



Розділ VII. Біохімія

УДК 543.544.32:597.2/.5(477)

DOI: <https://doi.org/10.29038/NCBio.25.1-21>

Дослідження жирнокислотного складу скелетних м'язів найбільш вживаних в Україні видів риб

Ю. Л. Осип¹, А. В. Савіцька², Н. Ю. Сливка¹, М. А. Осип³

¹ Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк

² Державний заклад «Науково-практичний медичний реабілітаційно-діагностичний центр МОЗ України», м. Київ

³ Луцький педагогічний коледж, м. Луцьк

Адреса для листування: Osyp.Yuri@vnu.edu.ua

Отримано: 17.03.25; прийнято до друку: 15.05.25; опубліковано: 30.06.25

Резюме. Поліненасичені жирні кислоти є необхідними для життєдіяльності людини оскільки проявляють різну корисну для нас біологічну активність, зокрема, відіграють важливу роль у попередженні ішемічних захворювань серця. Одним із основних джерел поліненасичених жирних кислот для людини є риба. Жирнокислотний склад ліпідів різних риб досить сильно відрізняється, тому збільшення споживання риби, що містять велику кількість цих речовин може позитивно вплинути на динаміку серцево-судинних захворювань.

У роботі проведено дослідження вмісту ПНЖК у скелетних м'язах дорзо-краніальної частини тулуба різних видів риб, що найчастіше споживаються в Україні: Коропа звичайного (*Cyprinus carpio*), Оселедця атлантичного (*Clupea harengus*), Хека сріблястого (*Merluccius bilinearis*), Форелі райдужної (*Parasalmo mykiss*), Товстолоба білого (*Hypophthalmichthys molitrix*) та Скумбрії атлантичної (*Scomber scombrus* L.).

Методом високоефективної газорідинної хроматографії встановлено жирнокислотний склад загальних ліпідів скелетних м'язів риб. Основні насичені жирні кислоти: пальмітинова (12,50–16,70 %) та стеаринова (1,06–12,48 %). Ненасичені: олеїнова (12,34–46,59 %), лінолева (1,50–17,48 %), ейкозапентаєнова (0,61–10,36 %) та докозагексаєнова (0,93–18,71 %).

Виявлено істотні відмінності жирнокислотного складу скелетних м'язів різних видів риб. У всіх зразках ненасичених жирних кислот більше, ніж насичених. Найбільша частка насичених жирних кислот у товстолоба білого (35,45 %), мононенасичених жирних кислот – у скумбрії атлантичної (53,99 %). Частка поліненасичених жирних кислот складає від 20,70 % у скумбрії атлантичної до 45,99 % у хека сріблястого.

Для оцінки харчової цінності риб встановлено співвідношення між загальним вмістом різних груп жирних кислот: насичених, мононенасичених, поліненасичених ω -6 та ω -3. Згідно вмісту основних найбільш цінних для людини в сучасних умовах ω -3 поліненасичених жирних кислот (докозагексаєнової та ейкозапентаєнової) у скелетних м'язах, досліджувані види риб, можна розмістити в порядку збільшення їх харчової цінності, у такий ряд: короп звичайний (1,54 %), скумбрія атлантична (14,21 %), товстолоб білий (14,69 %), райдужна форель (16,16 %), оселедець атлантичний (22,09 %) та хек сріблястий (29,07 %).

Ключові слова: Газова хроматографія, поліненасичені жирні кислоти ω -3 та ω -6, докозагексаєнова кислота, ейкозапентаєнова кислота, скумбрія атлантична, товстолоб білий, райдужна форель, оселедець атлантичний, хек сріблястий.

Study of the Fatty Acid Composition of Skeletal Muscles in the Most Commonly Consumed Fish Species in Ukraine

Yu. L. Osyp¹, A. V. Savitska², N. Yu. Slyvka¹, M. A. Osyp³

¹ Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

² State Institution "Scientific and Practical Medical Rehabilitation and Diagnostic Center of the Ministry of Health of Ukraine", Kyiv, Ukraine

³ Lutsk Pedagogical College, Lutsk, Ukraine

Correspondence: Osyp.Yuri@vnu.edu.ua

Abstract. Polyunsaturated fatty acids are essential for human health as they exhibit various biological activities beneficial to the body. In particular, they play a crucial role in the prevention of ischemic heart diseases. One of the main dietary sources of polyunsaturated fatty acids for humans is fish. The fatty acid composition of fish lipids varies significantly between species; therefore, increasing the consumption of fish rich in these compounds may positively influence the prevalence of cardiovascular diseases.

