

УДК 577.115.3:639.21

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЛИПИДОВ РЫБ р. БАРГУЗИН (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

© 2024 г. С. В. Базарсадуева^{а,*}, Е. П. Никитина^а, Е. Ц. Пинтаева^а,
В. В. Тараскин^а, С. В. Жигжитжапова^а, Л. Д. Раднаева^а

^аБайкальский институт природопользования Сибирского отделения
Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия

*e-mail: bselmeg@gmail.com

Поступила в редакцию 01.11.2023 г.

После доработки 10.01.2024 г.

Принята к публикации 22.01.2024 г.

В последние годы возросло значение рыб как одного из компонентов здорового питания и высококачественного источника питательных веществ в рационе человека. Для оценки питательной ценности шести основных промысловых видов рыб (плотва *Rutilus rutilus*, лещ *Abramis brama*, карась *Carassius carassius*, сазан *Cyprinus carpio*, окунь *Perca fluviatilis*, щука *Esox lucius*) р. Баргузин (Восточное Прибайкалье) исследован жирно-кислотный состав общих липидов мышечной ткани рыб, рассчитаны их показатели качества. Анализ жирно-кислотного состава дорсальной мышечной ткани рыб проведен методом прямого метанолиза. Суммарное содержание насыщенных жирных кислот варьировало от 26 отн.% в сазане до 37 отн.% в леще, мононенасыщенных – от 17 отн.% в окуне до 32 отн.% в сазане, полиненасыщенных – от 42 отн.% в леще и сазане до 54 отн.% в щуке. Доминирующими жирными кислотами были пальмитиновая 16:0 (17.5–29.2 отн.%), олеиновая 18:1 (n-9) (17.5–29.2 отн.%), стеариновая 18:0 (5.0–8.0 отн.%) кислоты, а также полиненасыщенные, в том числе незаменимые докозагексаеновая 22:6(n-3) (9.7–24.9 отн.%), эйкозапентаеновая 20:5(n-3) (9.2–19.1 отн.%) и арахидоновая 20:4(n-6) (6.9–10.1 отн.%) кислоты. Выявлено, что соотношение $\Sigma(n-3)/\Sigma(n-6)$ полиненасыщенных жирных кислот достигает 2.8–4.6, что характерно для пресноводных рыб. Достаточно высокие индексы питательной ценности (NVI) и укрепления здоровья (NPI), соотношение гиперхолестеринемических жирных кислот к гипохолестеринемическим, а также значения индексов атерогенности и тромбогенности (<1) указывают на высокую питательную ценность мышечной ткани исследуемых рыб. К наиболее ценным пресноводным видам по содержанию (n-3) полиненасыщенных жирных кислот и наиболее богатыми в суммарном соотношении эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот (FLQ) можно отнести окуня и щуку.

Ключевые слова: пресноводные рыбы, р. Баргузин, показатели качества липидов рыб, жирные кислоты

DOI: 10.31857/S0320965224050149, **EDN:** XQIVAG

ВВЕДЕНИЕ

Липиды играют важную роль в клеточном метаболизме, а результаты исследований липидов и их жирно-кислотных компонентов имеют значение как для фундаментальной биологии и медицины, так и для решения прикладных проблем (Мурзина и др., 2019; Naceur et al., 2020). С одной стороны, липидные показатели считаются важнейшими маркерами физиолого-биохимической индикации состояния организмов и популяций при различных условиях обитания (Крепс,

1981; Hochachka, Somero, 2002). С другой стороны, липиды и их жирно-кислотные компоненты являются важным элементом здорового питания человека, в рационе которого основное место занимают жиры наземных млекопитающих, содержащие больше n-6 ПНЖК, однако потребление (n-3) ПНЖК населением недостаточно даже в высокоразвитых странах. Рыбы – основная группа гидробионтов, напрямую потребляемая в пищу человеком. Вместе с тем, Algren с соавт. (1994) показали, что наиболее жирные сорта рыб не всегда могут быть ценными источниками ПНЖК, поскольку повышенная жирность некоторых видов рыб связана с накоплением относительно малых уровней незаменимых ПНЖК и более высоких уровней НЖК и МНЖК, излишнее употребле-

Сокращения: АРК – арахидоновая кислота, ДГК – докозагексаеновая кислота, ЖК – жирные кислоты, МНЖК – мононенасыщенные ЖК, НЖК – насыщенные ЖК, ННЖК – ненасыщенные ЖК, ПНЖК – полиненасыщенные ЖК, ЭПК – эйкозапентаеновая кислота.

ние которых нежелательно. По данным Н.Н. Сушик (2008), по содержанию ЖК, в особенности ПНЖК, наибольшей диетической ценностью обладают маложирные и среднежирные сорта пресноводных рыб.

Река Баргузин — одна из крупнейших рек, впадающих в оз. Байкал (третий по величине приток). Она берет начало в отрогах Южно-Муйского хребта и впадает в Баргузинский залив оз. Байкал. В бассейне реки развито животноводство, в меньшей степени орошаемое земледелие, в нижнем течении реки преобладает рыбный промысел. Наиболее многочисленны и популярны для населения плотва, лещ, карась, сазан, окунь и щука.

Учитывая вышесказанное, цель работы — оценить качественные показатели липидного (в том

числе, жирно-кислотного) состава мышечной ткани основных промысловых видов рыб р. Баргузин (Восточное Прибайкалье).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы рыб р. Баргузин приобретали у местных рыболовов, имеющих лицензии на вылов, в июле 2022 г. (рис. 1). Рыбы были заморожены при температуре -18°C и транспортированы в лабораторию для проведения анализов в течение 3–7 сут. Исследованы образцы дорсальной мышечной ткани плотвы *Rutilus rutilus* L., леща *Abramis brama* L., карася *Carassius carassius* L., сазана *Cyprinus carpio* L., окуня *Perca fluviatilis* L. и щуки *Esox lucius* L. Биометрические данные исследуемых рыб представлены в табл. 1.

