом полученных данных проведена классификация специй на две категории.

Представляют интерес исследования по определению содержания органических кислот в матрице пищевых продуктов, которые были использованы для оценки органолептических показателей пищевых продуктов, для идентификации происхождения, контроля качества, а также с целью обеспечения основы для разработки рецептур новых видов продукции [17,18]. Главная цель исследований заключалась в комплексной оценке вкусовых характеристик и механизма восприятия кислого вкуса органических кислот путем расчета индекса вкуса La, уксусной (AA), SA и фумаровой (Fu) кислот. Показано, что органические кислоты участвуют в энергетическом обмене у растений и животных и влияют на вкус пищевых продуктов как вкусовые вещества и предшественники аромата. Сделан вывод о снижении содержания органических кислот в продуктах при различных способах нагревания (тушение, автоклавирование, приготовление на пару).

Для идентификации и количественного определения свободных аминокислот, нуклеотидов и нуклеозидов при оценке вкусовых качеств пищевой продукции используют различные методы, в том числе и метод ядерно-магнитной спектроскопии. Метабомика на основе ^1H -ЯМР спектроскопии позволяет идентифицировать и количественно определить большой спектр соединений [19,20].

В связи с вышеизложенным интерес представлял анализ вкусовых свойств рыбного сырья после тепловой обработки и в процессе хранения с использованием показателей индекса вкуса основных метаболитов и предлагаемых подходов для органолептической оценки рыбной продукции.

Цель работы — изучение метаболического профиля мышечной ткани атлантического лосося в процессе термической обработки и при хранении методом ^1H -ЯМР спектроскопии для оценки вкусовых качеств продукции.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить метаболический профиль образцов лосося атлантического методом ЯМР-спектроскопии;
- оценить изменение основных метаболитов лосося атлантического при термической обработке и в процессе хранения;
- изучить изменение показателей индекса вкуса лосося атлантического в процессе термической обработки и при хранении.

2. Материалы и методы

В качестве объектов исследований использовали образцы атлантического лосося (*Salmo salar*) из естественной среды обитания, заготовленные в Мурманской области на реке Тулома 19.07.2022. Образцы отбирали от свежеевыловленной рыбы, охлаждали и замораживали. Хранение осуществляли при температуре минус 18°C в течение 4 месяцев.

В исходном образце № 1 определяли содержание воды по ГОСТ 7636–85² и количество белка по ФР.1.31.2020.38483³. Для исследования использовали одну среднюю пробу из четырех рыб, далее ее делили на 4 части.

При изучении влияния термической обработки (варки) на вкусовые качества рыбы часть образца № 1 отварили на пару в специальных пакетах, предназначенных для варки, в течение 30 минут, получив таким образом образец № 2. Вторую часть образца № 1 подвергали термообработке в течение 60 мин, в результате чего получили образец № 4. Образовавшийся бульон в пакете собирали отдельно и анализировали: № 3 — бульон образца № 2, № 5 — бульон образца № 4.

Кроме того, исследовали образец (третья и четвертая часть образца № 1), который хранился в холодильнике при температуре $+2^{\circ}\text{C}$ в течение 23 суток: третья часть — образец № 6 (до варки), и четвертая часть — образец № 7 (после варки на пару в течение 30 мин).

Для экстракции водорастворимых полярных метаболитов 25 г гомогенизированной мышечной ткани заливали 50 мл 7,5% раствор ТХУ, перемешивали в гомогенизаторе и фильтровали через бумажный фильтр. Фильтрат нейтрализовали 9 М раствором КОН до значения pH 7,4, фильтровали через бумажный фильтр (№ 1)

² ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». — М.: Стандартинформ, 2010. — 85 с.

³ ФР.1.31.2020.38483 МИ 002–2020 «Методика измерения массовой доли белка методом Кьельдаля»

Все результаты приведены как среднее арифметическое $\pm$ среднее квадратичное отклонение. Достоверно различающиеся средние значения рассчитаны согласно распределению Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Проведено изучение содержания основных метаболитов методом ЯМР спектроскопии в экстрактах мышечной ткани атлантического лосося. В результате обработки ¹H-ЯМР спектров идентифицировано и определено количественное содержание ряда аминокислот, нуклеотидов, нуклеозидов, азотистых соединений (Рисунок 1, Таблица 1).

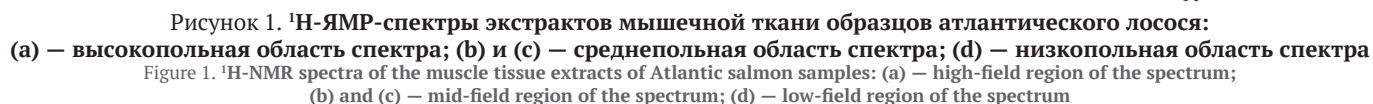


Таблица 1. Содержание идентифицированных метаболитов в образцах атлантического лосося
Table 1. Content of identified metabolites in the Atlantic salmon samples

