

УДК 597+577

Николай Николаевич Ковалев

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, доктор биологических наук, ORCID: 0000-0001-7100-7208, AuthorID Scopus: 7005804649, AuthorID РИНЦ: 96894, Россия, Владивосток, e-mail: kovalevnn61@yandex.ru

Екатерина Андреевна Крашенинина

Дальневосточный федеральный университет, ORCID: 0000-0001-5752-8648, AuthorID Scopus: 57196417972, Россия, Владивосток, e-mail: krasheninina_ea@dvfu.ru

**Сравнительная характеристика состава жирных кислот печени
и мышц кеты и горбуши**

Аннотация. Поиск источников получения и технологий рыбных жиров обусловлен возрастающим спросом рынка. Рациональное использование рыбного сырья на основе безотходных технологий является одним из направлений повышения рентабельности предприятий и насыщения рынка жировой продукцией. Масса печени лососевых может составлять до 3 % массы целой рыбы. Из-за высокой гидролитической активности ферментов и, как следствие, небольших сроков хранения печень лососевых не используется в переработке. Проведено сравнительное исследование состава жирных кислот печени двух видов рыб – кеты *Oncorhynchus keta* и горбуши *O. gorbuscha*. Показано, что основным классом липидов печени лососевых являются фосфолипиды. Исследование содержания и состава жирных кислот показало, что количество ненасыщенных жирных кислот в печени горбуши в 1,6 раза больше, чем в печени кеты. Основные жирные кислоты печени лососевых – 16 : 0 и 18 : 0. По количеству моноеновых жирных кислот печень лососевых не различалась. В то же время количество полиненасыщенных жирных кислот в печени кеты в 2,2 раза больше, чем в печени горбуши. Основными полиненасыщенными жирными кислотами печени лососевых являются докозапентаеновая и докозагексаеновая жирные кислоты, содержание которых составляет 34–42 и 32–37 % соответственно. Определено, что содержание насыщенных жирных кислот в печени лососевых больше, чем в мышечных тканях. По количественному содержанию полиненасыщенных жирных кислот в мышечной ткани лососевые не различались. Их количество сравнимо с содержанием жирных кислот в мышечной ткани скумбрии.

Полученные результаты и ранее описанные технологии заготовки и предобработки печени обосновывают перспективность ее использования в качестве сырьевого источника получения рыбного жира.

Ключевые слова: лососи, печень, жирные кислоты, липиды мышц и печени, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая жирные кислоты.

Nikolay N. Kovalev

Far Eastern State Technical Fisheries University, doctor of biological sciences, ORCID: 0000-0001-7100-7208, AuthorID Scopus: 7005804649, AuthorID RSCI: 96894, Russia, Vladivostok, e-mail: kovalevnn61@yandex.ru

Ekaterina A. Krasheninina

Far Eastern Federal University, ORCID: 0000-0001-5752-8648, AuthorID Scopus: 57196417972, Russia, Vladivostok, e-mail: krasheninina_ea@dvfu.ru

Comparative fatty acids composition of the liver and muscles of chum salmon and pink salmon

Abstract. The search for sources of obtaining and technologies of fish oils is due to the increasing demand of the world. Rational use of fish raw materials based on waste-free technologies is one of the ways to increase the profitability of enterprises and saturate the market with fat products. The mass of the salmon liver can be up to 3% of the mass of the whole fish. Due to the high hydrolytic activity of enzymes and, as a result, not long shelf life, salmon liver is not used in processing. The article presents a comparative study of the composition of fatty acids of the liver of two species of fish chum salmon *Oncorhynchus keta* and pink salmon *O. gorbusha*. It is shown that the main class of lipids of the salmon liver are phospholipids. The study of the content and composition of fatty acids showed that the amount of unsaturated fatty acids in the liver of pink salmon is 1.6 times greater than in the liver of chum salmon. The main fatty acids of the salmon liver were 16:0 and 18:0. The number of monoenoic fatty acids in the salmon liver did not differ. At the same time, the amount of polyunsaturated fatty acids in the liver of chum salmon is 2.2 times more than in the liver of pink salmon. The main polyunsaturated fatty acids of the salmon liver are docosapentaenoic and docosohexaenoic fatty acids, the content of which is 34–42 and 32–37 %, respectively. It was determined that the content of saturated fatty acids in the liver of salmon is greater than in muscle tissues. The quantitative content of polyunsaturated fatty acids in the muscle tissue of salmon did not differ. Their number is comparable to the content of fatty acids in the muscle tissue of mackerel.

