ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 664.951.014:577.115

Л.В. Шульгина^{1,2}, Т.А. Давлетшина¹, А.М. Павловский¹,
Е.А. Солодова¹, К.Г. Павел^{1*}

¹ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

² Дальневосточный федеральный университет,
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

СОСТАВ ЛИПИДОВ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ
ЯПОНСКОЙ СКУМБРИИ *SCOMBER JAPONICUS*

Проведены исследования липидов мышечной ткани японской скумбрии разных размерных групп. Содержание липидов в мелкой скумбрии (размером тела до 20 см) составляет в среднем $8,5 \pm 0,5$ %, в крупной (размером более 20 см) — $23,2 \pm 1,2$ %. Установлено, что липиды скумбрии характеризуются высоким содержанием фосфолипидов: в мелкой рыбе их количество достигает 14,9 %, в крупной — 8,4 %. При анализе жирных кислот установлено, что группа ненасыщенных кислот составляет в крупной рыбе 77,5, в мелкой — 74,5 % общего количества жирных кислот. Содержание мононенасыщенных жирных кислот в мелкой рыбе составляет 34,5, в крупной — 37,9 %, полиненасыщенных — соответственно 36,2 и 36,6 % общей суммы ненасыщенных жирных кислот. Основная часть ПНЖК (85,0–86,2 %) представлена жирными кислотами семейства n-3, среди которых доминируют докозагексаеновая и эйкозапентаеновая. В группе ПНЖК обнаружена стириновая жирная кислота (18:4 n-3) из семейства n-3. По данным ряда авторов, эта жирная кислота оказывает сильнейшее положительное воздействие на организм человека. Особенности состава липидов и жирных кислот скумбрии японской обуславливают их большую ценность. 100 г мышечной ткани скумбрии японской любых размерных групп позволяет удовлетворить суточную потребность организма взрослого человека в этих ценных липидах.

Ключевые слова: японская скумбрия мелкая и крупная, липиды, фосфолипиды, полиненасыщенные жирные кислоты, омега-3 жирные кислоты, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-193-203.

Shulgina L.V., Davletshina T.A., Pavlovsky A.M., Solodova E.A., Pavel K.G. Composition of lipids and fatty acids in muscle tissue of chub mackerel *Scomber japonicus* // Izv. TINRO. — 2019. — Vol. 196. — P. 193–203.

* Шульгина Лидия Васильевна, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией, e-mail: lvshulgina@mail.ru; Давлетшина Татьяна Андреевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ta.davletshina@yandex.ru; Павловский Алексей Михайлович, научный сотрудник, e-mail: pavlovskas23@rambler.ru; Солодова Елена Афанасьевна, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: e.solodova@tinro-center.ru; Павел Константин Геннадьевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, e-mail: kg.pavel@yandex.ru.

Shulgina Lidia V., D.Biol., professor, head of laboratory, e-mail: shulgina@tinro.ru; Davletshina Tatyana A., Ph.D., senior researcher, e-mail: ta.davletshina@yandex.ru; Pavlovsky Alexey M., researcher, e-mail: pavlovskas23@rambler.ru; Solodova Elena A., Ph.D., researcher, e-mail: e.solodova@tinro-center.ru; Pavel' Konstantin G., Ph.D., senior researcher, e-mail: kg.pavel@yandex.ru.

Composition of fatty acids of lipids in muscle tissue of chub mackerel is determined, in dependence on its body size. For the small-sized mackerel (< 20 cm), the lipids content is evaluated as 8.5 ± 0.5 % of the body weight, whereas for the large-sized fish (> 20 cm) it is 23.2 ± 1.2 %. The lipids of mackerel are distinguished by high portion of phospholipids that reaches 14.9 % for the small-sized fish and 8.4 % for the large-sized fish. The portion of unsaturated fatty acids is 74.5 % for the small-sized fish and 77.5 % for the large-sized fish. The portions of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids are 34.5 % and 36.2 % for the small-sized fish and 37.9 % and 36.6 % for the large-sized fish, respectively. The main part of the polyunsaturated fatty acids (85.0–86.2 %) is represented by the fatty acids of family n-3, among which docosahexaenoic (DHA) and eicosapentaenoic (EPA) acids dominate; stearidonic fatty acid of this family (18:4 n-3) is presented, as well, that is essential for a human organism functioning. High biological value is determined for the lipids of chub mackerel, taking into account their chemical composition. Daily demands of an adult human body for these valuable unsaturated fatty acids could be satisfied with 100 g of meat of chub mackerel, irrespectively on its size.

Key words: chub mackerel, small-sized fish, large-sized fish, lipid, phospholipid, polyunsaturated fatty acid, fatty acid family n-3, eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid.

Введение

Пищевая и биологическая ценность рыбного жира определяется составом липидов и жирных кислот [Левачев, 1999]. В живом организме функция липидов сводится к снабжению энергией клеточных процессов, формированию клеточных мембран, участию в межклеточной и внутриклеточной сигнализации, они служат предшественниками стероидных гормонов, желчных кислот, простагландинов и фосфоинозитидов.

Наиболее значимым классом липидов для организма человека являются фосфолипиды, в которых содержатся жирные кислоты, фосфорная кислота и дополнительная группа атомов, содержащая, как правило, азот. Фосфолипиды необходимы для роста, развития и функционирования организма человека [Ушкалова, 2003]. Они входят в состав клеточных оболочек, имеют большое значение для проницаемости и обмена веществ между клетками и внутриклеточным пространством, участвуют в регулировании холестерина обмена, предотвращают накопление холестерина в организме, в связи с чем входят в состав многих лекарственных препаратов для лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы и печени.