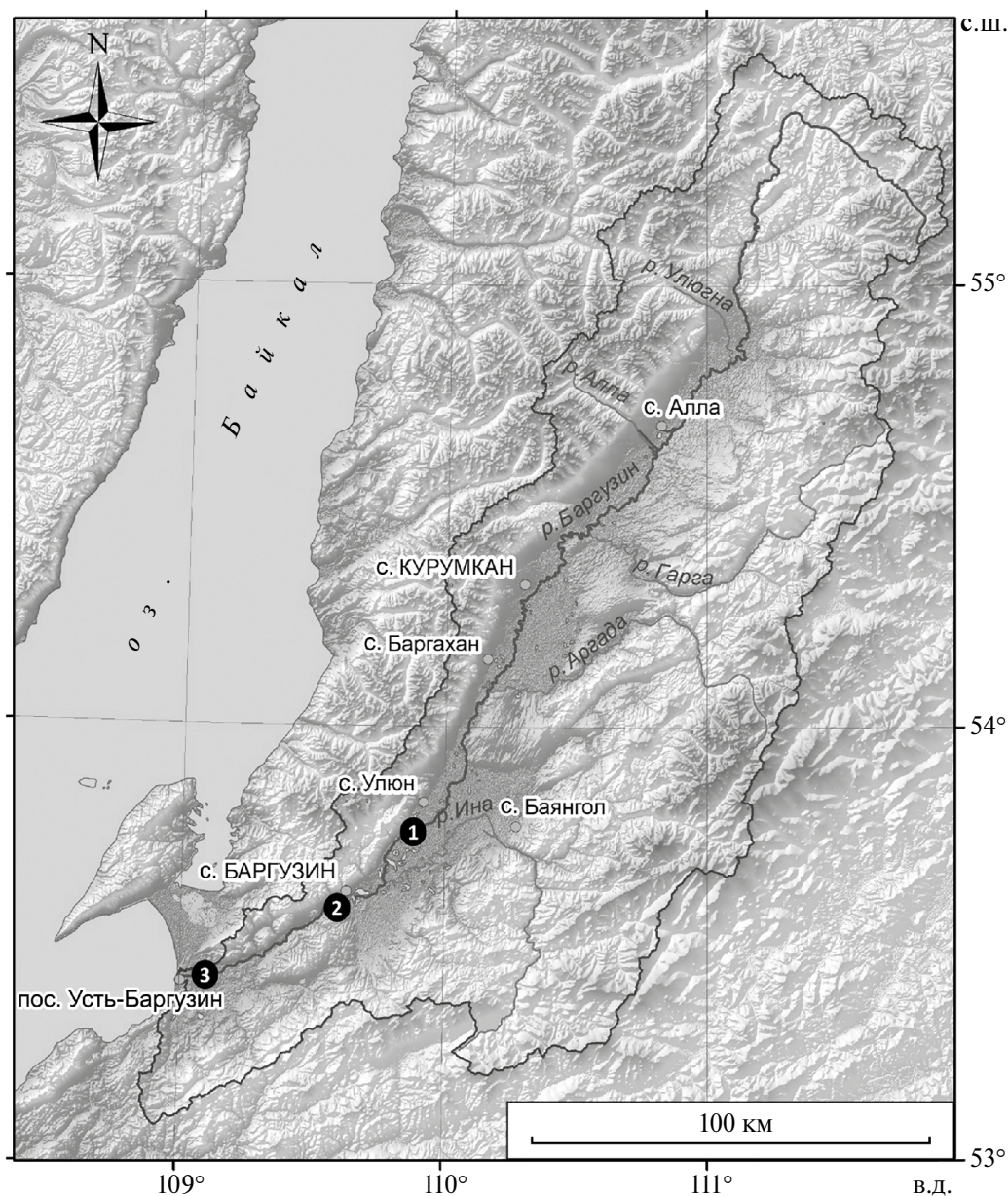


Рис. 1. Места отбора образцов рыб (• 1–3) в р. Баргузин (Восточное Прибайкалье).

Таблица 1. Биометрические данные рыб р. Баргузин

Вид	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>TL</i>
Плотва	15	<u>26–97</u> 59	<u>12.0–19.5</u> 16.1
Лещ	6	<u>312–674.5</u> 550	<u>30.5–39.0</u> 36.4
Карась	12	<u>220–565.5</u> 337	<u>22.0–29.0</u> 24.5
Сазан	7	<u>548–2224</u> 1309	<u>31.0–56.0</u> 43.0
Окунь	5	<u>267–636</u> 372	<u>26.5–34.0</u> 29.3
Щука	6	<u>344–687</u> 548	<u>40.0–50.5</u> 46.1

Примечание. *n* – количество образцов; *m* – масса тела, г; *TL* – абсолютная длина тела, см; над чертой – min–max, под чертой – среднее значение.

Жирно-кислотный состав дорсальной мышечной ткани рыб анализировали методом прямого метанолиза (Meier et al., 2006; Parrish et al., 2015; Bazarsadueva et al., 2021b). К навеске мышечной ткани рыб (~1.0 г) добавляли 1 мл раствора 2М HCl в метиловом спирте. Получение метиловых эфиров жирных кислот проводили в толстостен-

ных пробирках с тефлоновыми крышками в течение 2 ч при температуре 90°C в муфельной печи. Полученный раствор упаривали током аргона до половины объема. К полученной смеси добавляли 0.5 мл дистиллированной воды и 1 мл гексана. Верхний слой гексана отделяли, и процедуру экстракции повторяли дважды. Метиловые эфиры ЖК анализировали на газовом хроматографе Agilent Packard HP 6890 с квадрупольным масс-спектрометром HP MSD 5973N в качестве детектора в режиме общего сканирования. Для хроматографирования метиловых эфиров ЖК использовали колонку HP-5MS с внутренним диаметром 0.25 мм. Процентный состав смеси вычисляли по площадям газохроматографических пиков. Качественный анализ основан на сравнении времен удерживания и полных масс-спектров библиотеки данных NIST14.L и стандартных смесей FAME (Fatty Acid Methyl Esters) и BAME (Bacterial Acid Methyl Esters) (CP Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA).