The obtained results and the previously described technologies of harvesting and pretreatment of the liver justify the prospects of its use as a raw source for obtaining fish oil.

Keywords: salmon, liver, fatty acids, muscle and liver lipids, eicosapentaenoic and docosohexaenoic fatty acids.

Введение

В процессе филетирования до 60 % свежей рыбы составляют отходы [1]. Однако в таких отходах рыбопереработки, как жабры, кишки, голова, печень, кожа отмечено высокое содержание жирных кислот (ЖК) [2].

Содержание ненасыщенных жирных кислот (НЖК) зависит от многих факторов, включая вид рыбы, ее размер и возраст, пол, питание, температуру среды обитания [3]. Считается, что рыбный жир, полученный из видов, выловленных в холодных водах, имеет более высокое содержание НЖК [4]. Кроме того, содержание НЖК значительно выше у пелагических, чем у донных видов [5]. В этой связи жирная рыба, такая как тунец, лосось, сардина, скумбрия, анчоус является важным источником этих жирных кислот [6].

Особенно высокое содержание жирных кислот было обнаружено в брыжеечной ткани, голове и печени. Известен способ получения жира из голов лососевых рыб рода *Oncorhynchus* как сырья для производства лечебно-профилактической продукции или БАД [7].

Несмотря на то что разработаны технологии пищевой продукции из печени лососевых [8], производство жира из печени лососевых не нашло практического применения. Препятствием для разработки технологии жира из печени является высокая активность гидролитических ферментов и, как следствие, порча сырья. В настоящее время разработаны технологии выделения биологически активных компонентов из печени лососевых, например, пептидов [9].

Однако большие промысловые запасы лососевых и значительное количество отходов их переработки обосновывают исследования их состава и поиска путей рационального использования.

Целью работы являлось исследование состава ЖК печени и мышц кеты и горбуши как потенциальных сырьевых источников жирных кислот.

Объекты и методы исследования

Материалом для исследования служила печень кеты *Oncorhynchus keta* Walbum и горбуши *O. gorbusha*.

Липиды из печени лососевых экстрагировали смесью органических растворителей [10]. Содержание отдельных классов липидов устанавливали по методу В.Е. Васьковского и Э.Я. Костецкого [11].

Анализ состава жирных кислот липидов проводили с помощью газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) путём разделения их летучих производных – метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК). Этерификацию липидов для получения МЭЖК выполняли с использованием свежеприготовленной метилирующей системы ацетилхлорид/метанол (1 : 10, об/об).

Метиловые эфиры жирных кислот анализировали на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором Agilent 6890. Для разделения использовалась капиллярная колонка HP Innowax, длина колонки 30 м, диаметр 0,25 мм. Колонка термостатировалась при 200 °С (изотермический режим). В качестве газа-носителя использовался гелий с линейной скоростью потока 35 см/с. Ввод образца с делением потока 1 : 50, объем вводимой пробы 1 мкл. Идентификацию МЭЖК проводили на основании сравнения относительных времён удерживания МЭЖК пробы со стандартными значениями «углеродных чисел» исходя из расчёта эквивалентной длины цепи [12] и путём сравнения с известными стандартами.

Результаты и их обсуждение

По количественному содержанию липидов печень лососевых, по-видимому, следует отнести к маложирному сырью. Так, печень минтая, выловленного в осенний период в Японском море, характеризуется содержанием липидов 8,1–35,1 % [13].

Результаты исследования состава липидов печени кеты представлены в табл. 1. Преобладающим классом липидов в печени лососевых являются фосфолипиды (ФЛ).

Таблица 1

Состав липидов печени кеты, % от суммы общих липидов

Table 1

Composition of chum liver lipids, % of total lipids

Класс липидов	Мороженая печень 1 мес. хранения
Фосфолипиды	50,4
Стерины	17,8
Свободные жирные кислоты	16,8
Триглицериды	9,9
Эфиры стеринов	5,1

Количество свободных жирных кислот (СЖК) в мороженой печени кеты, хранившейся 1 мес., составляло 16,8 % от суммы общих липидов (табл. 1).

При хранении печени кеты при температуре минус 18 °С происходит интенсивный гидролиз липидов, в первую очередь фосфолипидов (ФЛ), их содержание снижается, и интенсивно накапливаются свободные жирные кислоты (СЖК). Через один месяц холодильного хранения кислотное число (К.ч.) равнялось 10,3 мг КОН/г жира.

Исследован состав жирных кислот (ЖК) липидов печени и мышечной ткани горбуши и кеты, выловленных в прибрежных водах Камчатки (табл. 2).

