

БИОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 577.115.3:639.21
DOI: 10.18101/2542-0623-2025-2-6-19

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ РЫБ ДЕЛЬТЫ р. СЕЛЕНГИ

С. В. Базарсадуева, Е. П. Никитина, С. В. Жигжитжапова, В. В. Тараксин

© Базарсадуева Сэлмэг Владимировна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
bselmeg@gmail.com

© Никитина Елена Петровна
кандидат биологических наук, научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
lenauude@mail.ru

© Жигжитжапова Светлана Васильевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
zhig2@yandex.ru

© Тараксин Василий Владимирович
кандидат фармацевтических наук, заведующий лабораторией,
Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
vvtaraskin@binm.ru

Аннотация. Рыба как источник необходимых организму питательных веществ занимает важное место в здоровом питании человека. Исследован жирнокислотный состав общих липидов мышечной ткани шести основных промысловых видов рыб (плотва *Rutilus rutilus*, лещ *Aramis brama*, карась *Carassius carassius*, сазан *Cyprinus carpio haematopterus*, окунь *Perca fluviatilis*, щука *Esox lucius*) дельты реки Селенги, а также рассчитаны их показатели качества. В зависимости от вида обнаружено всего от 19 до 32 жирных кислот. Показано, что суммарное содержание полиненасыщенных жирных кислот выше в *E. lucius* и *R. rutilus*, насыщенных — в *C. carassius*, *P. fluviatilis* и *A. brama*, мононенасыщенных — в *C. carpio haematopterus*. Рассчитанные индексы качества липидов указывают на высокую питательную ценность мышечной ткани исследуемых рыб.

Ключевые слова: жирные кислоты рыб, показатели качества липидов, дельта реки Селенги, источник пищи человека, омега-3.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН (проект № АААА-А21-121011890027-0) с использованием оборудования Центра коллективного пользования Байкальского института природопользования СО РАН.

Для цитирования

Жирнокислотный состав рыб дельты р. Селенги / С. В. Базарсадуева, Е. П. Никитина, С. В. Жигжитжапова, В. В. Тараксин // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2025. № 2(31). С. 6–19. DOI: 10.18101/2542-0623-2025-2-6-19

Введение

Жирные кислоты (ЖК), являясь составляющими нейтральных и полярных липидов, боковыми цепями в некоторых коферментах и вторичных метаболитах, а также участвуя в ковалентных связях с различными белками, играют центральную роль не только в накоплении биологической энергии или в целостности и динамике биологических мембран, но также и в контроле клеточного метabolизма и физиологии клетки [Leibundgut et al., 2008; de Carvalho, Caramijo, 2018]. При этом их пополнение в организме может осуществляться тремя основными путями: биосинтез необходимых ЖК *de novo* в клетке, поступление по трофической цепи (с пищей), а также элонгация некоторых ненасыщенных ЖК, поступивших с пищей, при условии наличия активных ферментов элонгации в клетке [Mayzaud et al., 2011].

Рыба является ценным источником высококачественного белка, витаминов и незаменимых минералов, а также богатым источником незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) [Mendivil, 2021; Nava et al., 2023]. Уникальность рыбы как источника пищи определяется содержанием длинноцепочечных (ДЦ) ПНЖК семейства омега-3, в частности эйкозапентаеновой (20:5(n-3), ЭПК) и докозагексаеновой (22:6(n-3), ДГК) кислот. Известно, что ДЦ-ПНЖК являются важнейшими компонентами рациона, которые обеспечивают здоровье человека, включая профилактику сердечно-сосудистых заболеваний и неврологических расстройств [Calder, 2018; Bernasconi et al., 2021; Harris et al., 2021; McBurney et al., 2021]. Живые организмы в основном способны синтезировать насыщенные жирные кислоты (НЖК), такие как пальмитиновая (16:0) и стеариновая (18:0) кислоты. НЖК являются основой для биосинтеза мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК), таких как 16:1n-7, 18:1n-7, 20:1n-7, 22:1n-7 или 24:1n-9 и некоторых ПНЖК. Стоит отметить, что ввиду отсутствия необходимых ферментов-десатураз для синтеза ненасыщенных ЖК, в особенности ПНЖК, процесс биосинтеза ЖК *de novo* у животных организмов довольно ограничен [Tocher, 2003]. В водных пищевых цепях ПНЖК в основном производятся фитопланктоном, переносятся на более высокие трофические уровни и накапливаются в рыбах [Gonçalves et al., 2012; Saito, Aono, 2014]. У человека способность к самостоятельному синтезу омега-3 ДЦ-ПНЖК невелика и не обеспечивает физиологические потребности организма. Поэтому эти соединения считаются незаменимыми и должны поступать с пищей [Gladyshev et al., 2013], что еще раз подчеркивает ценность рыбы как источника ПНЖК.

Озеро Байкал относится к водоемам с традиционно развитым рыболовством, которое осуществляется в основном в прибрежной мелководной части озера, в прилегающих озерно-соровых системах [Муруева, Кушкина, 2018]. На первом месте среди рыбопромысловых районов по общему вылову рыбы находится Селенгинский рыбопромысловый район, находящийся в дельте реки Селенги. Здесь создаются значительные сырьевые запасы частиковых видов рыб, а река Селенга является одной из основных нерестовых рек байкальского омуля [Муруева, Кушкина, 2018]. К видам, населяющим мелководные водоемы дельты, нижнее течение реки и прибрежную часть Селенгинского мелководья и имеющим промысловое значение, относятся щука, плотва, елец, язь, сазан, карась, окунь [Дельта реки Селенги... 2008]. Также в основу ихтиоценоза р. Селенги в разные годы прошедшего столетия внедрились, прижились и расселились представители разных семейств из карповых, сомовых и бычковых рыб, которые расширяют аспект его биоразнообразия, такие как амурский сазан *Cyprinus carpio haematopterus* Temminck et Schlegel, 1846; лещ *Aramis brama* (Linnaeus, 1758); амурский сом *Parasilurus asotus* (Linnaeus, 1758); головешка-ротан *Percottus glenii* Dybowsky, 1877 [Тугарина, Козлова, 2009], среди которых на данный момент сазан и лещ являются объектами промысла.