Показатели качества липидов мышечной ткани рыб рассчитывали согласно следующим уравнениям (Ulbricht, Southgate, 1991; Garaffo et al., 2011; Telahigue et al., 2013; Łuczyńska et al., 2023):

Индекс атерогенности (AI):

$$AI = \frac{C12:0 + 4 \times (C14:0 + C16:0)}{\sum(n-3)ПНЖК + \sum(n-6)ПНЖК + \sum МНЖК}$$

Индекс тромбогенности (ТИ):

$$ТИ = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{\left(\frac{1}{2} \times C18:1\right) + \left(\frac{1}{2} \times \sum(\text{других МНЖК})\right) + \left(\frac{1}{2} \times \sum(n-6)ПНЖК\right) + (3 \times \sum(n-3)ПНЖК) + (\sum(n-3)ПНЖК / \sum(n-6)ПНЖК)}$$

Соотношение гипохолестеринемических ЖК к гиперхолестеринемическим (НН), которое дает представление о влиянии ЖК на уровень холестерина в крови (Ahmad et al., 2019; Chen, Liu 2020; Zula et al., 2021):

$$НН = \frac{C18:1(n-9) + C18:2(n-6) + C20:4(n-6) + C18:3(n-6) + 20:5(n-3) + C22:5(n-3) + C22:6(n-3)}{C14:0 + C16:0}$$

Показатель качества липидов мышечной ткани (FLQ):

$$FLQ = 100 \times \frac{\text{ЭПК} + \text{ДГК}}{\% \text{ всех ЖК}},$$

где ЭПК – эйкозапентаеновая 20:5(n-3) кислота, ДГК – докозагексаеновая 22:6(n-3) кислота.

Индекс пищевой ценности (NVI) (Chen, Liu, 2020):

$$NVI = C18:0 + \frac{C18:1}{C16:0}$$

Индекс укрепления здоровья (HPI) (Chen, Liu, 2020):

$$HPI = \frac{\sum ННЖК}{C12:0 + 4 \times (C14:0 + C16:0)}$$

Статистическую обработку результатов исследования и построение диаграмм проводили с использованием программных пакетов STATISTICA v. 13 и Microsoft Excel. Содержание ЖК представлено как среднее арифметическое значение ± стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получены данные по жирно-кислотному составу мышечной ткани рыб р. Баргузин (табл. 2), в зависимости от вида исследуемых рыб обнаружено от 17 до 29 жирных кислот.

В наибольшем количестве среди НЖК представлены пальмитиновая 16:0 и стеариновая 18:0 кислоты. НЖК с нечетным количеством атомов углерода (15:0, *iso*-15:0, *iso*-17:0, *aiso*-17:0, 17:0 и

Таблица 2. Жирно-кислотный состав и показатели качества липидов мышечной ткани рыб р. Баргузин