Физиологическая роль жирных кислот зависит от структуры их молекулы. Насыщенные жирные кислоты (НЖК) обладают низкой реакционной способностью, их биологическое значение сводится к обеспечению организма человека энергией. Основной функцией мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) является активация обменных процессов и поддержание гомеостаза в организме человека. Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) являются компонентами мембранных фосфолипидов каждой клетки, ковалентными модуляторами белковых структур, регуляторами экспрессии генов, предшественниками для синтеза биологически активных липидных медиаторов [Bell, Tocher, 2009; Lands, 2009].

Наиболее значимыми для организма человека являются ПНЖК семейств омега-3 (n-3) и омега-6 (n-6). Жирные кислоты n-3 являются предшественниками обширного ряда различных липидных медиаторов, регулирующих метаболические пути и воспалительные реакции [Гроза и др., 2012; Запорожская, Гаммель, 2012]. Выполняя свои физиологические функции, n-3 жирные кислоты, особенно эйкозапентаеновая (ЭПК — 20:5 n-3) и докозагексаеновая (ДГК — 22:6 n-3), обеспечивают в организме проявление антиатерогенного, гипотензивного, противовоспалительного, гипокоагуляционного, липотропного, антиаритмогенного, гиполипидемического, антитромботического и антиоксидантного действия [Lewis, 2013]. Важным свойством жирных кислот n-3 является их влияние на иммунные процессы [Cunningham-Rundles, 2003; Нетребенко, Щеплягина, 2006; Гайковая, 2010].

Известно, что ПНЖК n-3 и n-6 являются физиологическими конкурентами [Синчихин, Мамиев, 2010]. Жирные кислоты n-3 конкурентно замещают в мембранах клеток

и метаболических путях арахидоновую кислоту (20:4 n-6), что приводит к торможению ее превращения в простагландины, стимулирующие рост опухолей. Этим обусловлено выраженное онкопрофилактическое действие n-3 жирных кислот.

ПНЖК для человека являются незаменимыми, или эссенциальными, так как их организм получает только с пищей, а сам не синтезирует [Bell, Tocher, 2009; Lands, 2009]. Физиологическая потребность в них для взрослых составляет 1–2 % от калорийности суточного рациона [МР 2.3.1.1915-04; Sanz París et al., 2012]. В соответствии с рекомендуемыми уровнями потребления пищевых и биологически активных веществ адекватный уровень потребления n-3 составляет 1,5 г, в том числе ЭПК — 0,7 г/сут, ДГК — 0,8 г/сут. Пониженное потребление данных веществ постепенно приводит к изменению жирно-кислотного состава в клеточных мембранах, к различным нарушениям их функций и возникновению различных заболеваний и расстройств [Hibbeln et al., 2006; McNamara, Carlson, 2006; Robert, 2006; Plourde, Cunnane, 2007; Harris et al., 2009; Saldanha et al., 2009; Wall et al., 2010].

Широкий спектр клинико-фармакологических эффектов n-3 ПНЖК, включающий способность к торможению развития различных заболеваний, указывает на необходимость изучения объектов с повышенным содержанием ценных липидов.

Ценным сырьем для получения продуктов с повышенным содержанием липидов, богатых ПНЖК семейства n-3, являются жирные рыбы дальневосточных морей. В работах ученых ТИНРО-центра приведены сведения о составе жирных кислот лососевых рыб, сайры тихоокеанской и других видов [Акулин, Первунинская, 1974; Швидкая, 1992; Акулин и др., 1995; Шульгина и др., 2017а, б]. Японская скумбрия осталась за пределами внимания как возможный источник n-3 жирных кислот. Вместе с тем, согласно классификации И.П. Леванидова [1968], она также относится к группе жирных рыб. Допустимый объем изъятия скумбрии японской в водах дальневосточных морей составлял примерно 130,0 тыс. т*.

Основные уловы японской скумбрии направляются на производство консервов.

Цель настоящей работы — оценить пищевую ценность, состав липидов и жирных кислот японской скумбрии разных размерных групп в связи с рациональным использованием.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовали образцы мороженой японской скумбрии из промышленных партий, изготовленной по ГОСТ 32366. Рыба была заморожена в блоках по 10 кг, срок хранения мороженных образцов составлял не более 2 мес. при температуре минус 18 °С. После размораживания блока отбирали из различных мест пробы рыбы массой не менее 0,3 кг и составляли из них объединенную пробу.

Для проведения сравнительных исследований по составу липидов и жирных кислот была использована мороженная печень минтая, изготовленная по ОСТ 15-441 в условиях РТМС «Млечный путь» (ООО «Магеллан»). Срок хранения печени минтая составлял 1 мес. при температуре минус 18 °С.

Подготовку проб к анализу и определение массовой доли жира и других компонентов в составе мышечной ткани рыбы и печени минтая проводили по ГОСТ 7636-85.

Для исследования фракционного состава липидов использовали метод тонкослойной хроматографии на аналитических пластинках «Sorbfil» («Сорбполимер», Россия) в системе растворителей гексан : диэтиловый эфир : уксусная кислота — 70 : 30 : 2 (по объему) в качестве элюента. Для проявления хроматограмм применяли 10 %-ный спиртовой раствор фосформолибденовой кислоты с последующим нагреванием пластинок при 110 °С. Идентификацию отдельных классов липидов проводили методом сравнения с нанесенными на пластинку стандартными соединениями. Для количественного опре-

* Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна: материалы к прогнозу общего вылова гидробионтов на 2017 г. Владивосток: ТИНРО-центр, 2017. 139 с.