Все это определяет важность проведения биохимических исследований рыб Байкальского региона не только в плане изучения экологии и систематики, но и для выяснения их диетологической ценности. Целью данной работы являются определение жирнокислотного состава мышечной ткани основных промысловых видов рыб дельты реки Селенги и оценка качественных показателей липидного (включая жировой) состава.

Материалы и методы

Образцы рыб дельты Селенги нами приобретены у местных рыболовов, имеющих лицензию на вылов, в сентябре-октябре 2020 г. Рыба была заморожена при температуре -18°C и транспортирована в лабораторию для проведения анализов в течение 2–3 суток. Исследованы образцы дорсальной мышечной ткани леща *Aramis brama* L., сазана *Cyprinus carpio haematopterus* Temminck et Schlegel, карася *Carassius carassius* L., плотвы *Rutilus rutilus* L., окуня *Perca fluviatilis* L. и щуки *Esox lucius* L. Биометрические данные исследуемых рыб представлены в таблице 1.

Таблица 1
Биометрические показатели рыб дельты р. Селенги

Вид	Количество особей, n	Масса, г	Абсолютная длина тела, см
Сазан <i>Cyprinus carpio haematopterus</i>	5	740±115	36±1
Карась <i>Carassius carassius</i>	5	434±104	26±2
Лещ <i>Aramis brama</i>	6	180±110	24±4
Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	10	66±17	19±1
Окунь <i>Perca fluviatilis</i>	6	425±150	31±4
Щука <i>Esox lucius</i>	5	1037±199	54±3

Жирнокислотный состав мышечной ткани анализировали методом прямого метанолиза, подробное описание которого приведено ранее [Bazarsadueva et al., 2021; Базарсадуева и др., 2024]. 1 г дорсальной мышечной ткани рыб метилировали 2 N HCl в метаноле при 90 °C в течение двух часов. Метиловые эфиры жирных кислот дважды экстрагировали гексаном. Полученные экстракты анализировали на газовом хроматографе Agilent Packard HP 6890 с квадрупольным масс-спектрометром HP MSD 5973N в качестве детектора в режиме SCAN.

Показателями качества липидного состава исследуемых рыб явились соотношения суммарных «омега-3» к «омега-6» ПНЖК (n-3/n-6) и n-6/n-3, а также соотношение полиненасыщенных и насыщенных кислот (ПНЖК/НЖК). Для определения пищевой и биотехнологической значимости исследуемых рыб на основе полученных ЖК профилей мышечной ткани произведен расчет следующих индексов [Chen, Liu, 2020; Bazarsadueva et al., 2021]:

1. Индекс атерогенности (AI):

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

где 12:0 — лауриновая, 14:0 — миристиновая и 16:0 — пальмитиновая кислоты, (n-3) и (n-6) ПНЖК — полиненасыщенные жирные кислоты «омега-3» и «омега-6» семейств, МНЖК — мононенасыщенные жирные кислоты.

2. Индекс тромбогенности (TI):

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

где 14:0 — миристиновая, 16:0 — пальмитиновая, 18:0 — стеариновая кислоты, МНЖК — мононенасыщенные жирные кислоты, n-3 и n-6 ПНЖК — полиненасыщенные жирные кислоты «омега-3» и «омега-6» семейств.

3. Показатель качества липидов мышечной ткани (FLQ):

$$FLQ = 100 \times \frac{C20:5(n-3) + C22:6(n-3)}{\% \text{ всех ЖК}},$$

где 20:5(n-3) — эйкозапентаеновая, 22:6(n-3) — докозагексаеновая кислоты.

4. Соотношение гипохолестеринемических ЖК к гиперхолестеринемическим (HH):

$$HH = \frac{C18:1 + \SigmaПНЖК}{C12:0 + C14:0 + C16:0},$$

где 18:1 — мононенасыщенные жирные кислоты с 18 атомами углерода, ΣПНЖК — сумма полиненасыщенных жирных кислот, 12:0 — лауриновая, 14:0 — миристиновая, 16:0 — пальмитиновая кислоты.

5. Индекс укрепления здоровья (HPI):

$$HPI = \frac{\Sigma HHЖК}{C12:0 + 4 \times (C14:0 + C16:0)},$$

где Σ НЖК — сумма ненасыщенных жирных кислот, 12:0 — лауриновая, 14:0 — миристиновая, 16:0 — пальмитиновая кислоты.

Статистическая обработка результатов исследования и их визуализация проведены с использованием программных пакетов MS Excel, OriginPro версии 9.9 и Sirius версии 8.0.