Таблица 2

Состав жирных кислот липидов печени горбуши и кеты, % от общей суммы ЖК
Table 2
**Composition of fatty acids of liver lipids of pink salmon and chum salmon,
% of the total amount of LC**

Жирные кислоты	Горбуша		Кета		Скумбрия*
	печень	мышцы	печень	мышцы	мышцы
14 : 0	0,5	3,4	1,6	5,2	7,35
15 : 0	0,9	0,5	0,4	0,6	0,52
16:0	32,1	11,1	20,4	11,0	13,0
17 : 0	0,9	0,3	0,3	0,3	0,4
18 : 0	15,8	1,6	10,7	2,8	2,13
Сумма насыщенных	56,8	16,9	34,7	19,9	23,4
17 : 1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Σ 18 : 1	17,7	9,9	20,2	13,6	10,7
Σ 20 : 1	0,9	12,6	3,4	14,5	11,78
22 : 1	0,3	16,2	0,9	10,6	10,49
Сумма моноеновых	25,6	39,1	26,2	39,1	33,42
18 : 2ω6	0,6	1,5	0,9	1,3	1,79
18 : 3ω3	0,4	1,0	0,4	0,8	1,55
18 : 4ω3	0,5	2,5	0,7	1,3	5,23
20 : 2 ω6	0,3	0,7	0,2	0,5	0,27
20 : 3 ω6	–	0,2	2,5	–	–
20 : 4ω6	1,4	0,4	1,0	0,6	0,67
20 : 4ω3	0,4	1,1	2,8	0,9	1,12
20 : 5ω3	6,0	6,7	12,7	6,9	7,98
22 : 5ω3	1,4	1,7	3,3	2,5	1,29
22 : 6ω3	5,6	14,6	14,6	13,9	13,03
Сумма полиненасыщенных	17,6	30,4	39,1	28,7	32,93

Примечание. * – данные из Шульгина В.Л. и др. [14].

Главными ЖК липидов мороженой печени горбуши и кеты являются пальмитиновая (16 : 0), стеариновая (18 : 0), олеиновая (18 : 1n-9), эйкозапентаеновая (20 : 5n-3) и докозапентаеновая (22 : 6n-3) кислоты. Однако мороженая печень горбуши и кеты различаются по соотношению отдельных ЖК. Так, в мороженой печени горбуши преобладающими являются насыщенные ЖК (56,8 % от суммы ЖК), а в печени кеты насыщенные и полиненасыщенные ЖК присутствуют в близкой концентрации (34,7 и 39,1 % соответственно). Значительное содержание полиненасыщенных ЖК в печени кеты обусловлено высокой концентрацией эссенциальных длинноцепочечных ЖК – эйкозапентаеновой (ЭПК) (12,7 %) и докозагексаеновой (ДГК) (14,6 %).

Сравнение состава липидов мышечных тканей горбуши и кеты показало, что главными ЖК в них являются миристиновая (14 : 0) и пальмитиновая (16 : 0). По сумме насыщенных ЖК мышечные ткани рыб не различались. Главными из мононенасыщенных ЖК для мышечной ткани кеты определены по сумме олеиновая (18 : 1) и гадолеиновая (20 : 1), а для мышечной ткани горбуши – 20 : 1 и эруковая (22 : 1) ЖК. По сумме моноеновых ЖК исследованные ткани лососевых не различались.

Из определенных полиненасыщенных ЖК (ПНЖК) в мышечной ткани лососевых преобладали ЭПК и ДГК. Следует отметить, что содержание этих ЖК в печени и мышечной ткани исследованных видов лососевых различалось. Так, содержание ПНЖК в мышечной ткани горбуши было в 1,7 раза больше, чем в печени. В то же время содержание ПНЖК в печени кеты было в 1,4 раза больше, чем в мышечной ткани.

Проведено сравнительное исследование состава ЖК мышечной ткани горбуши, кеты и скумбрии японской. Скумбрия выбрана в качестве объекта сравнения как рыба, относящаяся к группе жирных рыб [14].

Проведенное исследование показало, что по содержанию насыщенных ЖК мышечная ткань скумбрии превосходит горбушу и кету. Наибольшее различие выявлено по содержанию 14 : 0 ЖК. Также отмечено более низкое содержание моноеновых ЖК по сравнению с лососевыми. По содержанию суммы ПНЖК в мышечной ткани исследованные виды рыб не различались.

Известно, что состав ЖК липидов органов и тканей зависит от биологического состояния объекта, состава пищи и условий обитания [3]. В связи с этим данные, полученные по содержанию ЖК в исследованных образцах печени лососевых, нельзя рассматривать как абсолютные. Известно, что именно мышечная ткань лососевых является депо липидов, количество которых, как и состав ЖК, меняется во время миграций.