деления применяли программное обеспечение ImageJ (National Institute of Health, США, v.1.47) [Schneider et al., 2012; Laggai et al., 2013].

Для определения состава жирных кислот общие липиды переводили в метиловые эфиры жирных кислот [Caireau, Dubacq, 1978], которые после очистки препаративной тонкослойной хроматографией анализировали на хроматографе Shimadzu GC-16A (Япония) с использованием капиллярной колонки SupelcowaxTM 10 (30,0 x 0,32 мм, толщина пленки 0,25 мкм, Supelco, США) и пламенно-ионизационного детектора при температуре колонки 190 °С и температуре инжектора и детектора 240 °С. В качестве газа-носителя использовали гелий со скоростью потока 1 мл/мин и делителем потока 1/60. Идентификацию жирных кислот проводили с использованием индексов эквивалентной длины цепи [Christie, 1988]. Содержание отдельных жирных кислот определяли по площадям пиков с помощью базы обработки данных Shimadzu Chromatorpac C-R4A (Япония).

Результаты и их обсуждение

Размерный состав в промышленных партиях японской скумбрии определяли после размораживания и измерения длины и массы. Согласно ГОСТ 1368 рыбу размером менее 20 см относили к категории мелкой, более 20 см — к крупной. Было установлено, что доля мелкоразмерной скумбрии японской в промышленных партиях достигает не менее 15 %. Для производства натуральных консервов она не используется. В этой связи для оценки пищевой и биологической ценности мелкой скумбрии и обоснования использования ее в технологии консервов дальнейшие исследования химического состава, липидов и жирных кислот проводили в зависимости от размера рыбы.

Результаты исследования размерного и массового состава японской скумбрии приведены в табл. 1. Установлено, что выход тушки из крупной и мелкой скумбрии различается незначительно. Это обуславливает целесообразность использования мелкой скумбрии в консервном производстве, так как при разделке рыбы для натуральных консервов хребтовые и реберные кости не удаляются.

Таблица 1
Размерно-массовый состав японской скумбрии
Table 1
Size-weight composition of chub mackerel

Рыба	Длина, см	Масса, г	Выход, % от массы целой рыбы		
			Тушка	Филе	Отходы
Крупная	<u>20,1–34,6</u>	<u>109,6–476,2</u>	<u>64,4–72,2</u>	<u>58,6–67,2</u>	<u>37,1–40,3</u>
	30,1	332,2	68,9	62,0	38,3
Мелкая	<u>18,1–20,0</u>	<u>93,0–131,0</u>	<u>60,6–67,7</u>	<u>48,5–56,9</u>	<u>37,0–42,8</u>
	19,0	107,9	65,9	48,7	39,3

Примечание. Над чертой — разброс значений; под чертой — среднее значение.

Результаты исследований химического состава мышечной ткани японской скумбрии показали (табл. 2), что крупная рыба по сравнению с мелкой характеризуется меньшим содержанием белков и более высоким — липидов. Скумбрия, содержание жира в которой составляет 23,0 %, согласно классификации И.П. Леванидова [1968] относится к группе особо жирных рыб, а мелкая (8,5 %) — жирных рыб. По калорийности мясо мелкой скумбрии относится к группе среднеэнергетического сырья (165 ккал/693 кДж), а крупной — высокоэнергетического (282 ккал/1186 кДж).

Результаты исследования состава липидов в мышечной ткани японской скумбрии в зависимости от размерных групп приведены на рисунке. Установлено, что основным классом липидов мяса скумбрии являются триацилглицериды, содержание которых в крупной рыбе составило 77,5 %, в мелкой — 74,5 %. Липиды скумбрии отличаются высоким содержанием фосфолипидов, причем в мелкой рыбе их доля (14,9 %) в 1,8 раза выше, чем в крупной (8,4 %). При сравнении состава липидов мышечной ткани скумбрии и печени тресковых рыб, из которой в настоящее время получают пищевой

Химический состав и энергетическая ценность мышечной ткани японской скумбрии разных размерных групп, %

Table 2

Chemical composition and energy value of muscle tissue for chub mackerel of certain size groups, %

Показатель	Скумбрия	
	Мелкая	Крупная
Вода	68,4 ± 3,3	57,2 ± 3,0
Белок	22,1 ± 1,3	18,4 ± 1,7
Жир	8,5 ± 0,5	23,2 ± 1,2
Минеральные вещества	1,4 ± 0,2	1,2 ± 0,1

и медицинский рыбный жир [Дворянинова и др., 2016], установлено, что содержание фосфолипидов в мышечной ткани скумбрии превышает в 2–3 раза таковое в печени минтая и трески. Повышенное количество фосфолипидов указывает на высокую активность липидов скумбрии и обуславливает высокую биологическую ценность.

Состав липидов в мышечной ткани японской скумбрии, %: ТГ — триацилглицериды; СЖК — свободные жирные кислоты; СТ — стерины; ДГ — диацилглицериды; ФЛ — фосфолипиды
Main classes of lipids from muscular tissue of chub mackerel, %: ТГ — triacylglycerides; СЖК — free fatty acids; СТ — sterols; ДГ — diacylglycerides; ФЛ — phospholipids

Содержание свободных жирных кислот (8,6 %) и стеринов (5,2 %) в липидах крупной скумбрии выше, чем мелкой (соответственно 5,0 и 3,4 %), однако в крупной практически отсутствуют стерины (0,2 %).