№ п/п	Наименование метаболита	Химические сдвиги (ppm), структурный фрагмент	Содержание, мг/100 г, в образце						
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Незаменимые аминокислоты									
1	Лейцин Leu	0,95 t [δCH ₃]	3,50±0,04	3,96±0,06 ¹	6,10±0,25 ¹	4,07±0,19	6,17±0,46 ¹	8,39±0,20 ¹	9,83±0,47 ¹
2	Изолейцин Ile	1,01 d [β'CH ₃]	2,36±0,03	2,29±0,04	3,21±0,02 ¹	2,28±0,05	2,86±0,05 ¹	4,32±0,07 ¹	4,60±0,08 ¹
3	Валин Val	0,99 d [γCH ₃]; 1,04 d [γ'CH ₃]	3,76±0,02	3,70±0,02	5,35±0,03 ¹	3,66±0,03	4,51±0,02 ¹	8,93±0,07 ¹	9,80±0,05 ¹
4	Метионин Meth	2,14 s [SCH ₃]	1,16±0,02	1,12±0,02	1,77±0,10 ¹	1,15±0,05	1,75±0,19 ¹	3,98±0,07 ¹	5,32±0,09 ¹
5	Лизин Lys	1,47 m [γCH ₃]; 1,73 m [δCH ₂]; 1,91 m [βCH ₂]	2,47±0,04	1,96±0,07 ¹	5,23±0,51 ¹	3,14±0,21 ^{1,2}	4,99±0,66 ¹	9,61±0,18 ¹	13,85±0,67 ¹
6	Треонин Thr	4,26 m [βCH]	5,38±0,26	6,52±0,33	7,49±0,55 ¹	4,61±0,37 ²	7,73±0,72 ¹	9,86±0,48 ¹	13,34±0,45 ¹
7	Фенилаланин Phe	7,33 d [(CH) ₂]; 7,37 t [CH, ring]; 7,43 t [(CH) ₂ , ring]	1,10±0,01	1,17±0,01 ¹	1,43±0,01 ¹	1,07±0,01 ²	1,29±0,01 ¹	5,25±0,05 ¹	5,36±0,03 ¹
8	Триптофан Trp	7,28 t [CH, ring]; 7,54 d [CH, ring]; 7,73 d [CH, ring]	0,30±0,01	0,30±0,01	0,44±0,01 ¹	0,29±0,02	0,29±0,02	0,76±0,01 ¹	0,62±0,02 ¹
9	Тирозин Tyr	6,89 d [(CH) ₂ , ring]; 7,19 d [(CH) ₂ , ring]	1,96±0,03	2,19±0,04 ¹	2,88±0,04 ¹	2,33±0,04 ¹	2,62±0,03 ¹	6,66±0,07 ¹	6,69±0,07 ¹
Заменимые аминокислоты									
10	Аланин Ala	1,48 d [βCH ₃];	12,00±0,07	13,79±0,09 ¹	18,00±0,29 ¹	13,63±0,09 ¹	17,75±0,08 ¹	21,44±0,07 ¹	21,38±0,08 ¹
11	Гистидин His	7,06 s [NCH]; 7,79 s [NCHN]	13,28±0,04	12,79±0,07 ¹	18,27±0,21 ¹	14,23±0,16 ^{1,2}	15,90±0,18 ¹	18,12±0,11 ¹	20,22±0,09 ¹
12	Глицин Gly	3,56 s [αCH ₂]	3,78±0,05	3,92±0,07	4,97±0,06 ¹	3,31±0,07 ^{1,2}	4,84±0,07 ¹	7,14±0,09 ¹	7,34±0,09 ¹
13	Таурин Tau	3,25 t [NCH ₂]; 3,42 t [SCH ₂]	15,18±0,17	26,35±0,53 ¹	70,66±0,27 ¹	39,92±0,39 ^{1,2}	65,28±0,34 ¹	55,91±0,24 ¹	61,67±0,38 ¹
14	Глутамин Gln	2,45 m [γCH ₂]	0,32±0,06	0,32±0,15	0,48±0,19	0,32±0,21	0,32±0,27	0,65±0,14	0,74±0,14
15	Глютаминовая кислота Glu	2,08 m [βCH ₂]; 2,35 t [γCH ₂]	6,66±0,09	6,27±0,13	13,73±0,60 ¹	6,39±0,57	15,28±1,28 ¹	6,81±0,19	8,38±0,54 ¹
16	Аспарагиновая кислота Asp	2,68 m; 2,81 dd [βCH ₂]	0,18±0,06	0,87±0,13 ¹	0,24±0,15	0,19±0,05 ²	1,18±0,20 ¹	1,25±0,09 ¹	1,64±0,14 ¹
17	Аргинин Arg	1,69 m [γCH ₂]; 1,91 m [βCH ₂]	1,95±0,05	1,59±0,05 ¹	2,25±1,18	1,99±0,32	2,62±1,80	6,23±0,40 ¹	15,04±1,21 ¹
18	Пролин Pro	2,01 m [CH]; 3,38 m [NCH]	0,85±0,05	0,99±0,13	4,20±0,42 ¹	2,12±0,28	3,26±0,17 ¹	3,32±0,21	5,40±0,43
19	Серин Ser	3,96 m [βCH ₂]	7,46±0,75	7,46±0,82	14,44±1,44 ¹	9,62±1,08	20,23±2,08 ¹	7,12±0,34	10,13±0,64
Прочие аминокислоты и их производные									
20	β-Аланин β-Ala	2,56 t [αCH ₂]	2,09±0,05	1,47±0,08 ¹	2,75±0,10 ¹	1,40±0,08 ¹	2,43±0,10 ¹	23,48±0,10 ¹	23,13±0,24 ¹
21	γ-Аминomásляная кислота GABA	2,30 t [αCH ₂]	0,08±0,01	0,23±0,03 ¹	1,51±0,32 ¹	0,53±0,25	2,94±0,59 ¹	0,65±0,05 ¹	1,44±0,20 ¹
22	Диметилглицин DMG	2,92 s [CH ₃] ₂	0,49±0,00	0,36±0,03 ¹	0,51±0,02	0,30±0,04 ¹	0,39±0,03 ¹	0,42±0,01 ¹	0,43±0,04
Производные имидазола (глюксилиновые основания)									
23	Ансерин Ans	2,67 m [¹² CH ₃]; 3,09 dd [βCH ₂]; 3,21 m [¹¹ CH ₂]; 3,71 s [CH ₃]; 4,47 m [CH, rib]; 6,99 s [CH, his]; 8,04 s [CH, his],	310,99±2,10	310,99±0,91	394,44±2,08 ¹	288,68±1,89 ^{1,2}	338,28±1,39 ¹	171,94±0,71 ¹	193,47±1,47 ¹
24	1-метилгистидин 1-Mhis	7,01 s [⁵ CH]; 7,67 s [² CH]	3,12±0,06	2,31±0,06 ¹	4,70±0,12 ¹	2,41±0,07 ¹	3,56±0,12 ¹	54,14±0,54 ¹	64,39±0,55 ¹
Органические кислоты									
25	Молочная кислота La	1,34 d [βCH ₃]; 4,13 q [αCH]	291,99±1,24	277,95±0,64 ¹	383,41±3,45 ¹	264,29±1,60 ^{1,2}	338,11±1,47 ¹	207,63±1,43 ¹	190,77±1,40 ¹
26	Уксусная кислота AA	1,92 s [CH ₃]	0,73±0,01	2,15±0,02 ¹	2,97±0,05 ¹	1,37±0,03 ^{1,2}	2,27±0,10 ¹	2,68±0,03 ¹	4,37±0,16 ¹