ЖК*	Содержание липидов в мышечной ткани рыб, отн. %					
	Сазан	Карась	Плотва	Лещ	Окунь	Щука
14:0	0.53 ± 0.05	0.33 ± 0.03	0.63 ± 0.05	0.36 ± 0.03	0.47 ± 0.04	0.35 ± 0.03
15–17 РЖК**	2.06 ± 0.17	1.50 ± 0.11	1.70 ± 0.15	0.98 ± 0.08	0.46 ± 0.05	1.00 ± 0.07
15:0	0.35 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.47 ± 0.04	—	—	—
16:0	17.51 ± 1.54	21.44 ± 2.08	20.76 ± 1.95	26.70 ± 2.74	29.16 ± 3.04	19.82 ± 2.07
17:0	0.52 ± 0.04	0.61 ± 0.05	0.56 ± 0.05	0.48 ± 0.04	0.32 ± 0.03	0.50 ± 0.05
18:0	4.99 ± 0.39	6.13 ± 0.55	6.37 ± 0.58	7.99 ± 0.74	5.33 ± 0.49	5.41 ± 0.48
19:0	0.14 ± 0.02	0.12 ± 0.01	—	—	—	—
20:0	0.13 ± 0.01	—	—	—	—	—
16:1 n-7	1.09 ± 0.09	0.45 ± 0.03	0.48 ± 0.04	3.91 ± 0.41	0.34 ± 0.03	0.24 ± 0.02
16:1 n-9	7.01 ± 0.51	3.83 ± 3.51	4.93 ± 0.39	0.45 ± 0.05	3.73 ± 0.34	0.33 ± 0.03
17:1 n-7	0.53 ± 0.04	0.41 ± 0.04	0.34 ± 0.03	—	0.18 ± 0.02	0.26 ± 0.02
18:1 n-7	4.07 ± 0.37	4.43 ± 0.40	4.47 ± 0.42	4.01 ± 0.37	3.04 ± 0.28	4.29 ± 0.36
18:1 n-9	18.04 ± 1.64	12.54 ± 1.19	15.04 ± 1.55	12.95 ± 1.21	9.69 ± 0.88	13.73 ± 1.40
20:1 n-9	1.36 ± 0.11	0.68 ± 0.05	0.66 ± 0.06	0.13 ± 0.01	—	0.54 ± 0.04
18:2(n-6)	7.35 ± 0.65	5.70 ± 0.56	6.16 ± 0.58	3.04 ± 0.25	1.90 ± 0.14	6.70 ± 0.66
18:3(n-3)	0.13 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.17 ± 0.01	—	—	—
20:2(n-6)	0.43 ± 0.03	0.19 ± 0.01	0.24 ± 0.01	—	—	0.38 ± 0.03
20:3(n-6)	1.00 ± 0.08	0.67 ± 0.05	0.35 ± 0.03	0.20 ± 0.02	—	0.48 ± 0.05
20:4(n-6)	8.41 ± 0.80	10.05 ± 0.87	10.08 ± 0.84	6.94 ± 0.67	8.06 ± 0.82	9.31 ± 1.09
20:4(n-3)	0.59 ± 0.05	0.62 ± 0.05	0.41 ± 0.03	0.31 ± 0.03	—	0.36 ± 0.04
20:5(n-3)	11.21 ± 1.08	14.75 ± 1.32	13.91 ± 1.24	19.09 ± 2.04	11.13 ± 1.20	9.23 ± 0.98
21:5(n-3)	1.28 ± 0.10	0.60 ± 0.05	0.22 ± 0.02	—	—	—
22:5(n-3)	0.80 ± 0.06	0.98 ± 0.07	0.76 ± 0.06	0.21 ± 0.02	0.77 ± 0.07	0.73 ± 0.07
22:5(n-6)	0.84 ± 0.06	0.62 ± 0.05	0.89 ± 0.09	0.17 ± 0.02	0.52 ± 0.05	1.49 ± 0.11
22:6(n-3)	9.65 ± 0.88	12.77 ± 1.35	10.41 ± 1.00	12.10 ± 1.16	24.91 ± 2.54	24.85 ± 2.55
ΣНЖК	26.2 ± 2.4	30.5 ± 2.8	30.5 ± 2.9	36.5 ± 3.5	35.7 ± 3.5	27.1 ± 2.6
ΣМНЖК	32.1 ± 2.8	22.3 ± 2.1	25.9 ± 2.4	21.4 ± 2.0	17.0 ± 1.5	19.4 ± 1.8
ΣПНЖК	41.7 ± 3.6	47.2 ± 4.4	43.6 ± 4.0	42.1 ± 4.2	47.3 ± 4.3	53.5 ± 5.5
Σ(n-3)ПНЖК	23.7 ± 2.3	29.9 ± 2.9	25.9 ± 2.4	31.7 ± 3.1	36.8 ± 3.6	35.2 ± 3.7
Σ(n-6)ПНЖК	10.7 ± 1.0	11.5 ± 1.1	11.6 ± 1.1	7.3 ± 0.7	8.6 ± 0.9	11.7 ± 1.3
Σ(n-3)ПНЖК	2.2 ± 0.2	2.6 ± 0.2	2.2 ± 0.2	4.3 ± 0.4	4.3 ± 0.4	3.1 ± 0.3
Σ(n-6)ПНЖК						
ΣПНЖК/ΣНЖК	1.6 ± 0.2	1.5 ± 0.2	1.4 ± 0.2	1.2 ± 0.2	1.3 ± 0.1	2.0 ± 0.2
Индексы качества липидов						
AI	0.30 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.37 ± 0.02	0.47 ± 0.04	0.50 ± 0.04	0.32 ± 0.03
TI	0.22 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.29 ± 0.03	0.26 ± 0.03	0.19 ± 0.02
FLQ	20.86 ± 1.99	27.51 ± 2.55	24.33 ± 2.34	31.19 ± 3.05	36.04 ± 3.50	34.08 ± 3.39
NN	3.1 ± 0.3	2.6 ± 0.2	2.6 ± 0.2	2.0 ± 0.2	1.9 ± 0.2	3.2 ± 0.3
NVI	6.3 ± 0.5	6.9 ± 0.5	7.3 ± 0.7	8.6 ± 0.7	5.8 ± 0.4	6.3 ± 0.6
NPI	3.8 ± 0.3	3.1 ± 0.3	3.0 ± 0.2	2.3 ± 0.2	2.1 ± 0.2	3.4 ± 0.4

Примечание. “—” — ЖК не обнаружена или содержится в следовых количествах. Дано среднее значение ± стандартное отклонение. *—первая цифра указывает на число углеродных атомов, вторая — на количество ненасыщенных связей, третья — на первый углеродный атом при двойной связи от метильной группы; **—суммарное содержание разветвленных жирных кислот (РЖК) с 15 и 17 атомами углерода в цепи.

19:0) обнаружены в меньших количествах. Эйкозановая 20:0 кислота отмечена только в тканях сазана в количестве 0.13 отн. %. Для всех видов рыб доминирующей МНЖК была олеиновая 18:1n-9 кислота. Среди ПНЖК в наибольшем количестве представлены ДГК 22:6(n-3), ЭПК 20:5(n-3)

и АРК 20:4(n-6) кислоты. Жирнокислотные профили исследуемых видов рыб схожи с таковыми, полученными ранее для рыб водоемов Красноярского края (Gladyshev et al., 2017; Sushchik et al., 2017; Рудченко, 2018) и Республики Бурятия (Bazarsadueva et al., 2021a, 2021b).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что морские рыбы характеризуются повышенным содержанием ПНЖК по сравнению с пресноводными рыбами. Тем не менее, имеется достаточное количество работ, где показано, что для пресноводных рыб характерно сравнительно высокое содержание ПНЖК (Morris, 1984; Ju et al., 1997; Gladyshev et al., 2022). Показано, что конвертация пищевых С18 ПНЖК в ЭПК и ДГК гораздо эффективнее происходит в тканях пресноводных рыб, чем в морских (Taşbozan, Gökçe, 2017). Растительные и нехищные всеядные рыбы, по сравнению с хищными видами, способны более эффективно конвертировать пищевые линолевую и линоленовую кислоты в длинноцепочечные ПНЖК (Taşbozan, Gökçe, 2017). Для рыб (n-3)ПНЖК являются незаменимыми, и это установлено в результате многочисленных экспериментов, в том числе и на пресноводных видах (Watanabe, 1982). В рыбах р. Баргузин максимальные уровни (n-3)ПНЖК определены в мышечной ткани хищных рыб — в щуке (35.17%) и окуне (36.81%), минимальные — в сазане (23.66%) и плотве (25.89%). Содержание $\Sigma(n-6)$ ПНЖК достигало 10.67–11.67 отн.%, однако в тканях плотвы и щуки их содержание было меньше — 7.30 и 8.58 отн.% соответственно. Такие относительно высокие концентрации (n-3)(ПНЖК) и (n-6)ПНЖК в мышцах исследованных рыб предполагают их высокую питательную ценность.