При изучении жирнокислотного состава липидов мышечной ткани японской скумбрии установлено, что преобладающими являлись ненасыщенные жирные кислоты, общая сумма которых в мелкой рыбе составила 70,82, в крупной — 74,65 %. Достоверных различий по содержанию НЖК в липидах мышечной ткани крупной (25,07 % от общей суммы жирных кислот) и мелкой (26,96 %) скумбрии не отмечено (табл. 3). В группе насыщенных жирных кислот преобладали пальмитиновая (16:0) и миристиновая (14:0) кислоты, содержание которых составляло соответственно 53,3 и 23,8 % от суммы насыщенных жирных кислот.

В зависимости от размера и массы рыбы отмечены некоторые различия в содержании ненасыщенных жирных кислот. Содержание МНЖК в липидах крупной скумбрии составило 37,97 %, что больше, чем в липидах мелкой рыбы (34,54 %). В этой группе преобладали олеиновая кислота (18:1 n-9), изомеры эруковой (22:1 n-11) и гадолеиновой (20:1 n-11) кислот в липидах как мелкой, так и крупной рыбы. Особый интерес представляет изомер эруковой кислоты, содержание которого в мелкой скумбрии составило 21,8 % от суммы МНЖК, в крупной — 26,3 %. По данным иностранных авторов

Таблица 3

Состав жирных кислот в липидах мышечной ткани японской скумбрии
разных размерных групп, % от общей суммы жирных кислот

Table 3

Composition of fatty acids in the lipids from muscle tissue of chub mackerel,
% of summary fatty acids

Жирная кислота	Скумбрия	
	Мелкая	Крупная
13:0	0,16	0,16
14:0	6,04	7,35
i-15:0	0,33	0,35
ai-15:0	0,11	–
15:0	0,66	0,52
i-16:0	0,12	–
16:0	14,37	13,00
i-17:0	0,34	0,25
ai-17:0	0,17	0,18
17:0	0,58	0,40
i-18:0	0,33	0,28
18:0	3,18	2,13
19:0	0,39	0,27
20:0	0,18	0,18
Σ НЖК	26,96	25,07
16:1 n-7	3,82	3,94
16:1 n-5	0,39	0,61
17:1 n-9	0,51	0,45
18:1 n-11	–	0,11
18:1 n-9	9,97	8,07
18:1 n-7	2,17	1,62
18:1 n-5	0,74	0,90
19:1 n-9	0,11	–
20:1 n-11	5,74	9,47
20:1 n-9	2,52	2,03
20:1 n-7	0,20	0,13
20:1 n-5	0,16	0,15
22:1 n-11	7,52	9,98
22:1 n-9	0,69	0,51
Σ МНЖК	34,54	37,97
16:2 n-4	1,18	1,13
16:4 n-3	0,11	–
16:4 n-1	0,24	0,13
18:2 n-9	–	0,10
18:2 n-6	1,73	1,79
18:2 n-4	0,12	0,10
18:3 n-6	0,17	0,16
18:3 n-3	2,06	1,55
18:4 n-3	8,69	5,23
20:2 n-6	0,22	0,27
20:3 n-9	0,41	0,82
20:3 n-6	–	0,29
20:3 n-3	0,16	0,18
20:4 n-6	0,43	0,67
20:4 n-3	1,43	1,12
20:5 n-3	8,33	7,98
21:5 n-3	0,48	0,46
22:2 n-6	0,13	0,15
22:4 n-6	–	0,23
22:5 n-3	0,98	1,29
22:6 n-3	9,41	13,03
Σ ПНЖК	36,28	36,68

[Aherne et al., 1976; Corner, 1983; Sauer, Kramer, 1983], сама эруковая кислота (22:1 n-9) снижает ценность рыбного жира, так как негативно влияет на организм человека, вызывая нарушения липидного обмена. Но в липидах японской скумбрии независимо от размерной группы ее крайне мало. Изомер эруковой кислоты (22:1 n-11), наоборот, способствует нормализации обменных процессов в организме человека, что также повышает ценность липидов скумбрии.

По содержанию ПНЖК липиды крупной и мелкой японской скумбрии близки (соответственно 36,68 и 36,28 %). Их доля в липидах мышечной ткани мелкой скумбрии самая большая от общей суммы жирных кислот. В скумбрии 85,0–86,2 % ПНЖК представлены жирными кислотами семейства n-3, содержание n-6 (7,3–10,2 %) в 8–10 раз меньше. Основная часть ПНЖК n-3 в липидах скумбрии представлена докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислотами.

В крупной скумбрии содержание ДГК составляло 13,01 % от общей суммы жирных кислот. Ее доля в сумме ПНЖК n-3 достигала 35,45 %. В мелкой рыбе ДГК составляло 9,41 % от общей суммы жирных кислот и 25,90 % — от суммы ПНЖК n-3. Содержание ДГК в рыбе обуславливает высокую эффективность ее липидного компонента, так как при оценке фармпрепаратов и БАД к пище в последнее десятилетие акцентируется большое внимание на этом показателе.

Содержание ЭПК в липидах крупной скумбрии составило 7,98 %, мелкой — 8,33 % от общей суммы жирных кислот, что меньше по сравнению с количеством ДКГ (соответственно 13,03 и 9,41 %). Доля ЭПК среди ПНЖК n-3 составляла в мелкой рыбе — 22,96 %, в крупной — 21,76 %.