Продолжение таблицы 1 / Continuation of the table 1

№ п/п	Наименование метаболита	Химические сдвиги (ppm), структурный фрагмент	Содержание, мг/100 г, в образце						
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
27	Янтарная кислота SA	2,41 s [(CH ₂) ₂]	3,54±0,03	5,85±0,07 ¹	6,20±0,09 ¹	5,85±0,05 ¹	6,66±0,11 ¹	0,86±0,02 ¹	1,10±0,03 ¹
28	Фумаровая кислота Fu	6,52 s [(CH) ₂]	0,26±0,01	0,20±0,00 ¹	0,71±0,01 ¹	0,24±0,01 ^{1,2}	0,63±0,00 ¹	0,20±0,00 ¹	0,13±0,00 ¹
29	Муравьиная кислота Fo	8,46 s [CH]	0,30±0,01	0,79±0,03 ¹	1,21±0,02 ¹	0,45±0,02 ^{1,2}	0,69±0,01 ¹	2,11±0,04 ¹	2,61±0,03 ¹
Углеводы									
30	Глюкоза (α+β) Glc (α+β)	3,42 m [⁴ CH]; 5,65 m [⁵ CH]; 4,65 d [¹ CH]; 5,24 d [¹ CH];	14,60±0,17	12,94±0,14 ¹	17,78±0,16 ¹	8,35±0,23 ^{1,2}	11,95±0,12 ¹	5,58±0,14 ¹	2,17±0,14 ¹
31	Глюкозо-6-фосфат G6P	4,65 d [¹ CH]; 5,24 d [¹ CH]	6,78±0,24	4,09±0,22 ¹	9,63±0,24 ¹	7,14±0,21 ²	7,73±0,17 ¹	2,15±0,21 ¹	2,54±0,21 ¹
32	Глюкозо-1-фосфат G1P	5,46 q [¹ CH]	0,43±0,02	0,60±0,04 ¹	0,46±0,02	0,31±0,02 ¹	0,68±0,03 ¹	0,69±0,08 ¹	0,44±0,07
33	Рибоза Rib	5,26 s [CH]; 5,39 d [CH]	1,11±0,29	0,58±0,35	1,66±0,25	1,43±0,40	1,24±0,20	4,89±0,20 ¹	6,94±0,25 ¹
34	Манноза Man	4,90 s [CH]; 5,19 s [CH]	1,80±0,14	1,95±0,23	1,67±0,18	1,56±0,17	1,56±0,11	0,80±0,13 ¹	0,88±0,25 ¹
35	Мальтоза Mal	5,41 d [CH]; 5,24 d [CH]	3,30±0,29	3,11±0,25	4,45±0,28 ¹	2,98±0,30	4,35±0,20	1,09±0,07 ¹	0,46±0,05 ¹
Азотистые основания и прочие азотистые соединения									
36	Триметиламин TMA	2,90 s [(CH ₃) ₃]	0,06±0,01	3,54±0,08 ¹	3,97±0,03 ¹	6,80±0,04 ^{1,2}	7,22±0,05 ¹	1,10±0,01 ¹	3,51±0,04 ¹
37	Триметиламин-оксид TMAO	3,27 s [(CH ₃) ₃]	40,63±0,34	39,09±0,46	58,58±0,46 ¹	40,20±0,65	53,63±0,50 ¹	34,41±0,31 ¹	33,86±0,45 ¹
38	Диметиламин DMA	2,73 s [(CH ₃) ₃]	0,07±0,03	1,18±0,03 ¹	1,23±0,03 ¹	2,27±0,02 ^{1,2}	2,27±0,03 ¹	0,33±0,01 ¹	1,15±0,02 ¹
39	Бетаин Bet	3,27 s [(CH ₂) ₃]; 3,90 s [αCH ₂]	0,88±0,20	1,52±0,15	2,47±0,44 ¹	1,32±0,52	3,64±0,75 ¹	11,76±0,12 ¹	19,42±0,16 ¹
40	Холин Cho	3,20 s [(CH ₃) ₃]; 5,51 t [αCH ₂]; 4,07 m [βCH ₂]	1,79±0,08	2,34±0,08 ¹	3,23±0,10 ¹	2,15±0,08 ¹	3,79±0,10 ¹	3,11±0,18 ¹	3,79±0,21 ¹
41	Карнитин Carn	2,45 s [αCH ₂]; 3,24 s [(CH ₃) ₃]	0,86±0,03	1,30±0,08 ¹	2,01±0,15 ¹	1,33±0,07 ¹	2,40±0,11 ¹	1,71±0,15 ¹	1,85±0,08 ¹
42	о-Ацетил-L-карнитин Acart	2,15 s [CH ₃ - COOH]; 3,20 s [(CH ₃) ₃]; 5,60 m [CH]	0,93±0,01	0,83±0,04	1,67±0,02 ¹	0,76±0,06	1,42±0,02 ¹	1,16±0,05 ¹	1,40±0,03 ¹
Нуклеотиды и нуклеозиды									
43	Инозин-5-монофосфат IMP	6,15 d [¹ CH, rib]; 8,23 s [CH, ring]; 8,57 s [CH, ring]	49,49±0,52	50,05±0,82	54,02±1,01 ¹	36,00±0,79 ^{1,2}	43,87±1,63 ¹	0,13±0,01 ¹	0,15±0,06 ¹
44	Инозин Ino	4,28 q [⁴ CH, rib]; 4,44 t [⁵ CH, rib]; 6,09 d [¹ CH, rib]; 8,34 s [⁸ CH, ring]	59,13±0,53	56,99±0,45 [*]	71,22±0,43 [*]	59,30±0,58	63,91±0,57 [*]	42,04±0,42 [*]	29,00±0,24 [*]
45	Гипоксантин Hx	8,19 s [² CH]; 8,21 s [⁸ CH]	2,97±0,08	2,53±0,12	3,66±0,06 ¹	3,39±0,07 ^{1,2}	3,89±0,12 ¹	23,04±0,14 ¹	32,03±0,19 ¹
46	Аденозинмонофосфат AMP	8,59 s [CH, ring]	0,12±0,01	1,72±0,03 ¹	3,04±0,11 ¹	1,68±0,06 ¹	2,68±0,06 ¹	0,08±0,01 ¹	1,80±0,06 ¹
47	Аденозиндифосфат ADP	6,15 d [¹ CH, rib]; 8,27 s [² CH, ring]; 8,53 s [⁸ CH, ring]	2,81±0,28	2,30±0,28	1,50±0,21 ¹	1,91±0,20	2,07±0,23	4,31±0,22 ¹	3,29±0,17
48	Аденозинтрифосфат ATP	6,15 d [¹ CH, rib]; 8,28 s [² CH, ring]; 8,50 s [⁸ CH, ring]	2,33±0,25	2,33±0,20	3,50±0,21 ¹	0,99±0,57	0,99±0,25 ¹	0,33±0,99 ¹	1,75±0,23
Производные гуанидина (гуанидиновые основания)									
49	Креатин/Креатинфосфат Cre/PCr	3,04 s [N(CH ₃) ₃]; 3,93 s [² CH ₂]	253,44±1,55	203,46±2,50 ¹	265,49±2,28 ¹	154,26±1,89 ^{1,2}	190,66±1,45 ¹	219,23±1,77 ¹	226,07±1,43 ¹
50	Креатинин Cret	3,05 s [N(CH ₃) ₃]; 4,06 s [² CH ₂]	0,76±0,27	40,31±0,38 ¹	52,96±0,62 ¹	73,05±1,12 ¹	81,88±1,30 ¹	2,02±0,17 ¹	22,44±0,31 ¹
Спирты									
51	Метанол Met	2,14 m [⁵ CH ₃ ; ⁶ CH ₃]	0,26±0,02	0,28±0,03	0,39±0,01 ¹	0,22±0,02	0,20±0,01	0,30±0,01	0,25±0,02
52	Этанол Eth	1,18 t [βCH ₃]	0,19±0,01	0,20±0,01	0,37±0,04 ¹	0,30±0,01 ^{1,2}	0,59±0,07 ¹	0,68±0,03 ¹	0,68±0,06 ¹