Соотношение $\Sigma(n-3)$ ПНЖК/ $\Sigma(n-6)$ ПНЖК для пресноводных рыб находится в интервале от 0.5 до 3.8, для морских — 4.7–14.4 (Henderson, Tocher, 1987). Относительно низкая величина соотношения $\Sigma(n-3)$ ПНЖК/ $\Sigma(n-6)$ ПНЖК у пресноводных рыб физиологически оптимальна для человека, поэтому в настоящее время пресноводные рыбы считаются таким же ценным компонентом питания человека, как и морские (Steffens, 1997). В исследуемых нами видах рыб оно варьировало от 2.22 до 4.34 (табл. 2).

Среди ЖК физиологически ценными для рыб признаны длинноцепочечные ПНЖК: ЭПК и ДГК (семейства n-3) и АРК (семейства n-6) (Koven et al., 2003; Tocher, 2010). Следует отметить, что отсутствие АРК, ЭПК и ДГК в пище рыб в течение длительного времени приводит к появлению у них различных патологий: миокардита (воспаления сердечной мышцы), ожирения печени и кишечника, эрозии плавников, жаберного кровотечения, искривления позвоночника, снижения репродуктивного потенциала и прочих (Glencross, 2009; Sargent et al., 2002). Эти эссенциальные кислоты доминировали среди ПНЖК в исследованных нами видах рыб. Отмечено более высокое содержание АРК в тканях карася и

плотвы, ЭПК — в тканях леща, карася и плотвы, ДГК доминировала в хищных видах рыб (окуне и щуке). Как известно, большая часть ПНЖК в составе фосфолипидов используется для построения клеточных мембран, формируя основу липидного биослоя. ДГК является приоритетной кислотой, выполняющей строительную функцию во всех мембранах, особенно в мембранах нервных клеток (Weiser et al., 2016; Díaz et al., 2021). Из АРК и ЭПК путем ферментативного окисления производятся гормоноподобные биологически активные вещества — эйкозаноиды, которые необходимы для регуляции работы сердечно-сосудистой и репродуктивной систем, иммунного ответа, при воспалительных процессах, а также участвуют в метаморфозе рыб (Schmitz, Ecker, 2008).

Показано, что среди других ПНЖК мышечной ткани рыб содержание линолевой 18:2(n-6) кислоты относительно выше у сазана (7.35 отн.%), плотвы (6.16 отн.%) и карася (5.70 отн.%), в рационе питания которых значительную часть занимают водные растения. Известно, что линолевая кислота имеет преимущественно растительное происхождение (Malcicka et al., 2018). Относительно высокое содержание линолевой 18:2(n-6) кислоты отмечено и в щуке (6.70 отн.%), что, вероятно, тоже связано с питанием растительными гидробионтами. Похожие результаты были получены для рыб оз. Гусиное (Bazarsadueva et al., 2021b). Линоленовая 18:3(n-3) кислота была обнаружена в незначительных количествах только в тканях сазана (0.13 отн.%), карася (0.22 отн.%) и плотвы (0.17 отн.%).

На основании данных о жирно-кислотном составе рассчитаны индексы атерогенности (AI) и тромбогенности (TI), характеризующие качество липидов мышечной ткани рыб р. Баргузин. Индекс атерогенности указывает на соотношение между суммарной группой основных НЖК, которая считается проатерогенной (способствующей адгезии липидов к клеткам иммунной и кровеносной систем), и основной группой ННЖК, которые относятся к антиатерогенным (ингибирующим агрегацию сгустков и снижающим уровни этерифицированных ЖК, холестерина и фосфолипидов, предотвращая появление микро- и макрокоронарных заболеваний). Предполагается, что потребление рыб с более низким индексом атерогенности способствует снижению холестерина низкой плотности в плазме человека. Тромбогенный индекс показывает склонность к образованию тромбов в кровеносных сосудах: чем выше индекс, тем выше скорость тромбообразования. Он определяется как соотношение между протромбогенными (НЖК) и антитромбогенными жирными кислотами (МНЖК, (n-6)

ПНЖК и (n-3)ПНЖК) (Ulbricht, Southgate, 1991; Garaffo et al., 2011; Telahigue et al., 2013; Łuczyńska et al., 2023). Оценка индексов атерогенности (AI) и тромбогенности (TI) может дать информацию о влиянии отдельных ЖК на здоровье человека, в частности, на вероятность увеличения частоты развития атеросклероза, образования тромбов и атеромы. По данным (Ouraji с соавт., 2009; Stancheva et al., 2014), потребление продуктов со значениями AI >1.0 и TI >1.0 вредно для здоровья человека. В нашей работе значения этих индексов для исследуемых видов рыб р. Баргузин были <1 (рис. 2). Наименьшими индексами атерогенности и тромбогенности характеризуются мышечные ткани сазана (0.30 и 0.22 соответственно) и щуки (0.32 и 0.19), наибольшими — леща (0.47 и 0.29) и окуня (0.50 и 0.26). Ранее нами были рассчитаны индексы атерогенности и тромбогенности для мышечных тканей плотвы, окуня и щуки оз. Гусиное, их значения варьировали от 0.36 до 0.38 и от 0.18 до 0.21 соответственно (Bazarsadueva et al., 2021b). Для леща *Abramis brama* оз. Котокель индексы атерогенности и тромбогенности достигали 0.44 и 0.38 соответственно (Bazarsadueva et al., 2021a).