В составе жирных кислот семейства n-3 липидов скумбрии обнаружено высокое содержание стиридовой жирной кислоты (18:4 n-3), ее количество в крупной рыбе составило 5,23 %, в мелкой — 8,69 % от общей суммы жирных кислот. Известно, что стиридовая кислота является метаболическим предшественником ЭПК, в которую она способна преобразовываться в организме человека. По данным иностранных авторов [Bernal-Santos et al., 2010], она оказывает сильнейшее положительное воздействие на организм человека, проявляя различные эффекты, в том числе антираковый. Безусловно, присутствие стиридовой жирной кислоты указывает на высокую ценность липидов японской скумбрии.

При пересчете количества жирных кислот семейства n-3 и суммы ЭПК и ДГК на порцию продукта установлено, что 100 г мышечной ткани японской скумбрии разных размерных групп позволяет удовлетворить суточную потребность организма взрослого человека в этих ценных липидах. Рекомендуемая суточная норма их потребления составляет 1,5 г [МР 2.3.1.1915]. В липидах мелкой рыбы общая сумма ПНЖК семейства n-3 составила 2,6 г/100 г мяса, в крупной — 7,3 г/100 г, а содержание ЭПК и ДГК — соответственно 1,8 и 4,1 г/100 г мяса.

При сравнении состава жирных кислот липидов мышечной ткани японской скумбрии и печени тресковых рыб, в настоящее время представляющей основной источник пищевого и медицинского жира, установлено (табл. 4), что содержание ПНЖК в липидах мышечной ткани скумбрии (36,28–36,68 %) выше, чем в печени минтая и

Таблица 4
Сравнительная характеристика состава жирных кислот липидов мышечной ткани скумбрии и печени тресковых рыб, % от суммы жирных кислот

Table 4
Comparative characteristics of fatty acids composition in lipids from muscles of chub mackerel and from liver of Gadidae fish, % of summary fatty acids

Жирные кислоты	Скумбрия		Печень	
	Мелкая	Крупная	Минтай	Треска [Дворянинова и др., 2016]
Насыщенные	26,96	25,07	21,57	17,41
Мононенасыщенные	34,54	37,97	56,26	53,20
Полиненасыщенные	36,28	36,68	19,23	25,55
Сумма ЭПК+ДГК	21,01	17,74	15,57	21,85

трески (соответственно 19,23 и 25,55 %). Сумма ЭПК+ДГК в мышечной ткани мелкой скумбрии (21,01 %) близка их количеству в печени трески (21,85 %) [Дворянинова и др., 2016]. В липидах крупной скумбрии их содержание составляло 17,74 %, что выше, чем в липидах печени минтая, — 15,57 %. Приведенные данные показывают, что скумбрия разных размерных групп представляет собой богатый источник жирных кислот семейства n-3 и не уступает традиционным источникам — печени тресковых рыб.

Выводы

Японская скумбрия разных размерных групп различается по содержанию в ней основных пищевых веществ — белков и липидов. Содержание белков в крупной скумбрии (длина более 20 см) составляет $18,4 \pm 1,7$ %, в мелкой (длина тела менее 20 см) — $22,1 \pm 1,3$ %; липидов — соответственно $23,2 \pm 1,1$ и $8,5 \pm 0,5$ %. Высокий выход тушки мелкой скумбрии (65,9 %) обуславливает перспективность ее использования в консервном производстве.

Основным классом липидов мышечной ткани японской скумбрии являются триацилглицериды, содержание которых находится в пределах 74,5–77,5 % независимо от размера рыбы. В липидах скумбрии установлено высокое содержание фосфолипидов, причем в мелкоразмерной рыбе (14,9 %) их больше, чем в крупной (8,4 %).

Содержание ПНЖК в мелкой рыбе составляет 36,28 %, в крупной — 36,68 % от общей суммы жирных кислот; МНЖК — соответственно 34,54 и 37,97 %. Основная часть ПНЖК в липидах скумбрии японской (85,0–86,2 %) представлена жирными кислотами семейства n-3, среди которых доминируют ДГК и ЭПК.

В группе ПНЖК установлено высокое содержание стириновой жирной кислоты (18:4 n-3), которая в организме человека является предшественником ЭПК. Ее содержание в мелкой рыбе (8,69 %) не уступает количеству в ней ЭПК (8,33 %).

Содержание жирных кислот семейства n-3 в мышечной ткани японской скумбрии разных размерных групп (2,6 г/100 г — в мелкой и 7,3 г/100 г — в крупной) позволяет удовлетворить суточную потребность организма взрослого человека в этих ценных липидах.

Особенности состава липидов и жирных кислот обуславливают высокую ценность, лечебную и профилактическую значимость японской скумбрии, которая является одним из богатых природных источников фосфолипидов и ПНЖК семейства n-3.

Список литературы

- Акулин В.Н., Блинов Ю.Г., Швидкая З.П., Попков А.А. Состав липидов натуральных консервов из некоторых видов рыб и беспозвоночных // Изв. ТИНРО. — 1995. — Т. 118. — С. 48–53.
- Акулин В.Н., Первушинская Т.А. Жирнокислотный состав липидов некоторых видов тихоокеанских рыб // Исследования по технологии рыбных продуктов. — Владивосток : ТИНРО, 1974. — Вып. 5. — С. 39–42.
- Гайковая Л.Б. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты: лабораторные методы в оценке их многофакторного действия // Обзоры по клин. фармакол. и лек. терапии. — 2010. — Т. 8, № 4. — С. 3–14.
- Гроза Н.В., Голованов А.Б., Наливайко Е.А., Мягкова Г.И. Терапевтическая роль полиненасыщенных жирных кислот и их производных в патофизиологических процессах // Вестн. МИТХТ. — 2012. — Т. 7, № 5. — С. 3–16.
- Дворянинова О.П., Соколов А.В., Алехина А.В. Новые сырьевые источники рыбьего жира: физико-химические показатели качества, пищевая и биологическая ценность // Рыб. хоз-во. — 2016. — № 5. — С. 112–117.
- Запорожская Л.И., Гаммель И.В. Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский совет. — 2012. — № 12. — С. 134–136.
- Леванидов И.П. Классификация рыб по содержанию в их мясе жира и белков // Рыб. хоз-во. — 1968. — № 9. — С. 50–51; № 10. — С. 64–66.
- Левачев М.М. Жиры, полиненасыщенные жирные кислоты, фосфолипиды: биологическая роль и применение в профилактической и клинической медицине. Введение в частную микронутриентологию : моногр. — Новосибирск : Академиздат, 1999. — 284 с.
- Нетребенко О.К., Щеплягина Л.А. Иммунонутриенты в питании детей // Педиатрия. — 2006. — Т. 85, № 6. — С. 61–66.