Окончание таблицы 1 / End of the table 1

№ п/п	Наименование метаболита	Химические сдвиги (ppm), структурный фрагмент	Содержание, мг/100 г, в образце						
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
53	Глицерол Glyl	3,56 m [CH ₂]; 3,66 dd [CH ₂]	4,16±0,08	3,78±0,13	6,25±0,14 ¹	2,82±0,19 ^{1,2}	5,38±0,18 ¹	14,88±0,13 ¹	12,70±0,13 ¹
Прочие									
54	Глицеро-3-фосфохолин GlyPC	3,23 s [N(CH ₃) ₃]; 4,33 br s [αCH ₂]	38,79±0,40	52,57±0,72 ¹	69,18±1,21 ¹	40,39±1,09 ²	51,25±0,56 ¹	33,46±0,48 ¹	32,32±0,94 ¹
55	Урацил Ura	5,80 d [°CH, ring]; 7,54 d [°CH, ring]	0,17±0,01	0,17±0,01	0,29±0,01 ¹	0,19±0,01	0,25±0,01 ¹	0,62±0,01 ¹	0,50±0,01 ¹
56	Мочевина Ure	5,78 br s [(NH ₂) ₂]	1,14±0,02	0,99±0,03 ¹	1,88±0,03 ¹	1,42±0,03 ^{1,2}	1,46±0,03 ¹	2,36±0,03 ¹	2,36±0,03 ¹
57	Никотиновая кислота NA	7,52 dd [°CH, ring]; 8,61 d [°CH, ring]; 8,94 s [°CH, ring]	0,14±0,01	0,12±0,01	0,20±0,01 ¹	0,14±0,01	0,09±0,01 ¹	1,18±0,01 ¹	2,07±0,01 ¹
58	Никотинамид NAM	7,60 dd [°CH, ring]; 8,71 d [°CH, ring]; 8,94 s [°CH, ring]	3,63±0,02	4,23±0,02 ¹	4,50±0,02 ¹	3,81±0,04 ^{1,2}	3,92±0,02 ¹	2,44±0,01 ¹	2,14±0,01 ¹
59	Никотинамидаденин- динуклеотид NAD ⁺	6,04 d [°CH, rib]; 8,43 s [°CH, ade]; 8,85 d [°CH]; 9,15 d [°CH]; 9,34 s [°CH, ring]	1,55±0,03	0,13±0,01 ¹	0,22±0,02 ¹	0,05±0,05 ¹	0,07±0,01 ¹	0,09±0,01 ¹	0,09±0,01 ¹

Примечание: * отмечены достоверные отличия между образцами; полужирным шрифтом отмечены значения химического сдвига соединения, принятого для количественного расчета; s — синглет; d — дублет, dd — дублет дублетов; t — триплет; q — мультиплет, br — широкий.