Одним из показателей диетической значимости липидов мышечной ткани рыб считается соотношение Σ ПНЖК/ Σ НЖК. Предполагается, что потребляемые ПНЖК могут снижать, а НЖК повышать уровень холестерина в крови. Поэтому, соотношение Σ ПНЖК/ Σ НЖК обычно используют для оценки влияния питания на здоровье

сердечно-сосудистой системы и чем выше это соотношение, тем более ценным считается продукт (Chen, Liu, 2020). Соотношение Σ ПНЖК/ Σ НЖК в мышечной ткани шести наиболее распространенных видов рыб, обитающих в Вислинском заливе (Польша), варьировало от 0.63 до 2.04 (Polak-Juszczak, Komar-Szymczak, 2009). Авторы отметили, что Министерство здравоохранения Великобритании рекомендует минимальное значение этого коэффициента 0.45. Соотношение ПНЖК к НЖК в исследуемых нами видах рыб варьировало от 1.3 до 2.0 (рис. 2). Наиболее ценным видом рыб р. Баргузин по соотношению ПНЖК к НЖК была щука.

В настоящее время признано, что НЖК и содержащие их животные жиры повышают уровень общего холестерина в крови и вызывают развитие атеросклероза. Индекс НН (соотношение гипохолестеринемических ЖК к гиперхолестеринемическим) дает представление о влиянии ЖК на уровень холестерина в крови (Ahmad et al., 2019; Chen&Liu 2020; Zula et al., 2021; Łuczyńska et al., 2023). Предложено (Ulbricht, Southgate, 1991) использовать соотношение между ПНЖК и НЖК как фактор, предсказывающий влияние рациона питания на уровень холестерина в плазме крови. Соотношение гипохолестеринемических ЖК к гиперхолестеринемическим в мышцах исследуемых рыб варьировало от 2.0 для леща до 3.2 для щуки. Низкие значения индексов атерогенности и тромбогенности, а также высокие значения гипохолестеринемических индексов исследуемых

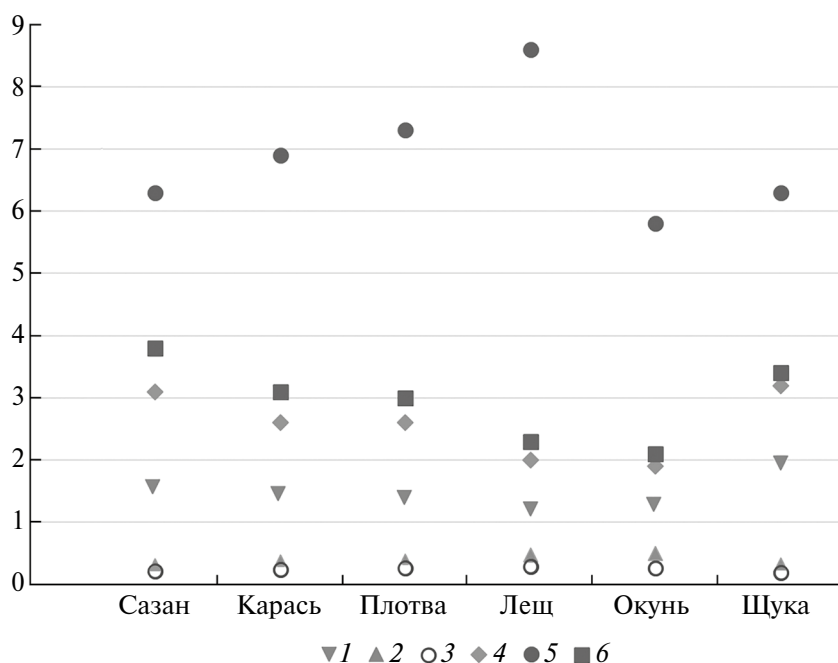


Рис. 2. Показатели качества липидов рыб р. Баргузин. 1 – Σ ПНЖК/ Σ НЖК, 2 – индекс AI, 3 – индекс TI, 4 – индекс НН, 5 – индекс NVI, 6 – индекс NPI.

рыб, в частности сазана и щуки, свидетельствуют о положительном влиянии их жирнокислотного состава на холестериновый обмен и скорость тромбообразования в кровеносных сосудах человека.

Для исследованных рыб были рассчитаны индексы питательной ценности NVI и укрепления здоровья HPI, их значения варьировали в пределах 5.8–8.6 и 2.1–3.8 соответственно. Самое высокое значение NVI получено для лещей, что связано с высокой долей стеариновой 18:0 кислоты. Максимальные величины индекса HPI, по которому определяют пищевую ценность жиров, выявлены в мышечной ткани сазана и щуки. По данным (Chen, Liu, 2020), продукты с высокими значениями HPI более полезны для здоровья человека.