Результаты и обсуждение

Жирнокислотный состав мышечной ткани шести видов рыб дельты р. Селенги представлен в таблице 2. В целом в зависимости от вида было выявлено от 19 до 32 жирных кислот от C14:0 до C22:6(n-3) (относительное содержание $>0,1\%$), в сумме составлявших от 98,9 до 100% общего числа. Жирные кислоты были разделены на НЖК, на долю которых приходилось от 28,6 до 44,1% общего количества жирных кислот у всех изученных видов; МНЖК — 11,5–24,0%; и ПНЖК — от 36,4 до 55,6%. Большинство изученных особей рыб характеризовалось более высокой долей ПНЖК, за которыми следовали НЖК и МНЖК, за исключением карася, в мышечной ткани которого содержание НЖК и ПНЖК было практически в равных количествах (рис. 1).

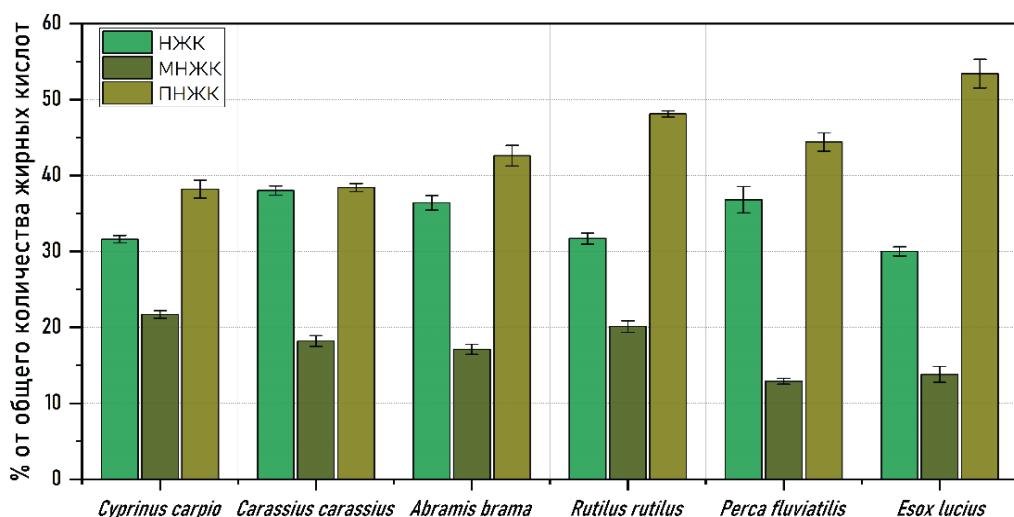


Рис. 1. Среднее содержание насыщенных,mono- и полиненасыщенных кислот (\pm SE) в мышечной ткани рыб дельты р. Селенги, %

Существует мнение, что пресноводные рыбы по сравнению с морскими накапливают меньшее количество ПНЖК (Huynh, Kitts, 2009; Muhammad, Muhammad, 2012). Тем не менее на данный момент имеются сведения о преобладании как НЖК, например, в мышцах плотвы и леща из р. Дунай [Jovićić et al., 2024], так и ПНЖК, которое было отмечено при исследовании европейского окуня, щуки, плотвы и леща в Ольштынском озерном крае [Łuczyńska, Paszczyk, 2019], пяти видов бразильских пресноводных рыб [Rodrigues et al., 2017] и промысловых видов пресноводных рыб Турции [Özogul et al., 2007]. Состав и соотношение

ЖК могут достаточно сильно различаться у разных видов рыб и даже в пределах одного вида при выращивании в разных условиях [Ahmed et al., 2022]. На состав ЖК рыбы могут влиять многие экологические и биологические факторы, такие как вид рыбы, питание, размер, возраст, репродуктивный цикл, температура, географическое положение и сезон. Также было обнаружено, что по мере понижения температуры воды доля ненасыщенных жирных кислот в фосфолипидах и нейтральных липидах увеличивается, что позволяет рыбам поддерживать оптимальный уровень текучести в клеточной мембране и тканях тела в зависимости от температуры воды [Kaur, Birraich, 2022; Kheiri et al., 2022; Chu et al., 2024].

Среди НЖК у всех исследованных рыб доминировала пальмитиновая кислота (C16:0), содержание которой варьировало от 59,4 до 80,6% общего количества НЖК, с наибольшими значениями для щуки и окуня. Далее следовали миристиновая (C14:0) и стеариновая кислоты (C18:0), содержание которых варьировало от 0,9 до 5,6% и 0,5 до 4,9% суммы НЖК соответственно. Миристиновая кислота (C14:0) среди исследованных видов была обнаружена в большем количестве у окуня (2,0–5,6%), что в целом превышает результаты предыдущих исследований для данного вида [Łuczyńska, Paszczyk, 2019]. В качестве НЖК с нечетным числом углерода пентадекановая кислота (C15:0) и гептадекановая кислота (C17:0) присутствовали в небольших количествах, среднее содержание не превышало 0,6%. Принято считать, что потребление НЖК, в частности лауриновой (C12:0), миристиновой (C14:0) и пальмитиновой кислот (C16:0), связано с повышением уровня холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и высоким риском развития ишемической болезни сердца [Santos et al., 2013]¹. Среди исследованных рыб более низкими процентными содержаниями НЖК характеризовались щука, плотва и сазан (30,0–31,7%), в то время как средние суммарные содержания НЖК в мышечной ткани карася, окуня и леща составляли 36,4–38,0%.

Содержание МНЖК было заметно выше в окуне и щуке (12,8–13,8%). Основными мононенасыщенными ЖК исследуемых видов рыб являлись олеиновая 18:1n9 кислота (от 9,03% у окуня до 14,82% у сазана), пальмитолеиновая 16:1n-9 кислота (от 2,58% у щуки до 7,62% у сазана) и вакценовая 18:1n-7 кислота (от 2,74% у щуки до 6,57% у карася), что в целом согласуется с предыдущими исследованиями [Jovičić et al., 2024; Базарсадуева и др., 2024].