Из представленных данных следует, что при варке рыбы на пару число таких соединений, как TMA, Tau, Glu, Lys, Pro, Ser, GABA, Cret, увеличивается в бульоне, по сравнению с сырой рыбой, а в вареной рыбе накапливается содержание Tau и Cret. Содержание TMA, который придает рыбный запах продукции, резко возрастает в вареной рыбе, независимо от времени варки, одновременно наблюдается увеличение в вареной рыбе DMA.

Количество Glu, усиливающей вкус продуктов, в рыбе, подвергнутой варке, и при изменении времени приготовления практически не изменяется, в то время как в бульоне этот показатель возрастал в 2 раза. Определенный интерес представляет изменение содержания Cre и Cret в продукции. Согласно полученным данным, происходило увеличение количества Cret в атлантическом лососе с 0,76±0,27 мг/100 г до 40,31±0,38 при варке 30 мин и до 73,05±1,12 мг/100 г при термообработке в течение 60 мин. Результаты хорошо согласуются с литературными данными по изучению поведения различных видов продукции при термической обработке [21,22,23].

Согласно литературным данным, превращение Cre в Cret носит не ферментативный характер, а протекает путем внутримолекулярной дегидратации [21].

Заслуживает внимания оценка содержания основных метаболитов в рыбе, которая длительно хранилась и характеризовалась измененным цветом и ослабленной консистенцией. Установлено, что при хранении в образце № 6, по сравнению с исходным образцом № 1, произошло накопление свободных аминокислот, резкий рост β-Ala с 2,09±0,05 до 23,48±0,10 мг/100 г и 1-Mhis с 3,12±0,06 до 54,14±0,54 мг/100 г вследствие протекающих гидролитических процессов. Также закономерно увеличилась содержание TMA с 0,06±0,01 до 1,10±0,01 мг/100 г. Одновременно наблюдалось значительное уменьшение содержания NAD⁺ с 1,55±0,03 мг/100 г до 0,09±0,01 мг/100 г, который характеризует степень свежести рыбы (Рисунок 1 (d)) с образованием никотиновой кислоты. Кроме того, отмечено практически полное разрушение IMP. При варке образца № 6 на пару количество TMA возросло до 3,51±0,04 мг/100 г (образец № 7), но стало практически таким же, как в образце № 2, приготовленном из качественной рыбы.

С целью выявления наиболее важных метаболитов каждого образца проводили обработку массива данных методом главных компонент, который позволяет понять взаимоотношение между образцами и характеризующими их соединениями.

На графике счетов (Рисунок 2 (a)) отчетливо видно разделение образцов рыбы и бульона, а также резкое отличие рыбы с хорошими органолептическими показателями от образца длительного хранения. Переменные с наибольшим вкладом в PC1 отвечают за разделение с использованием графика нагрузок (Рисунок 2 (b)).

Проведена комплексная оценка ИВ для основных соединений, характеризующих сладкий, горький, кислый вкус, а также вкус умами. Для расчетов взяты значения порога вкуса соединений в соответ-