Показатель качества липидов мышечной ткани FLQ представляет собой процентное соотношение ЭПК + ДГК к общим липидам. Высокие значения этого индекса указывают на качественность источника пищевых липидов (Senso et al., 2007; Łuczyńska et al., 2023). Значения FLQ в мышечной ткани увеличивались в ряду: сазан < плотва < карась < лещ < щука < окунь (табл. 2). Таким образом, по показателю FLQ наиболее богаты по сумме ЭПК + ДГК щука и окунь, что свидетельствует о высокой пользе включения этих рыб в рацион человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые изучены состав и содержание ЖК липидов шести промысловых видов рыб р. Баргузин. Выявленное соотношение $\Sigma(n-3)/\Sigma(n-6)$ ПНЖК 2.8–4.6 характерно для пресноводных рыб, обитающих в так называемых “экологически благополучных” экосистемах. По показателям индикаторов качества питания человека на основе ЖК-состава получены достаточно высокие значения индексов HPI, NVI, индексы AI и TI были <1, что указывает на высокую питательную ценность всех исследуемых рыб. К наиболее ценным пресноводным видам рыб по содержанию (n-3)ПНЖК и наиболее богатым в суммарном соотношении ЭПК + ДГК (индекс FLQ) можно отнести окуня и щуку. Полученные результаты свидетельствуют, что, учитывая сравнительно высокое содержание диетически ценных ПНЖК в мышечной ткани исследуемых видов рыб (окуня, щуки, сазана, карася, плотвы, леща) р. Баргузин, их можно рекомендовать населению к употреблению в пищу.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Байкальского института

природопользования СО РАН (AAAA-A21-121011890027-0) с использованием оборудования Центра коллективного пользования Биологического института природопользования СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Мурзина С.А., Нефедова З.А., Пеккоева С.Н. и др. 2019. Содержание жирных кислот в кормовых объектах молоди лососевых рыб рек бассейна Онежского озера // Биология внутр. вод. № 1. С. 65. <https://doi.org/10.1134/S0320965219010157>
- Кренин Е.М. 1981. Липиды клеточных мембран: Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов. Л.: Наука.
- Рудченко А.Е. 2018. Роль трофических факторов в формировании жирнокислотного состава рыб, обитающих в водоемах Красноярского края. <https://elibr.sfu-kras.ru/handle/2311/146753>
- Сушич Н.Н. 2008. Роль незаменимых жирных кислот в трофометаболических взаимодействиях в пресноводных экосистемах // Журн. общ. биол. Т. 69. № 4. С. 299.
- Ahmad N., Manzoor M.F., Shabbir U., Ahmed S. 2019. Health lipid indices and physicochemical properties of dual fortified yogurt with extruded flaxseed omega fatty acids and fibers for hypercholesterolemic subjects // Food Sci. Nutr. V. 8. P. 273.
- Algren G., Blomqvist P., Boberg M., Gustafsson I.B. 1994. Fatty acid content of the dorsal muscle – an indicator of fat quality in freshwater fish // J. Fish Biol. V. 45. P. 131.
- Bazarsadueva S.V., Radnaeva L.D., Nikitina E.P., Popov D.V. 2021a. The fatty acid composition and lipid quality indices of bream *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) of Lake Kotokel (Western Transbaikalia) // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. V. 885. P. 012062.
- Bazarsadueva S.V., Radnaeva L.D., Shiretorova V.G., Dylenova E.P. 2021b. The comparison of fatty acid composition and lipid quality indices of roach, perch, and pike of Lake Gusinoe (Western Transbaikalia) // Int. J. Environ. Res. Public Health. V. 18. P. 9032.
- Chen J., Liu H. 2020. Nutritional indices for assessing fatty acids: a mini-review // Int. J. Mol. Sci. V. 21. P. 5695.
- Díaz M., Mesa-Herrera F., Marín R. 2021. DHA and its elaborated modulation of antioxidant defenses of the brain: implications in aging and neurodegeneration. Antioxidants (Basel). 2021 Jun 3. V. 10(6). P. 907. <https://doi.org/10.3390/antiox10060907>.
- Garaffo M.A., Vassallo-Agius R., Nengas Y.E. et al. 2011. Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thunnus* L.) and their salted product “Bot-targa” // Food Nutr. Sci. V. 2. P. 736.
- Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Glushchenko L.A. et al. 2017. Fatty acid composition of fish species with different feeding habits from an Arctic Lake // Dokl. Biochem. Biophys. V. 474(1). P. 220.