Синчихин С.П., Мамиев О.Б. Перспективы использования омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в акушерстве и гинекологии // Астраханский медицинский журнал. — 2010. — Т. 5, № 3. — С. 19–24.

Ушкалова Е.А. Место эссенциальных фосфолипидов в современной медицине // Фарматека. — 2003. — № 10(73). — С. 10–15.

Швидкая З.П. Консервы «Сельдь иваси натуральная» — источник ЭПК в питании человека // Экологические проблемы питания населения Украины : тез. докл. Междунар. конф. — Киев, 1992. — С. 109.

Шульгина Л.В., Давлетшина Т.А., Павловский А.М. и др. Консервы из сайры тихоокеанской — источник полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 // Изв. ТИПРО. — 2017а. — Т. 191. — С. 235–242. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-235-242.

Шульгина Л.В., Якуш Е.В., Давлетшина Т.А. и др. Полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 в продукции из дальневосточных рыб // Здоровье. Медицинская экология. Наука. — 2017б. — № 5. — С. 42–45. DOI: 10.5281/zenodo.1115456.

Aherne F.X., Bowland J.P., Christian R.G., Hardin R.T. Performance of myocardial and blood seral changes in pigs fed diets containing high or low erucic acid rapeseed oils // Can. J. Anim. Sci. — 1976. — Vol. 56. — P. 275–284. DOI: 10.4141/cjas76-032.

Bell M.V., Tocher D.R. Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in aquatic ecosystems: General pathways and new directions // Lipids in Aquatic Ecosystems / eds M.T. Arts, M. Brett, M. Kainz. — N.Y. : Springer, 2009. — P. 211–236. DOI: 10.1007/978-0-387-89366-2_9.

Bernal-Santos G., O'Donnell A.M., Vicini J.L. et al. Hot topic: Enhancing omega-3 fatty acids in milk fat of dairy cows by using stearidonic acid-enriched soybean oil from genetically modified soybeans // J. Dairy Sci. — 2010. — Vol. 93, Iss. 1. — P. 32–37. DOI: 10.3168/jds.2009-2711.

Carreau J.P., Dubacq J.P. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // J. Chromatogr. — 1978. — Vol. 151, Iss. 3. — P. 384–390. DOI: 10.1016/S0021-9673(00)88356-9.

Christie W.W. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal // J. Chromatogr. — 1988. — Vol. 447, Iss. 2. — P. 305–314. DOI: 10.1016/0021-9673(88)90040-4.

Corner A.H. Cardiopathology associated with the feeding of vegetable and marine oils // High and Low Erucic Acid Rapeseed Oils. Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Examination / eds J.K.G. Kramer, F.D. Sauer, W.J. Pigden. — Toronto : Academic Press, 1983. — P. 293–313.

Cunningham-Rundles S. Is the fatty acid composition of immune cells the key to normal variations in human immune response? // Am. J. Clin. Nutr. — 2003. — Vol. 77, Iss. 5. — P. 1096–1097. DOI: 10.1093/ajcn/77.5.1096.

Harris W.S., Mozaffarian D., Lefevre M. et al. Towards establishing dietary reference intakes for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids // J. Nutr. — 2009. — Vol. 139, Iss. 4. — P. 804S–819S. DOI: 10.3945/jn.108.101329.

Hibbeln J.R., Nieminen L.R.G., Blasbalg T.L. et al. Healthy intakes of n-3 and n-6 fatty acids: estimations considering worldwide diversity // Am. J. Clin. Nutr. — 2006. — Vol. 83, Iss. 6. — P. 1483S–1493S. DOI: 10.1093/ajcn/83.6.1483S.

Laggai S., Simon Y., Ransweiler T. et al. Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // World J. Hepatol. — 2013. — Vol. 5, Iss. 10. — P. 558–567. DOI: 10.4254/wjh.v5.i10.558.

Lands W.E.M. Human life: caught in the food web // Lipids in aquatic ecosystems / eds M.T. Arts, M.T. Brett, M.J. Kainz. — N.Y. : Springer, 2009. — P. 327–354.

Lewis E.J. Omega-3 fatty acid supplementation and cardiovascular disease events // JAMA. — 2013. — Vol. 309, № 1. — P. 27.

McNamara R.K., Carlson S.E. Role of omega-3 fatty acids in brain development and function: Potential implications for the pathogenesis and prevention of psychopathology // Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. — 2006. — Vol. 75, Iss. 4–5. — P. 329–349. DOI: 10.1016/j.plefa.2006.07.010.