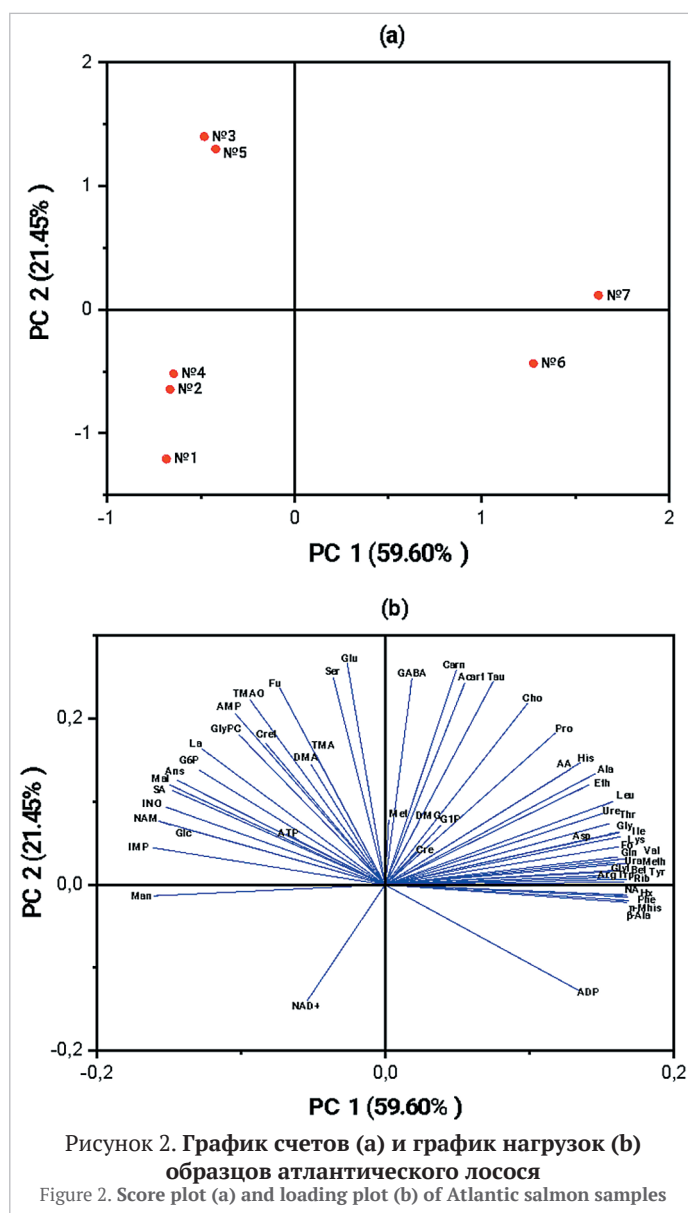


Рисунок 2. График счетов (a) и график нагрузок (b) образцов атлантического лососа
Figure 2. Score plot (a) and loading plot (b) of Atlantic salmon samples

ствии с литературными данными, которые широко используются для комплексной оценки различной пищевой продукции [11,14,17].

На Рисунке 3 представлены значения ИВ для атлантического лосося и бульона, полученные при варке образца на пару, по сравнению с исходным образцом. Из полученных данных следует, что наибольший вклад в формирование вкусовых качеств как вареной рыбы, так и бульона вносит вкус умами, а затем кислый вкус органических кислот. На ИВ бульона, образовавшегося при варке рыбы, большое влияние из органических кислот оказывает La, а аминокислоты Ala и Ser усиливают сладкий вкус.

Для комплексной оценки вкуса каждого образца был рассчитан суммарный ИВ умами, кислого, сладкого, горького, а также общее значение всех составляющих (Таблица 2). В таблице для сравнения приведены расчетные данные для образца № 6, который длительно хранился, и для образца № 7, подвергнутого варке.

Из приведенных данных видно, что значение ИВ для бульона несколько выше при варке на пару в течение 30 мин, по сравнению с выдерживанием рыбы на пару в течение 60 мин, и составляет $6,27 \pm 0,06$ и $5,61 \pm 0,09$ соответственно. Для образца № 6 характерно резкое снижение показателя вкуса умами и увеличение горького вкуса, что обусловлено гидролитическими процессами, проходящими при порче продукта в процессе хранения.

При варке образца атлантического лосося № 6, который длительно хранился, отмечено увеличение содержания IMP, что сви-

детельствует о восстановлении свойств продукции и о небольшом повышении качества, которое характеризуется показателем K [24]. Имеется ряд работ, в которых при нагреве мяса животных (говядины, свинины) наблюдалось значительное увеличение концентрации двух нуклеотидов AMP и IMP. Аналогичные исследования проведены с размороженным минтаем, в котором методом ЯМР не удавалось зарегистрировать присутствие IMP, однако после нагрева пробы в паровой бане его количество достоверно увеличивалось. Такие эффекты объясняются проявлением ферментативной реакции восстановления («спасения») нуклеотидов (Nucleotide salvage) [25,26]. В настоящее время этому направлению работ уделяется особое внимание с позиции решения вопроса сохранения и восстановления качества сырья и продукции.

4. Заключение

В результате исследований сделан вывод, что метод ЯМР-спектроскопии позволяет количественно оценить изменение основных метаболитов в образцах лосося атлантического до и после термической обработки и при хранении. Использование показателей ИВ свободных аминокислот, нуклеотидов и органических кислот дает объективную характеристику вкусовых качеств продукции и может быть рекомендовано для комплексной оценки показателей сырья и готовой продукции при различных технологических операциях, а также в процессе хранения.