Суммарное содержание ПНЖК увеличивалось в ряду сазан = карась < лещ < окунь < плотва < щука. Среди выявленных 14 ПНЖК преобладали докозагексеновая 22:6(n-3) (ДГК, от 9,38% у сазана до 29,23% у щуки), эйказапентаеновая 20:5(n-3) (ЭПК, от 5,63% у сазана до 10,98% у плотвы) и арахидоновая 20:4(n-6) (от 6,74% у плотвы до 9,56% у сазана) кислоты. В отличие от морских видов рыб содержание линолевой 18:2(n-6) (от 1,10% у плотвы до 5,39% у карася) и линоленовой 18:3(n-3) (процентное содержание не превышало 0,1%) кислот в исследуемых нами видах пресноводных рыб значительно меньше. Это связано с тем, что в тканях пресноводных рыб конвертация С18-ПНЖК в ЭПК и ДГК происходит гораздо эффективнее [Tocher, 2010; Taşbozan, Gökcé, 2017].

¹ FAO Food and Nutrition Paper. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition; Report of an Expert Consultation; FAO : Geneva. Switzerland, 2008.

Таблица 2

Жирнокислотный состав мышечной ткани рыб дельты р. Селенги, % ($\frac{\text{min-max}}{(\bar{x})}$)

ЖКК	<i>C. carpio</i>	<i>C. carassius</i>	<i>A. brama</i>	<i>R. rutilus</i>	<i>P. fluviatilis</i>	<i>E. lucius</i>
НЖКК						
14:0	0,59–0,90 (0,72)	0,30–0,46 (0,38)	0,40–0,71 (0,55)	0,31–0,96 (0,55)	0,88–1,99 (1,34)	0,32–1,01 (0,55)
15:0	0,47–0,55 (0,52)	0,50–0,76 (0,63)	0,55–1,13 (0,74)	0,15–0,51 (0,32)	0,31–1,75 (0,74)	0,31–0,49 (0,4)
16:0	19,71–20,82 (20,22)	20,37–30,57 (25,46)	21,60–27,74 (23,93)	21,01–28,39 (24,23)	25,2–29,73 (27,31)	22,92–24,39 (23,49)
17:0	0,57–0,59 (0,58)	0,78–1,16 (0,97)	1,01–1,86 (1,22)	0,27–0,68 (0,43)	0,17–0,5 (0,32)	0,22–0,41 (0,31)
18:0	5,02–5,33 (5,21)	6,29–9,43 (7,86)	5,56–7,73 (6,28)	4,03–5,37 (4,82)	4,92–6,60 (5,81)	4,18–5,63 (4,76)
МНЖКК						
16:1n5	0,45–0,48 (0,46)	0,41–0,62 (0,52)	0,28–0,68 (0,48)	0,06–0,21 (0,14)	0,21–0,37 (0,26)	0,08–0,35 (0,16)
16:1n7	0,42–0,67 (0,51)	0,28–0,43 (0,36)	0,13–0,27 (0,18)	0,02–0,18 (0,08)	0,39–1,53 (0,78)	0,06–0,24 (0,11)
16:1n9	7,26–8,00 (7,62)	3,55–5,33 (4,44)	2,81–3,99 (3,30)	3,54–7,70 (4,60)	3,25–5,83 (4,88)	1,87–3,79 (2,58)
17:1n9	0,58–0,66 (0,63)	0,33–0,48 (0,40)	0,64–1,74 (1,02)	0,04–0,50 (0,25)	0,27–0,84 (0,51)	0,29–0,44 (0,36)
18:1n7	4,12–5,43 (4,92)	5,26–7,87 (6,57)	3,08–5,07 (3,83)	3,51–4,9 (4,13)	2,87–3,71 (3,16)	2,54–3,08 (2,74)
18:1n9	14,33–15,32 (14,82)	8,95–13,48 (11,24)	9,37–13,76 (11,78)	9,27–12,87 (10,32)	8,05–10,06 (9,09)	9,03–13,32 (10,70)
20:1n9	0,83–0,96 (0,91)	h.o.*	0,24–0,52 (0,39)	0,24–1,04 (0,55)	0,16–0,27 (0,22)	h.o.
ПНЖКК						
18:2(n-6)	2,68–4,84 (4,01)	4,30–6,47 (5,39)	1,00–2,63 (1,81)	0,62–1,62 (1,10)	1,00–2,66 (1,73)	1,22–4,33 (2,18)
20:2(n-6)	0,51–0,77 (0,64)	0,15–0,25 (0,20)	0,27–0,57 (0,42)	0,18–0,61 (0,44)	h.o.	0,22–0,3 (0,25)
20:4(n-3)	0,67–0,91 (0,83)	0,34–0,56 (0,45)	0,25–0,26 (0,25)	0,18–0,54 (0,37)	0,25–0,62 (0,41)	0,21–0,24 (0,23)
20:4(n-6)	9,41–9,8 (9,56)	7,09–10,64 (8,87)	7,12–8,84 (7,89)	4,80–8,01 (6,74)	5,96–9,63 (7,43)	4,87–10,21 (6,77)
20:5(n-3)	4,74–7,21 (5,63)	6,51–9,69 (8,11)	10,51–14,09 (12,14)	7,79–13,04 (10,98)	8,04–10,57 (9,47)	8,54–10,39 (9,76)
22:4(n-6)	1,45–1,57 (1,49)	0,81–1,23 (1,02)	0,31–0,63 (0,49)	0,35–0,88 (0,55)	0,18–1,04 (0,51)	0,36–0,72 (0,54)
22:5(n-3)	3,39–3,66 (3,56)	2,48–3,75 (3,10)	1,89–3,03 (2,51)	2,55–4,76 (3,33)	2,27–3,98 (2,95)	3,24–4,29 (3,79)
22:5(n-6)	1,13–2,08 (1,72)	0,37–0,58 (0,48)	0,37–1,83 (1,12)	0,42–1,68 (0,85)	0,49–1,26 (0,79)	0,83–1,21 (1,01)
22:6(n-3)	8,77–9,88 (9,38)	8,27–12,39 (10,33)	13,67–18,25 (16,01)	21,61–25,54 (23,46)	16,23–26,02 (21,22)	18,00–33,67 (29,23)