Plourde M., Cunnane S.C. Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: implications for their dietary essentiality and use as supplements // Appl. Physiol. Nutr. Metab. — 2007. — Vol. 32, № 4. — P. 619–634. DOI: 10.1139/H07-034.

Robert S.S. Production of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid-containing oils in transgenic land plants for human and aquaculture nutrition // Mar. Biotechnol. — 2006. — Vol. 8, Iss. 2. — P. 103–109. DOI: 10.1007/s10126-005-5142-x.

Saldanha L.G., Salem N.Jr., Brenna J.T. Workshop on DHA as a required nutrient: Overview // Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. — 2009. — Vol. 81, Iss. 2–3. — P. 233–236. DOI: 10.1016/j.plefa.2009.07.001.

Sanz París A., Marí Sanchis A., García Malpartida K., García Gómez M.C. Proposed profile of omega 3 fatty acids in enteral nutrition // *Nutr. Hosp.* — 2012. — Vol. 27, № 6. — P. 1782–1802. DOI: 10.3305/nh.2012.27.6.6023.

Sauer F.D., Kramer J.K.G. The problems associated with the feeding of high erucic acid rapeseed oils and some fish oils to experimental animals // *High and Low Erucic Acid Rapeseed Oils. Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Examination* / eds J.K.G. Kramer, F.D. Sauer, W.J. Pigden. — Toronto : Academic Press, 1983. — P. 253–292.

Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // *Nat. Methods.* — 2012. — Vol. 9, № 7. — P. 671–675.

Wall R., Ross R.P., Fitzgerald G.F., Stanton C. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids // *Nutr. Rev.* — 2010. — Vol. 68, Iss. 5. — P. 280–289. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00287.x.

References

Akulin, V.N., Blinov, Yu.G., Shvidkaya, Z.P., and Popkov, A.A., Lipid composition of natural canned products from several species of fish and invertebrates, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1995, vol. 118, pp. 48–53.

Akulin, V.N. and Pervuninskaya T.A., Fatty acid composition of lipids of some Pacific species, in *Issledovaniya po tekhnologii rybnikh produktov* (Investigations on the Technology of Fish Products), Vladivostok: TINRO, 1974, no. 5, pp. 39–42.

Gaikovaya, L.B., Omega-3 polyunsaturated fatty acids: Laboratory methods in assessment of their multifactor effects, *Obz. Klin. Farmakol. Lek. Ter.*, vol. 8, no. 4, pp. 3–14.

Groza, N.V., Golovanov, A.B., Nalivayko, E.A., and Myagkova, G.I., Therapeutic role of polyunsaturated fatty acids and of their derivatives in pathophysiological processes, *Vestn. Mosk. Inst. Tonkikh Khim. Tekhnol.*, 2012, vol. 7, no. 5, pp. 3–16.

Dvoryaninova, O.P., Sokolov, A.V., and Alekhina, A.V., New raw material sources of fish oil: Physical and chemical indicators of quality, nutritional and biological value, *Rybn. Khoz.*, 2016, no. 5, pp. 112–117.

Zaporozhskaya, L.I. and Gammel', I.V., Characteristics and biological role of essential polyunsaturated fatty acids, *Med. Sov.*, 2012, no. 12, pp. 134–136.

Levanidov, I.P., Classification of fish by the fat and protein content of their meat, *Rybn. Khoz.*, 1968, no. 9, pp. 50–51; no. 10, pp. 64–66.

Levachev, M.M., Fats, polyunsaturated fatty acids, and phospholipids: The biological role and application in preventive and clinical medicine, *Vvedenie v chastnuyu mikronutrientologiyu* (Introduction to Special Micronutrientology), Novosibirsk: Akademizdat, 1999.

Netrebenko, O.K. and Shcheplyagina, L.A., Immunonutrients in the diet of children, *Pediatrya*, 2006, vol. 85, no. 6, pp. 61–66.

Sinchikhin, S.P. and Mamiev, O.B., Prospects for the use of omega-3 polyunsaturated fatty acids in obstetrics and gynecology, *Astrakh. Med. Zh.*, 2010, vol. 5, no. 3, pp. 19–24.

Ushkalova, E.A., The place of essential phospholipids in modern medicine, *Farmateka*, 2003, no. 10(73), pp. 10–15.

Shvidkaya, Z.P., Canned “Natural Ivasi herring”, a source of EPA in human nutrition, in *Tezisy dokl. Mezhdunar. konf. “Ekologicheskie problemy pitaniya naseleniya Ukrainy”* (Proc. Int. Conf. “Ecological Problems of Nutrition of the Population of Ukraine”), Kiev, 1992, pp. 109.

Shulgina, L.V., Davletshina, T.A., Pavlovsky, A.M., Solodova, E.A., Pavel', K.G., and Yakush, E.V., Canned goods from pacific saury — a source of polyunsaturated fatty acids of the omega-3 family, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017a, vol. 191, pp. 235–242. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-235-242

Shulgina, L.V., Yakush, E.V., Davletshina, T.A., Pavlovskiy, A.M., Pavel', K.G., and Kos'janov, S.P., Polyunsaturated fatty acids of omega-3 in foods from Far Eastern fish, *Zdorov'ye. Med. Ekol. Nauka*, 2017b, no. 5, pp. 42–45. doi 10.5281/zenodo.1115456

Aherne, F.X., Bowland, J.P., Christian, R.G., Hardin, R.T., Performance of myocardial and blood serum changes in pigs fed diets containing high or low erucic acid rapeseed oils, *Can. J. Anim. Sci.*, 1976, vol. 56, pp. 275–284. doi 10.4141/cjas76-032