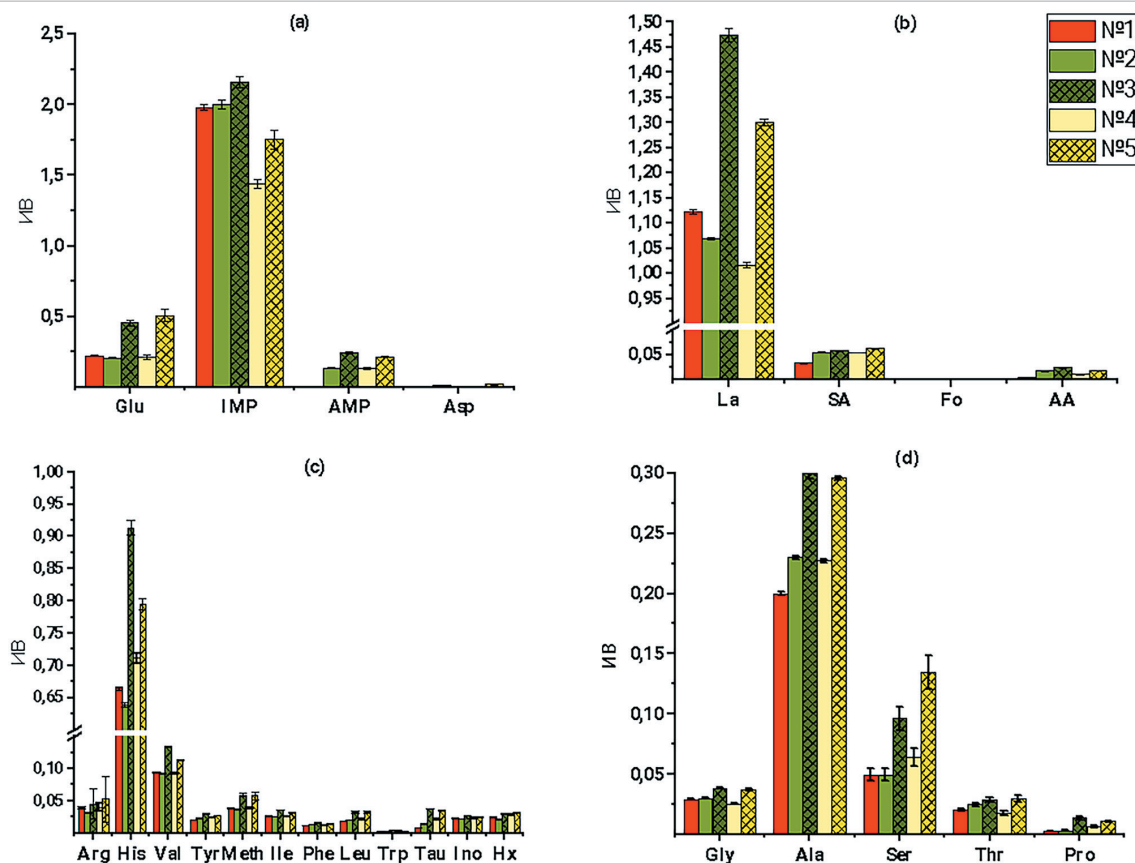


Рисунок 3. Показатели индекса вкуса образцов атлантического лосося:

(а) умами; (б) кислый; (с) горький; (д) сладкий

Figure 3. Taste active values of Atlantic salmon samples: (a) umami; (b) sour; (c) bitter; (d) sweet

Таблица 2. Значения индекса вкуса образцов атлантического лосося

Table 2. Taste active values of Atlantic salmon samples

Показатель индекса вкуса	Суммарное значение индекса вкуса образцов						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Умами	$2,22 \pm 0,02$	$2,37 \pm 0,03^{1*}$	$2,87 \pm 0,05^{1,2}$	$1,79 \pm 0,04^{1,2}$	$2,50 \pm 0,08^{1,3,4}$	$0,26 \pm 0,01^1$	$0,55 \pm 0,01^{1,2,4}$
Кислый	$1,16 \pm 0,01$	$1,14 \pm 0,01$	$1,56 \pm 0,01^{1,2}$	$1,08 \pm 0,01^{1,2}$	$1,39 \pm 0,01^{1,3,4}$	$0,83 \pm 0,01^1$	$0,78 \pm 0,01^{1,2,4}$
Горький	$0,97 \pm 0,01$	$0,94 \pm 0,01$	$1,37 \pm 0,03^{1,2}$	$1,04 \pm 0,01^{1,2}$	$1,22 \pm 0,04^{1,4}$	$1,85 \pm 0,01^1$	$2,28 \pm 0,02^{1,2,4}$
Сладкий	$0,30 \pm 0,01$	$0,34 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,01^{1,2}$	$0,34 \pm 0,01$	$0,51 \pm 0,01^{1,4}$	$0,51 \pm 0,01^1$	$0,55 \pm 0,01^{1,2,4}$
Сумма	$4,65 \pm 0,03$	$4,79 \pm 0,03^1$	$6,27 \pm 0,06^{1,2}$	$4,26 \pm 0,04^{1,2}$	$5,61 \pm 0,09^{1,3,4}$	$3,45 \pm 0,02^1$	$4,07 \pm 0,03^{1,2,4}$