*h.o. — не обнаружено

Показатели качества липидов и пищевые индексы. Как правило, ЖК человек получает из различных источников питания, каждый из которых имеет свой уникальный профиль, который, в свою очередь, влияет на здоровье человека. Так, насыщенные ЖК могут способствовать развитию метаболических заболеваний, тогда как ненасыщенные полезны для здоровья. Некоторые метаболиты незаменимых эссенциальных ЖК оказывают противовоспалительное и нейропротекторное действие. Поэтому оценка состава жирных кислот имеет важное значение с точки зрения как пищевой ценности, так и профилактики заболеваний [Chen, Liu, 2020]. Были разработаны различные индексы, позволяющие сравнивать пищевую ценность липидов рыбы, а также оценивать их влияние на здоровье человека [Özogul et al., 2007; Memon et al., 2011; Mert et al., 2015]. Среди них соотношения n-6/n-3 и ПНЖК/НЖК были предложены как наиболее информативные и универсальные при оценке пищевой ценности липидов рыбы [Özogul et al., 2007; Memon et al., 2011].

Сравнительный анализ суммарного содержания n-3 и n-6 ПНЖК в исследуемых видах рыб показал, что ткани карася и сазана характеризуются относительно более высокими уровнями (n-6)ПНЖК, в частности, арахидоновой и линолевой кислот, тогда как максимальные содержания (n-3)ПНЖК выявлены в тканях плотвы и щуки. Среди изученных видов рыб самое высокое отношение n-6/n-3 составило 0,95 для сазана, за которым следует 0,75 для карася, а самое низкое значение получено для плотвы (0,26) и щуки (0,27) (табл. 3). Соотношения n-6/n-3, обнаруженные в этом исследовании, были ниже, чем рекомендованное максимальное значение (4,0)¹. Значения выше максимальных вредны для здоровья и могут способствовать сердечно-сосудистым заболеваниям [Moreira et al., 2001]. Что касается соотношения n-3/n-6, все виды считаются относительно сбалансированными для питания человека в диапазоне 1:1–1:5, предложенном Memon et al. [2011]. Самое высокое соотношение по этому показателю продемонстрировала щука (4,71), самое низкое карась (1,34) и сазан (1,06).

Таблица 3

Показатели качества липидов мышечной ткани рыб дельты р. Селенги

Вид рыб	Сазан	Карась	Лещ	Плотва	Окунь	Щука
n-6/n-3	0,95	0,75	0,38	0,26	0,31	0,27
ПНЖК/НЖК	1,21	1,01	1,17	1,52	1,23	1,78
AI	0,34	0,44	0,41	0,39	0,51	0,37
TI	0,31	0,39	0,28	0,22	0,28	0,20
HH	2,8	2,2	2,4	2,5	2,0	2,8
FLQ	15,0	18,4	28,1	34,4	30,5	39,0
HPI	0,82	0,60	0,65	0,69	0,56	0,73

¹ HMSO, UK. Nutritional Aspects of Cardiovascular Disease (report on health and social subjects No. 46). London : HMSO, 1994.

Значение соотношения ПНЖК/НЖК используется для оценки влияния питания на здоровье сердечно-сосудистой системы, и, чем выше этот показатель, тем более ценным считается продукт, рекомендованное значение не должно быть ниже 0,45 [HMSO, 1994]. Значения соотношений ПНЖК/НЖК (от 1,01 для карася до 1,78 для щуки), полученные в настоящем исследовании, указывают на пользу потребления всех видов рыб.

Индекс атерогенности характеризует атерогенный потенциал ЖК и указывает на соотношение проатерогенных ЖК и антиатерогенных, тогда как индекс тромбогенности — тромбогенный потенциал — и указывает на тенденцию к образованию тромбов в кровеносных сосудах. Предполагается, что потребление рыб с более низкими AI может способствовать снижению уровня общего холестерина и холестерина ЛПНП, а с более низким TI полезно для здоровья сердечно-сосудистой системы. Значения индексов атерогенности и тромбогенности в различных видах рыб изменились от 0,21 до 1,41 и от 0,14 до 0,87 соответственно. В исследуемых нами видах рыб эти индексы варьировали от 0,34 до 0,51 и от 0,20 до 0,39. Индекс укрепления здоровья (HPI) используется для оценки пищевой ценности жиров в рационе и указывает на влияние ЖК состава на возникновение сердечно-сосудистых заболеваний. В мышечной ткани исследуемых нами видов рыб минимальное значение данного индекса отмечено для карася (0,60), максимальное для щуки (0,73). Сравнительный анализ полученных результатов показал, что по уровню AI, TI и HPI наиболее полезными для диеты человека видами рыб являются щука и плотва.