- Gladyshev M.I., Makhrov A.A., Baydarov I.V. et al. 2022. Fatty acid composition and contents of fish of genus *salvelinus* from natural ecosystems and aquaculture // *Biomolecules*. V. 12. P. 144.
<https://doi.org/10.3390/biom12010144>
- Glencross B.D. 2009. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species // *Reviews in Aquaculture*. V. 1. P. 71.
- Henderson R.J., Tocher D.R. 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish // *Prog. Lipid Res.* V. 26. P. 281.
- Hochachka P.W., Somero G.N. 2002. Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Ju S.J., Kucklick J.R., Kozlova T., Harvey H.R. 1997. Lipid accumulation and fatty acid composition during maturation of three pelagic fish species in Lake Baikal // *J. Great Lakes Res.* V. 23(3). P. 241.
- Kozlova T.A., Khotimchenko S.V. 1993. Fatty acid composition of endemic Baikal fish and crustacea // *Comp. Biochem. Physiol.* V. 105B. № 1. P. 97.
- Koven W.M., Van Anholt R.D., Lutzky S. et al. 2003. The effect of dietary arachidonic acid on growth, survival, and cortisol levels in different-age gilthead sea bream larvae (*Sparus aurata*) exposed to handling or daily salinity change // *Aquaculture*. V. 228. P. 307.
- Łuczyńska J., Nowosad J., Łuczyński M.J., Kucharczyk D. 2023. Evaluation of chemical elements, lipid profiles, nutritional indices and health risk assessment of european eel (*Anguilla anguilla* L.) // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. V. 20. P. 2257.
<https://doi.org/10.3390/ijerph20032257>
- Malcicka M., Visser B., Ellers J. 2018. An evolutionary perspective on linoleic acid synthesis in animals // *Evol. Biol.* V. 45. P. 15.
<https://doi.org/10.1007/s11692-017-9436-5>
- Meier S., Mjos S.A., Joensen H., Grahl-Nielsen O. 2006. Validation of a one-step extraction/methylation method for determination of fatty acids and cholesterol in marine tissues // *J. Chromatogr. A*. V. 1104(1–2). P. 291.
- Morris R.J. 1984. The endemic faunae of Lake Baikal: their general biochemistry and detailed lipid composition // *Proc. R. Soc. Lond.* V. B222. P. 51.
- Naceur H.B., Romdhan M.S., Stappen G.V. 2020. Potential use of fatty acid profile for *Artemia* spp. Discrimination // *Inland Water Biol.* V. 13. P. 434.
<https://doi.org/10.1134/S199508292003013X>
- Ouraji H., Shabanpur B., Abediankenari A. et al. 2009. Total lipid, fatty acid composition and lipid oxidation of Indian white shrimp (*Fenneropenaeus indicus*) fed diets containing different lipid sources // *J. Sci. Food Agric.* V. 89. P. 993.
- Parrish C.C., Nichols P.D., Pethybridge H., Young J.W. 2015. Direct determination of fatty acids in fish tissues: quantifying top predator trophic connections // *Oecologia*. V. 177(1). P. 85.
- Polak-Juszczak L., Komar-Szymczak K. 2009. Fatty acid profiles and fat contents of commercially important fish from Vistula Lagoon // *Pol. J. Food Nutr. Sci.* V. 59. P. 225.
- Sargent J.R., Tocher D.R., Bell J.G. 2002. The lipids // *Fish Nutrition*. San Diego: Acad. Press. P. 181.
- Schmitz G., Ecker J. 2008. The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids // *Prog. Lipid. Res.* V. 47. P. 147.
- Senso L., Suárez M.D., Ruiz-Cara T., Garcia-Gallego M. 2007. On the possible effects of harvesting season and chilled storage on the fatty acid profile of the fillet of farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) // *Food Chem.* V. 101. P. 298.
- Stancheva M., Merdzhanova A., Dobрева D.A., Makedonski L. 2014. Common carp (*Cyprinus carpio*) and European catfish (*Silurus glanis*) from Danube River as sources of fat-soluble vitamins and fatty acids // *Czech J. Food Sci.* V. 32. P. 16.
- Steffens W. 1997. Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans // *Aquaculture*. V. 151. P. 97.
- Sushchik N.N., Rudchenko A.E., Gladyshev M.I. 2017. Effect of season and trophic level on fatty acid composition and content of four commercial fish species from Krasnoyarsk Reservoir (Siberia, Russia) // *Fish Res.* V. 187. P. 178.
- Taşbozan O., Gökçe M.A. 2017. Fatty Acids in Fish [Internet]. Fatty Acids. <https://dx.doi.org/10.5772/68048>
- Telahigue K., Hajji T., Rabeh I., El Cafi M. 2013. The changes of fatty acid composition in sun dried, oven dried and frozen hake (*Merluccius merluccius*) and sardinella (*Sardinella aurita*) // *Afr. J. Biochem. Res.* V. 7. P. 158.
- Tocher D.R. 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish // *Aquat. Res.* V. 41. P. 717.
- Ulbricht T., Southgate D. 1991. Coronary heart disease: Seven dietary factors // *Lancet*. V. 338. P. 985.
- Watanabe T. 1982. Lipid nutrition in fish // *Comp. Physiol. and Biochem.* V. 94B. P. 367.
- Weiser M.J., Butt C.M., Mohajeri M.H. 2016. Docosahexaenoic acid and cognition throughout the lifespan // *Nutrients*. V. 8(2). P. 99.
<https://doi.org/10.3390/nu8020099>
- Zula A.T., Desta D.T., Apetrei C. 2021. Fatty acid-related health lipid index of raw and fried Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fish Muscle // *J. Food Qual.* e6676528.

Assessment of Lipid Quality Indices of Fish from the Barguzin River (Eastern Cisbaikalia)

S. V. Bazarsadueva^{1,*}, E. P. Nikitina¹, E. Ts. Pintaeva¹, V. V. Taraskin¹,
S. V. Zhigzhitzhapova¹, L. D. Radnaeva¹

¹Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

*e-mail: bselmeg@gmail.com

The importance of fish as a component of healthy nutrition and as a high-quality source of nutrients in the human diet has increased in recent years. To assess the nutritional value of the six main commercial fish species (common roach *Rutilus rutilus*, common bream *Abramis brama*, crucian carp *Carassius carassius*, crucian carp *Carassius auratus*, common carp *Cyprinus carpio*, European perch *Perca fluviatilis*, and northern pike *Esox lucius*) from the Barguzin River (Eastern Cisbaikalia), the FA composition and lipid quality indices of the muscle tissues have been determined. The FA composition of the dorsal muscle tissue of fish has been analyzed by direct methanolysis. The total content of SFAs ranges from 26 rel. % in carp to 37 rel. % in bream, MUFAs from 17 rel. % in perch to 32 rel. % in carp, and PUFAs from 42 rel. % in bream and carp to 54 rel. % in pike. The dominant FAs are palmitic 16:0 (17.5–29.2 rel. %), oleic 18:1(n-9) (17.5–29.2 rel. %), and stearic 18:0 (5.0–8.0 rel. %) acids, as well as PUFAs, including essential docosahexaenoic 22:6(n-3) (9.7–24.9 rel. %), eicosapentaenoic 20:5(n-3) (9.2–19.1 rel. %), and arachidonic 20:4(n-6) (6.9–10.1 rel. %) acids. The $\Sigma(n-3)/\Sigma(n-6)$ ratio of PUFAs is 2.8–4.6, which is typical for freshwater fish. Relatively high nutritive value index (NVI), values of the health-promoting index (HPI), and ratio of hypercholesterolemic to hypocholesterolemic FAs (HH), the as well as the atherogenicity and thrombogenicity indices (<1), indicate the high nutritional value of the muscle tissue of the studied fish species. According to the content of (n-3) PUFAs and high total ratio of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids, the most valuable species are European perch and northern pike.

Keywords: freshwater fish, Barguzin River, lipid quality indices, fatty acids