Печень лососевых характеризуется очень высокой активностью липаз, которая сохраняется при холодильном хранении сырья. Кислотное число жира печени свежельовленной кеты уже 4,4–5,3 мг КОН/г [15]. Следует отметить, что в отраслевом стандарте на печень рыб данный показатель не регламентируется [16]. В то же время нет единого мнения о сроках хранения печени для промпереработки. Исследования по обоснованию использования печени лососевых для производства БАД рекомендуют ограничить срок хранения замороженной печени лососевых 2 месяцами [17]. При обосновании использования печени лососевых для производства паштетов предлагается установить срок хранения 4 месяца после предварительной промывки водой и заморозке при -30 °С [16].

Большинство рыбных жиров, представленных в настоящее время на рынке, получают из печени жирных видов рыб [18]. Отличительной характеристикой их состава является наличие среди омега-3 ЖК значительного количества ДГК, содержание которой в 2–3 раза больше, чем ЭПК [17].

Проведено сравнительное исследование содержания некоторых ненасыщенных жирных кислот в жире, полученном из печени рыб (табл. 3).

Таблица 3

Содержание некоторых ЖК в печени различных видов рыб, % от суммы ЖК [18]

Table 3

The content of some LC in the liver of various fish species, % of the amount of LC [18]

Объект	C18 : 3n-3	C20 : 5n-3	C22 : 5n-3	C22 : 6n-3	ДГК/ЭПК
Black rockfish (<i>Sebastes melanops</i>)	0,14	4,43	1,38	4,78	1,08
Морской окунь (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	2,0	3,0	0,84	4,5	1,5
Сардина (<i>Sardinella lemuru</i>)	-	-	2,76	12,97	4,7
Тунец (<i>Euthynnus affinis</i>)	-	1,7	-	14,18	8,34
Горбуша*	0,4	1,4	5,6	6,0	4,3
Кета*	0,4	3,3	14,6	12,7	3,9

Примечание. * – собственные данные.

Данные, представленные в табл. 3, показывают, что печень морских рыб характеризуется высоким содержанием ЭПК и ДГК ЖК. Эти две ЖК являются эссенциальными и во многом определяют физиологические эффекты при употреблении рыбных жиров. В литературе представлены результаты исследований, описывающих влияние жиров с различным соотношением ДГК/ЭПК [19]. Поскольку жировые композиции имеют сложный состав ЖК, по-видимому, при описании физиологических эффектов их применения следует одновременно учитывать как соотношение ω -3/ ω -6 ЖК, так и соотношение ДГК/ЭПК. Исследованиями китайских ученых установлено, что соотношение ДГК/ЭПК, равное 2 : 1, обеспечивает более сильный гепатопротекторный эффект [19].

Проведенное сравнение показало, что печень окуня *Dicentrarchus labrax* соответствует вышеуказанным рекомендациям, в то время как для жира из печени тунца этот показатель в 5,5 раза выше.

Следует отметить, что жир из печени лососевых в 2 раза превышал рекомендуемый показатель и был близок к таковому для сардины.

Заключение

Важную роль в профилактике ряда заболеваний и укреплении играют такие соединения, как длинноцепочечные n -3 полиненасыщенные жирные кислоты, которые организм не может синтезировать и которые необходимы млекопитающим. В эту группу входят эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты.

Рыбные жиры используются в качестве лекарственного средства при нарушениях липидного обмена и в качестве средства вспомогательной терапии для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы и зрения, диабета, улучшения иммунной системы и развития нервной системы, снижения риска заболеваний Альцгеймера.

Востребованность рынком рыбных жиров стимулирует поиск новых источников их получения. Таким источником могут являться отходы переработки рыб, в том числе лососевых пород. Печень лососевых не является органом, депонирующим липиды. Накопление липидов у лососевых происходит в мышечной ткани и подкожной клетчатке.

Включение таких субпродуктов, как печень лососевых в перечень перерабатываемого сырья имеет большое значение не только с экономической, но и с экологической точки зрения. С одной стороны, это повлечет снижение затрат на ликвидацию отходов, а с другой стороны, предотвращается большой источник загрязнения, создаваемый отходами переработки рыбы.

Переработка печени лососевых должна включать ряд технологических приемов, обеспечивающих хранимоспособность сырья до его переработки. Высокая активность гидролитических ферментов печени и желчных кислот обосновывают необходимость разработки технологических подходов к переработке, направленных на сохранение пула ненасыщенных жирных кислот.