Индекс НН в отличие от соотношения ПНЖК/НЖК более точно отражает влияние ЖК состава на здоровье сердечно-сосудистой системы, поскольку учитывает не только содержание ПНЖК, но и 18:1 МНЖК. Для рыб дельты р. Селенги индекс НН составлял от 2,0 для окуня до 2,8 в сазане и щуке. По данным Ratusz et al. [2018], потребление продуктов с относительно высоким показателем НН при низких AI и TI способствует снижению заболеваемости ишемической болезни сердца.

Показатель FLQ в основном используется для оценки качества липидов и показывает сумму ЭПК и ДГК от общего количества жирных кислот. В настоящей работе самые высокие значения FLQ наблюдались у щуки (39,0%), в то время как наименьшие у сазана и карася — 15,0% и 18,4% соответственно. Таким образом, среди исследованных нами рыб наибольшую потенциальную пользу для здоровья от употребления приносит щука.

Анализ главных компонент (PCA) процентного содержания разных групп жирных кислот (НЖК, МНЖК, ПНЖК, жирных кислот «омега-3» и «омега-6» семейств), их соотношений и пищевых индексов выявил определенные различия данных показателей для исследуемых видов рыб (рис. 2).

Главные компоненты в первых двух измерениях (ГК1 и ГК2) объясняли большую часть вариации (95,0 %). По первой компоненте, которая представляла собой большую долю вариации (80,0 %), различия в основном обусловлены разностью содержания «омега-3» и «омега-6» ЖК и соответственно показателей, рассчитанных на их основе (n-3/n-6, n-6/n-3 и FLQ). Таким образом, наибольшие различия по первому измерению обнаружены между *E. lucius* с большим содержанием «омега-3» и *C. carpio* с *C. carassius* с преобладанием «омега-6» ЖК. По второму измерению со значительно меньшей долей вариации (15,0 %), которое было связано

с содержанием насыщенных и полиненасыщенных ЖК и соответственно индексов на их основе, можно условно выделить две группы. Первая характеризовалась явным преобладанием в ЖК составе ПНЖК, в которую вошли *E. lucius*, *C. carpio* и *R. rutilus*; и вторая с относительно высоким содержанием НЖК (*P. fluviatilis*, *C. carassius* и некоторой степени *A. brama*). В то же время необходимо отметить, что между исследуемыми видами рыб существуют определенные различия в количественном содержании важных ЖК в мышцах, так как они образовывали относительно непересекающиеся между собой кластеры.

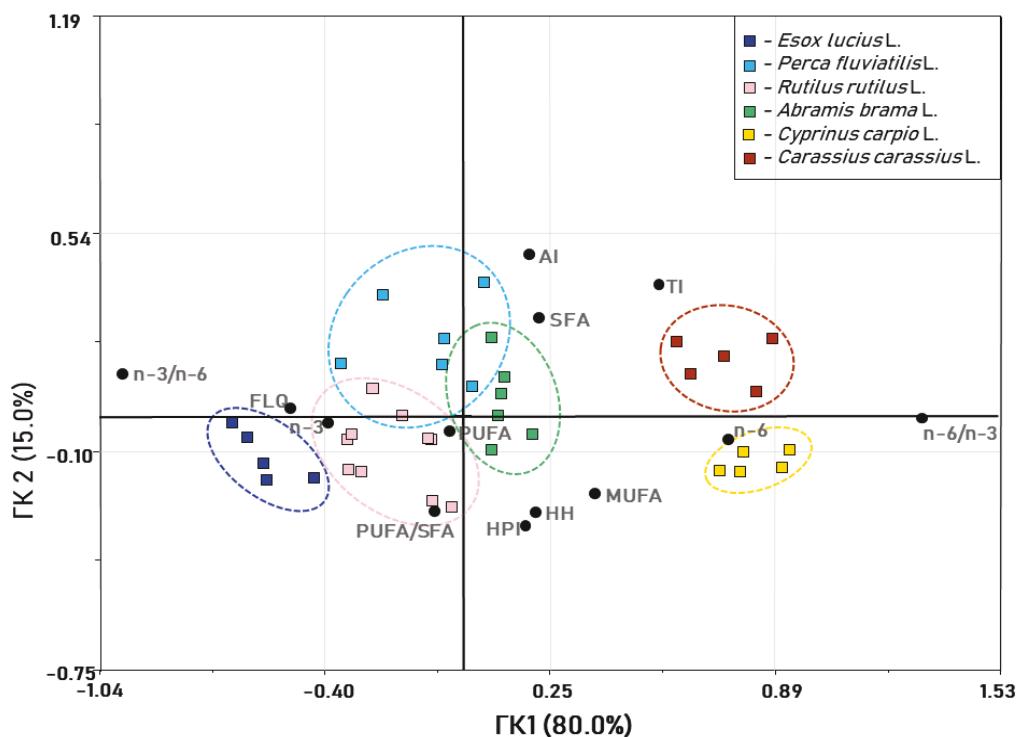


Рис. 2. Анализ главных компонент процентного содержания разных групп жирных кислот, их соотношений и пищевых индексов

Заключение

Таким образом, качество рыбной продукции следует оценивать по содержанию ПНЖК, а также индексов на их основе [Dgebuadze et al., 2023] <https://doi.org/10.1134/S0032945223010046>. С этой точки зрения все рассматриваемые виды рыб дельты реки Селенги, в частности щука, плотва и сазан, содержат значительные количества n-3 и n-6 незаменимых жирных кислот. Поскольку n-3 полиненасыщенные жирные кислоты обладают антиатеросклеротическим эффектом, пресноводную рыбу можно использовать для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, индексы качества липидов AI и TI в мышцах всех рыб были низкими, что означает, что употребление исследуемых видов рыб полезно для человека.