Примечание: * указаны достоверные отличия значений между образцами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Franceschelli, L., Berardinelli, A., Dabbou, S., Ragni L., Tartagni, M. (2021). Sensing technology for fish freshness and safety: A review. *Sensors*, 21(4), Article 1373. <https://doi.org/10.3390/s21041373>
- Prabhakar, P. K., Vatsa, S., Srivastav, P. P., Pathak, S. S. (2020). A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations. *Food Research International*, 133, Article 109157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157>
- Gil-Sánchez, L., Martínez-Mañez, R., Barat J. M., Garcia-Breijo, E. (2016). Meat and Fish Spoilage Measured by Electronic Tongues. Chapter in a book: Electronic Noses and Tongues in Food Science. Elsevier Academic Press Inc., London, UK; San Diego, CA, USA; Cambridge, MA, USA; Kidlington, Oxford, UK, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00020-2>
- Hu, Z., Tong, Y., Manyande, A., Du, H. (2020). Effective discrimination of flavours and tastes of Chinese traditional fish soups made from different regions of the silver carp using an electronic nose and electronic tongue. *Czech Journal of Food Sciences*, 38, 84–95. <http://doi.org/10.17221/103/2018-CJFS>
- Rudnitskaya, A. (2018). Calibration update and drift correction for electronic noses and tongues. *Frontiers in Chemistry*, 6, Article 433. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00433>
- Yin, M., Xi Y., Shi Y., Qiu Z., Matsuoka R., Wang, H. et al. (2023). Effects of temperature fluctuations on non-volatile taste compounds in tilapia fillets (*Oreochromis niloticus*). *Food Chemistry*, 408, Article 135227. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135227>
- Huang, Y., Pu, D., Hao, Z., Liang, L., Zhao, J., Tang, Y. et al. (2022). Characterization of taste compounds and sensory evaluation of soup cooked with sheep tail fat and prickly ash. *Foods*, 11(7), Article 896. <https://doi.org/10.3390/foods11070896>
- Wang, L., Qiao, K., Duan, W., Zhang, Y., Xiao, J., Huang Y. (2020). Comparison of taste components in stewed beef broth under different conditions by means of chemical analyzed. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 955–964. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1376>
- Zhou, C. Y., Bai, Y., Wang, C., Li, C. B., Xu, X.-L., Pan, D.-D. et al. (2021). ¹H NMR-based metabolomics and sensory evaluation characterize taste substances of Jinhua ham with traditional and modern processing procedures. *Food Control*, 126(3), Article 107873. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107873>
- Tian, Z., Zhu, Q., Chen, Y., Zhou, Y., Hu, K., Li, H. et al. (2022). Studies on flavor compounds and free amino acid dynamic characteristics of fermented pork loin ham with a complex starter. *Foods*, 11(10), Article 1501. <https://doi.org/10.3390/foods11101501>
- Camacho, C., Correia, T., Teixeira, B., Mendes, R., Valente L. M.P., Pessoa M. F. et al. (2023). Nucleotides and free amino acids in sea urchin *Paracentrotus lividus* gonads: Contributions for freshness and overall taste. *Food Chemistry*, 404 (Part A), Article 134505. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134505>
- Xue, Q., Xue, C., Luan, D., Wen, Y., Bi, S., Wei, Z. et al. (2021). Comprehensive investigation into quality of pasteurized *Oncorhynchus keta* Walbaum fillets and non-thermal effects of microwave. *LWT*, 146, Article 111466. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111466>
- Ninomiya, K. (2002). Umami: A universal taste. *Food Reviews International*, 18(1), 23–38. <https://doi.org/10.1081/FRI-120003415>
- Kato, H., Rhue, M. R., Nishimura, T. (1989). Role of free amino acids and peptides in food taste. Chapter in a book: Flavor chemistry. American Chemical Society, Washington, D. C., 1989.
- Heu, M. S., Choi, B. D., Kim, K. H., Kang, S. I., Kim, Y. J., Kim, J.-S. (2015). Comparison on the food quality characteristics of muscles from Salmonids according to species, imported country, and separated part. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(1), 16–25. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0016> (In Korean)
- Duan, W., Huang, Y., Xiao, J., Zhang, Y., Tang, Y. (2020). Determination of free amino acids, organic acids, and nucleotides in 29 elegant spices. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3777–3792. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1667>
- Shi, Y., Pu, D., Zhou, X., Zhang, Y. (2022). Recent progress in the study of taste Characteristics and the nutrition and health properties of organic acids in foods. *Foods*, 11(21), Article 3408. <https://doi.org/10.3390/foods11213408>
- Shim, K.-H., Lee, J.-H., Ha, Y.-L., Choe, S.-D., Seo, K.-I., Joo, O.-S. (1994). Changes in organic acid contents on heating conditions of fishes. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 23(6), 939–944. (In Korean)
- Castejón, D., Villa, P., Calvo, M. M., Santa-María, G., Herraiz, M., Herrera, A. (2010). ¹H-HRMAS NMR study of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Magnetic Resonance in Chemistry*, 48(9), 693–703. <https://doi.org/10.1002/mrc.2652>
- Shumilina, E., Ciampa, A., Capozzi, F., Rustad, T., Dikiy, A. (2015). NMR approach for monitoring post-mortem changes in Atlantic salmon fillets stored at 0 and 4°C. *Food Chemistry*, 184, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.037>
- Elbir, Z., Oz, F. (2021). Determination of creatine, creatinine, free amino acid and heterocyclic aromatic amine contents of plain beef and chicken juices. *Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 3293–3302. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04875-8>
- Shirai, T., Fuke, S., Yamaguchi, K., Konosu, S. (1984). Creatine and creatinine in the raw and heated muscles of salmon. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50(7), 1229–1235. <https://doi.org/10.2331/suisan.50.1229>
- del Campo, G., Gallego, B., Berregi, I., Casado, J. A. (1998). Creatinine, creatine and protein in cooked meat products. *Food Chemistry*, 63(2), 187–190. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00034-X)
- Hong, H., Regenstein, J. M., Luo, Y. (2017). The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(9), 1787–1798. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001489>
- Sünter, A., Kuznetsov, A., Raudsepp, P., Püssa, T., Toom, L., Konoplev, G. et al. (2023). Manifestation of heat-induced valuable dietary nucleotide salvage in food prepared from aged fish in fast protein and metabolites Liquid Chromatography, ATP-Bioluminescence Assay, and NMR spectra. *Applied Chem*, 3(2), 334–349. <https://doi.org/10.3390/appliedchem3020021>
- Shirai, T., Yamaguchi, K., Konosu, S., Fuke S. (1988). Nucleotides, quaternary ammonium bases, and related compounds in the raw and heated muscles of salmon. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54(7), 1199–1207. <https://doi.org/10.2331/suisan.54.1199>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Абрамова Любовь Сергеевна — доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя департамента по вопросам качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
105187, Москва, Окружной проезд, 19
Тел. +7-915-064-77-04
E-mail: abramova@vniro.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-2760>

Козин Андрей Валерьевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Отдел Качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
105187, Москва, Окружной проезд, 19
Тел. +7-916-102-93-87
E-mail: kozin82a@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8507-3548>
* автор для контактов

Гусева Елена Сергеевна — специалист, Отдел Качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
105187, Москва, Окружной проезд, 19
Тел.: +7-917-505-92-06
E-mail: gycebaleha@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1377-1838>

Лаврикова Кира Александровна — специалист, Отдел Качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
105187, Москва, Окружной проезд, 19
Тел.: +7-977-540-70-50
E-mail: lavrikova85@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8296-2048>

Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR INFORMATION

Affiliation

Liubov S. Abramova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the Department for the Quality of Fish Food Products, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia
Tel.: +7-915-064-77-04
E-mail: abramova@vniro.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-2760>

Andrey V. Kozin, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Fish Food Quality Department, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia
Tel.: +7-916-102-93-87
E-mail: kozin82a@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8507-3548>
* corresponding author

Elena S. Guseva, Specialist, Fish Food Quality Department, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia
Tel.: +7-917-505-92-06
E-mail: gycebaleha@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1377-1838>

Kira A. Lavrikova, Specialist, Fish Food Quality Department, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia
Tel.: +7-977-540-70-50
E-mail: lavrikova85@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8296-2048>

Contribution

Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.