Bell, M.V. and Tocher, D.R., Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in aquatic ecosystems: General pathways and new directions, *Lipids in Aquatic Ecosystems*, Arts, M.T., Brett, M., and Kainz, M., Eds., New York: Springer, 2009, pp. 211–236. doi 10.1007/978-0-387-89366-2_9

Bernal-Santos, G., O'Donnell, A.M., Vicini, J.L., Hartnell, G.F., and Bauman, D.E., Hot topic: Enhancing omega-3 fatty acids in milk fat of dairy cows by using stearidonic acid-enriched soybean oil from genetically modified soybeans, *J. Dairy Sci.*, 2010, vol. 93, no. 1, pp. 32–37. doi 10.3168/jds.2009-2711

Carreau, J.P. and Dubacq, J.P., Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts, *J. Chromatogr.*, 1978, vol. 151, no. 3, pp. 384–390. doi 10.1016/S0021-9673(00)88356-9

Christie, W.W., Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal, *J. Chromatogr.*, 1988, vol. 447, no. 2, pp. 305–314. doi 10.1016/0021-9673(88)90040-4

Corner, A.H., Cardiopathology associated with the feeding of vegetable and marine oils, *High and Low Erucic Acid Rapeseed Oils. Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Examination*, Kramer, J.K.G., Sauer, F.D., and Pigden, W.J., Eds., Toronto: Academic Press, 1983, pp. 293–313.

Cunningham-Rundles, S., Is the fatty acid composition of immune cells the key to normal variations in human immune response?, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2003, vol. 77, no. 5, pp. 1096–1097. doi 10.1093/ajcn/77.5.1096

Harris, W.S., Mozaffarian, D., Lefevre M., Toner, C.D., Colombo, J., Cunnane, S.C., Holden, J.M., Klurfeld, D.M., Morris, M.C., and Whelan, J., Towards establishing dietary reference intakes for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids, *J. Nutr.*, 2009, vol. 139, no. 4, pp. 804S–819S. doi 10.3945/jn.108.101329

Hibbeln, J.R., Nieminen, L.R.G., Blasbalg, T.L., Riggs, J.A., and Lands, W.E.M., Healthy intakes of n-3 and n-6 fatty acids: estimations considering worldwide diversity, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2006, vol. 83, no. 6, pp. 1483S–1493S. DOI 10.1093/ajcn/83.6.1483S.

Laggai, S., Simon, Y., Ransweiler, T., Kiemer, A.K., and Kessler, S.M., Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH, *World J. Hepatol.*, 2013, vol. 5, no. 10, pp. 558–567. doi 10.4254/wjh.v5.i10.558

Lands, W.E.M., Human life: caught in the food web, *Lipids in Aquatic Ecosystems*, Arts, M.T., Brett, M.T., and Kainz, M.J., Eds., New York: Springer, 2009, pp. 327–354.

Lewis, E.J., Omega-3 fatty acid supplementation and cardiovascular disease events, *JAMA*, 2013, vol. 309, no. 1, pp. 27.

McNamara, R.K. and Carlson, S.E., Role of omega-3 fatty acids in brain development and function: Potential implications for the pathogenesis and prevention of psychopathology, *Prostaglandins, Leukotrienes Essent. Fatty Acids*, 2006, vol. 75, no. 4–5, pp. 329–349. doi 10.1016/j.plefa.2006.07.010

Plourde, M. and Cunnane, S.C., Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: implications for their dietary essentiality and use as supplements, *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 2007, vol. 32, no. 4, pp. 619–634. doi 10.1139/H07-034

Robert, S.S., Production of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid-containing oils in transgenic land plants for human and aquaculture nutrition, *Mar. Biotechnol.*, 2006, vol. 8, no. 2, pp. 103–109. doi 10.1007/s10126-005-5142-x

Saldanha, L.G., Salem, N., Jr., Brenna, J.T., Workshop on DHA as a required nutrient: Overview, *Prostaglandins, Leukotrienes Essent. Fatty Acids*, 2009, vol. 81, nos. 2–3, pp. 233–236. doi 10.1016/j.plefa.2009.07.001

Sanz París, A., Mari Sanchis, A., García Malpartida, K., and García Gómez, M.C., Proposed profile of omega 3 fatty acids in enteral nutrition, *Nutr. Hosp.*, 2012, vol. 27, no. 6, pp. 1782–1802. doi 10.3305/nh.2012.27.6.6023

Sauer, F.D. and Kramer, J.K.G., The problems associated with the feeding of high erucic acid rapeseed oils and some fish oils to experimental animals, *High and Low Erucic Acid Rapeseed Oils. Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Examination*, Kramer, J.K.G., Sauer, F.D., Pigden, W.J., Eds., Toronto: Academic Press, 1983, pp. 253–292.

Schneider, C.A., Rasband, W.S., and Eliceiri, K.W., NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis, *Nat. Methods*, 2012, vol. 9, no. 7, pp. 671–675.

Wall, R., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F., and Stanton, C., Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids, *Nutr. Rev.*, 2010, vol. 68, no. 5, pp. 280–289. doi 10.1111/j.1753-4887.2010.00287.x

Sostoyanie promyslovyykh resursov Dal'nevostochnogo rybnokhozyaystvennogo basseina: materialy k prognozu obshchego vylova gidrobiontov na 2017 g. (Status of Fishery Resources in the Far Eastern Fishery Basin: Materials to the Prediction of Total Catch of Aquatic Species for 2017), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2017.

Поступила в редакцию 16.10.2018 г.

После доработки 6.12.2018 г.

Принята к публикации 15.01.2019 г.