Литература

1. Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал: монография / [А. К. Тулохонов и др.]; ответственные редакторы А. К. Тулохонов, А. М. Плюснин. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. 309 с. Текст : непосредственный.
2. Муруева Г. Б., Кушкина Ю. А. Результаты мониторинга паразитарных болезней рыб в прибрежной зоне озера Байкал // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2018. № 2(38). С. 21–24. Текст : непосредственный.
3. Оценка показателей качества липидов рыб р. Баргузин (Восточное Прибайкалье) / С. В. Базарсадуева, Е. П. Никитина, Е. Ц. Пинтаева [и др.] // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, № 5. С. 828–836. Текст : непосредственный.
4. Тугарина П. Я., Козлова Н. И. О мониторинге биоразнообразия ихтиоценоза реки Селенги// Байкальский зоологический журнал. 2009. № 1. С. 40–45. Текст : непосредственный.
5. Ahmed I., Jan K., Fatma S., Dawood M. A. O. Muscle Proximate Composition of Various Food Fish Species and Their Nutritional Significance: A Review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2022; 106: 690–719.
6. Bazarsadueva S. V., Radnaeva L. D., Shiretorova V. G., Dylenova E. P. The Comparison of Fatty Acid Composition and Lipid Quality Indices of Roach, Perch, and Pike of Lake Gusinoe (Western Transbaikalia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18: 9032. DOI: 10.3390/ijerph18179032
7. Bernasconi A. A., Wiest M. M., Lavie C. J. et al. Effect of Omega-3 Dosage on Cardiovascular Outcomes: An Updated Meta-Analysis and Meta-Regression of Interventional Trials. *Mayo Clinic Proceedings*. 2021; 96: 304–313.
8. Calder P. C. Very Long-Chain n-3 Fatty Acids and Human Health: Fact, Fiction and the Future. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2018; 77: 52–72.
9. Chen J., Liu H. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21: 5695. DOI: 10.3390/ijms21165695
10. Chu P., Wang S., Yu W. et al. The Impact of Extremely Low-Temperature Changes on Fish: A Case Study on Migratory Bony Fishes (*Takifugu fasciatus*). *Aquaculture*. 2024; 579. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.740155
11. de Carvalho C., Caramujo M. The Various Roles of Fatty Acids. *Molecules*. 2018; 23(10). Article ID: 2583
12. Dgebuadze Y. Y., Sushchik N. N., Gerasimov Y. V. et al. Polyunsaturated Fatty Acid Content in the Muscles of Alien Fish Species of the Rybinsk Reservoir. *Journal of Applied Ichthyology*. 2023; 63: 147–155. DOI: 10.1134/S0032945223010046
13. Gladyshev M. I., Sushchik N. N., Makhutova O. N. Production of EPA and DHA in aquatic ecosystems and their transfer to the land. *Prostaglandins and Other Lipid Mediators*. 2013; 107: 117–126.
14. Gonçalves A. M. M., Azeiteiro U. M., Pardal M. A., De Troch M. Fatty Acid Profiling Reveals Seasonal and Spatial Shifts in Zooplankton Diet in a Temperate Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2012; 109: 70–80. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.05.020
15. Harris W. S., Tintle N. L., Imamura F. et al. Blood n-3 Fatty Acid Levels and Total and Cause Specific Mortality from 17 Prospective Studies. *Nature Communications*. 2021; 12: 2329
16. Huynh M. D., Kitts D. D. Evaluating Nutritional Quality of Pacific Fish Species from Fatty Acid Signatures. *Food Chemistry*. 2009; 114(3): 912–918. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.10.038
17. Jovićić K., Djikanović V., Santrač I. et al. Effects of Trace Elements on the Fatty Acid Composition in Danubian Fish Species. *Animals*. 2024; 14: 954. DOI: 10.3390/ani14060954
18. Kaur N., Bräaich O. S. Impact of industrial effluents on physico-chemical parameters of water and fatty acid profile of fish, *Labeo rohita* (Hamilton), collected from the Ramsar sites of Punjab, India. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29: 11534–11552.