Таким образом, проведенное сравнительное исследование состава жирных кислот показало, что печень лососевых с небольшим сроком холодильного хранения может являться сырьевым источником получения комплекса жирных кислот с содержанием полиненасыщенных жирных кислот, сопоставимым с таковым в мышечной ткани лососевых и сардины.

Список литературы

1. Cirimna R., Meneguzzo F., Delisi R., Pagliaro M. Enhancing and improving the extraction of ω -3 from fish oil // *Sustain. Chem. Pharm.* 2017. N 3. P. 54–59.
2. Kim S.-K., Mendis E. Bioactive compounds from marine processing byproducts. A review // *Food Res. Int.* 2006. N 39. P. 383–393.
3. Кальченко Е.И., Климров А.В., Ерохин В.Г., Шершнева В.И., Морозова А.В., Юрьева М.И. Динамика состава жирных кислот молоди кеты и горбуши в процессе осенне-зимних мор-

ских и океанических миграций // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2013. Вып. 30. С. 89–99.

4. Pethybridge H.R., Parrish C.C., Morrongiello J., Young J.W., Farley J.H., Gunasekera R.M., Nichols P.D. Spatial Patterns and Temperature Predictions of Tuna Fatty Acids: Tracing Essential Nutrients and Changes in Primary Producers // PLoS ONE. 2015. N 10. P. 131–598.

5. Stenmarck Å., Jensen C., Quested T., Moates G. FUSIONS. Estimates of European Food Waste Levels; IVL Swedish Environmental Research Institute: Stockholm, Sweden, 2016. P. 1–79.

6. Hamed I., Özogul F., Özogul Y., Regenstein J.M. Marine Bioactive Compounds and Their Health Benefits: A Review // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2015. N. 14. P. 446–465.

7. Боева Н.П., Петрова М.С., Артемова А.Г., Баксакова Ю.А. Новые подходы к технологии пищевого жира из голов лососевых рыб рода *Oncorhynchus* // Тр. ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 162–166.

8. Шульгина Л.В., Чернова М.А., Долбнина Н.В., Давлетшина Т.А., Солодова Е.А. Использование печени тихоокеанских лососей в технологии консервов // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 3. С. 66–70.

9. Чепкасова А.И., Аюшин Н.Б., Юрьева М.И. и др. О комплексной переработке печени дальневосточных лососей // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 167. С. 240–251.

10. Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. Method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226, № 1. P. 497–509.

11. Vaskovsky V.E., Kostetsky E.Y., Vasendin I.M. A universal reagent for phospholipid analysis // J. Chromatogr. 1975. Vol. 114, № 1. P. 129–141.

12. Christie W.W. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gaschromatography – a reappraisal // J. Chromatogr. A. 1988. Vol. 447, N. 2. P. 305–314.

13. Кизеветтер И.В. Биохимия сырья водного происхождения. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 425 с.

14. Шульгина Л.В., Давлетшина Т.А., Павловский А.М., Солодова Е.А., Павелъ К.Г. Состав липидов и жирных кислот в мышечной ткани японской скумбрии *Scomber japonicus* // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 196. С. 193–203.

15. Громько М.А., Шульгина Л.В. Печень кеты в технологии консервов для диетического профилактического питания // Национальная ассоциация ученых (НАУ). 2017. № 7(34). С. 17–20.

16. ОСТ 15-411-2003. Печень морских рыб охлажденная и мороженая. Технические условия. М.: Гос. комитет РФ по рыболовству, 2003. 13 с.

17. Чепкасова А.И., Аюшин Н.Б., Юрьева М.И. и др. Технохимическая характеристика печени лососевых рыб и перспективы её использования // Изв. ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 325–336.

18. Pateiro M., Domínguez R., Varzakas T., Munekata P.E.S., Fierro E.M., Lorenzo J. M. Omega-3-Rich Oils from Marine Side Streams and Their Potential Application in Food. 2021. N. 19. P. 223–242.

19. Shang T., Liu L., Zhou J., Zhang M., Hu Q., Fang M., Wu Y., Yao P., Gong Z. Protective effects of various ratios of DHA/EPA supplementation on high-fat diet-induced liver damage in mice // Lipids Health Dis. 2017. N. 16. P. 1–13.

© Ковалев Н.Н., Крашенинина Е.А. 2021

Для цитирования: Сравнительная характеристика состава жирных кислот печени и мышц кеты и горбуши // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 57, № 3. С. 26–32.

Статья поступила в редакцию 13.07.2021, принята к публикации 21.09.2021.