19. Kheiri A., Aliakbarlu J., Tahmasebi R. Antioxidant potential and fatty acid profile of fish fillet: effects of season and fish species. *Veterinary Research Forum*. 2022; 13: 91–99.
20. Leibundgut M., Maier T., Jenni S., Ban N. The Multienzyme Architecture of Eukaryotic Fatty Acid Synthases. *Current Opinion in Structural Biology*. 2008; 18(6): 714–725. DOI: 10.1016/j.sbi.2008.09.008
21. Łuczyńska J., Paszczyk B. Health Risk Assessment of Heavy Metals and Lipid Quality Indexes in Freshwater Fish from Lakes of Warmia and Mazury Region, Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019; 16(19): 3780. DOI:10.3390/ijerph16193780
22. Mayzaud P., Chevallier J., Tavernier E. et al. Lipid Composition of the Antarctic fish *Pleuragramma antarcticum*. Influence of Age Class. *Polar Science*. 2011; 5(2): 264–271.
23. McBurney M. I., Tintle N. L., Vasan R. S. et al. Using an Erythrocyte Fatty Acid Fingerprint to Predict Risk of All-Cause Mortality: The Framingham Offspring Cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2021; 114: 1447–1454.
24. Memon N. N., Talpur F. N., Bhanger M. I., Balouch A. Changes in Fatty Acid Composition in Muscle of Three Farmed Carp Fish Species (*Labeo rohita*, *Cirrhinus mrigala*, *Catla catla*) Raised under the Same Conditions. *Food Chemistry*. 2011; 126: 405–410.
25. Mendivil C. O. Dietary Fish, Fish Nutrients, and Immune Function: a review. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 7: 617652
26. Mert R., Bulut S., Konuk M. The Effects of Season on Fatty Acid Composition and Ω3/Ω6 Ratios of Northern Pike (*Esox lucius* L., 1758) Muscle Lipids. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 2015; 33: 70–76.
27. Moreira A. B., Visentainer J. V., de Souza N. E., Matsushita M. Fatty Acids Profile and Cholesterol Contents of Three Brazilian Brycon Freshwater Fishes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2001; 14: 565–574.
28. Muhamad N. A., Muhamad J. Fatty Acids Composition of Selected Malaysian Fishes. *Sains Malaysiana*. 2012; 41(1): 81–94.
29. Nava V., Turco V. L., Licata P. et al. Determination of Fatty Acid Profile in Processed Fish and Shellfish Foods. *Foods*. 2023; 12: 2631
30. Özogul Y., Ozogul F., Ergüden S. Fatty Acid Profiles and Fat Contents of Commercially Important Seawater and Freshwater Fish Species of Turkey: A Comparative Study. *Food Chemistry*. 2007; 103: 217–223.
31. Ratusz K., Symoniuk E., Wroniak M., Rudzińska M. Bioactive Compounds, Nutritional Quality and Oxidative Stability of Cold-Pressed Camelina (*Camelina sativa* L.) Oils. *Applied Sciences*. 2018; 8: 2606.
32. Rodrigues B. L., Canto A. C. V. d. C. S., Costa M. P. d. et al. Fatty Acid Profiles of Five Farmed Brazilian Freshwater Fish Species from Different Families. *PLoS One*. 2017; 12(6): e0178898. DOI: 10.1371/journal.pone.0178898.
33. Saito H., Aono H. Characteristics of Lipid and Fatty Acid of Marine Gastropod Turbo Cornutus: High Levels of Arachidonic and n-3 Docosapentaenoic Acid. *Food Chemistry*. 2014; 145: 135–144. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.08.011
34. Santos S., Oliveira A., Lopes C. Systematic review of saturated fatty acids on inflammation and circulating levels of adipokines. *Nutrition Research Reviews*. 2013; 33(9): 687–695.
35. Taşbozan O., Gökçe M. A. Fatty Acids in Fish. In Fatty Acids. *IntechOpen*. 2017. DOI: 10.5772/68048
36. Tocher D. R. Fatty Acid Requirements in Ontogeny of Marine and Freshwater Fish. *Aquaculture Research*. 2010; 41(5): 717–732. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x
37. Tocher D. R. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. *Reviews in Fisheries Science*. 2003; 11(2): 107–184. DOI: 10.1080/713610925

*Статья поступила в редакцию 03.04.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025;
принята к публикации 20.06.2025.*

FATTY ACID COMPOSITION OF FISH FROM THE SELENGA RIVER DELTA

S. V. Bazarsadueva, E. P. Nikitina, S. V. Zhigzhitzhapova, V. V. Taraskin

Selmeg V. Bazarsadueva

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher,
Baikal Institute for Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
bselmeg@gmail.com

Elena P. Nikitina

Cand. Sci. (Biol.), Researcher,
Baikal Institute for Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
lenauude@mail.ru

Svetlana V. Zhigzhitzhapova

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher,
Baikal Institute for Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
zhig2@yandex.ru

Vasily V. Taraskin

Cand. Sci. (Pharm.), Laboratory Head,
Baikal Institute for Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia;
Dorzhi Banzarov Buryat State University
24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia
vvtaraskin@binm.ru

Abstract. Fish as a source of essential nutrients occupies a significant place in healthy human nutrition. To assess the nutritional value of the six main commercial fish species (common roach *Rutilus rutilus*, common bream *Aramis brama*, crucian carp *Carassius carassius*, common carp *Cyprinus carpio haematopterus*, European perch *Perca fluviatilis*, and northern pike *Esox lucius*) from the Selenga River delta we determined the fatty acid composition and lipid quality indices of the muscle tissues. It was identified total of 19 to 32 fatty acids depending on the species. The total content of polyunsaturated fatty acids is higher in *E. lucius* and *R. rutilus*, saturated fatty acids — in *C. carassius*, *P. fluviatilis* and *A. brama*, and monounsaturated fatty acids — in *C. carpio haematopterus*. The calculated lipid quality indices indicate the high nutritional value of muscle tissue of the studied fish.

Keywords: fatty acids of fish, lipid quality indices, the Selenga River delta, human food source, omega-3.

Acknowledgments

The research was carried out within the state assignment of Baikal Institute for Nature Management SB RAS (Project no. AAAA-A21-121011890027-0) using the facilities of the Research Equipment Sharing Center of Baikal Institute for Nature Management SB RAS.

C. В. Базарсадуева, Е. П. Никитина, С. В. Жигжитжапова, В. В. Тараксин.
Жирнокислотный состав рыб дельты р. Селенги

For citation

Bazarsadueva S. V., Nikitina E. P., Zhigzhizhapova S. V., Taraskin V. V. Fatty Acid Composition of Fish of the Selenga River Delta. *Nature of Inner Asia*. 2025; 2(31): 6–19 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2025-2-6-19

The article was submitted 03.04.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 20.06.2025.