This study examined the polyunsaturated fatty acid (PUFA) content in the skeletal muscles of the dorso-cranial part of the body in various fish species commonly consumed in Ukraine: common carp (*Cyprinus carpio*), Atlantic herring (*Clupea harengus*), silver hake (*Merluccius bilinearis*), rainbow trout (*Parasalmo mykiss*), white silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), and Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.).

The fatty acid composition of total lipids in the skeletal muscles of these fish was determined using high-performance gas-liquid chromatography. The primary saturated fatty acids detected were palmitic acid (12.50–16.70 %) and stearic acid (1.06–12.48 %). The predominant unsaturated fatty acids were oleic (12.34–46.59 %), linoleic (1.50–17.48 %), eicosapentaenoic (0.61–10.36 %), and docosahexaenoic (0.93–18.71 %) acids.

Significant differences in the fatty acid composition of skeletal muscles among the studied fish species were observed. In all samples, the proportion of unsaturated fatty acids exceeded that of saturated fatty acids. The highest proportion of saturated fatty acids was found in white bream (35.45 %), while the highest content of monounsaturated fatty acids was detected in Atlantic mackerel (53.99 %). The proportion of polyunsaturated fatty acids ranged from 20.70 % in Atlantic mackerel to 45.99 % in silver hake.

To evaluate the nutritional value of these fish, the ratio of different fatty acid groups – saturated, monounsaturated, and polyunsaturated ω -6 and ω -3 fatty acids – was analyzed. Based on the content of the key ω -3 polyunsaturated fatty acids (docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid), which are particularly valuable for human health, the studied fish species can be ranked in order of increasing nutritional value as follows: common carp (1.54 %), Atlantic mackerel (14.21 %), white silver carp (14.69 %), rainbow trout (16.16 %), Atlantic herring (22.09 %), and silver hake (29.07 %).

Key words: Gas chromatography, polyunsaturated fatty acids ω -3 and ω -6, docosahexaenoic acid, eicosapentaenoic acid, Atlantic mackerel, white silver carp, rainbow trout, Atlantic herring, silver hake.

ВСТУП

Одним з найважливіших чинників якості життя людини є правильне харчування оскільки від нього безпосередньо залежить фізичне здоров'я та гарне самопочуття, а отже і життєвий комфорт кожного з нас. З їжею ми отримуємо матеріал для побудови власних тканин, енергію необхідну для функціонування всіх біологічних систем та велику кількість різноманітних речовин, що беруть участь у регуляції та функціонуванні метаболізму, оскільки є необхідними учасниками біохімічних реакцій.

Оцінка споживання основних продуктів харчування та поживних речовин у 195 країнах світу отримана у результаті масштабного дослідження статистичної інформації за 27 років з 1990 по 2017 рік свідчить, що причиною 20 % передчасних смертей є неправильне харчування [1]. Це дослідження дає вичерпну картину можливого впливу неоптимальної дієти на показники смертності та захворюваності в різних країнах, підкреслюючи необхідність поліпшення раціону харчування. Результати вказують на необхідність впровадження дієтичних втручань на основі фактичних даних та забезпечення платформи для оцінки їх впливу на здоров'я людини.

Дефіцит деяких корисних речовин, що потрапляють до організму людини з їжею, може привести до порушення важливих метаболічних процесів і критичних наслідків для організму в цілому. Такі речовини, нутрієнти, необхідні у різних кількостях, тому для збалансованого харчування важливим є їх співвідношення у раціоні. Одними з найважливіших необхідних для нормального функціонування організму людини нутрієнтів є поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК). Ці речовини привернули увагу науковців після виявленням зв'язку між рівнем їх споживання та ішемічними захворюваннями серця. Було встановлено, що практична відсутність серйоз-

них захворювань серця у корінного населення Гренландії є наслідком наявності у їх повсякденному раціоні великої кількості м'яса морських тварин та риби, жир яких містить багато ейкозапентаєнової та докозагексаєнової жирних кислот, ПНЖК, що відносять до класу ω -3 за місцем положення першого подвійного зв'язку з протилежного від карбоксильної групи кінця молекули [2, 3, 4].

Позитивний вплив ω -3 ПНЖК на серцево-судинну систему визначається зниженням рівня кардіоваскулярних ризиків (гіпертензивні розлади, атеросклероз, ішемічна хвороба серця тощо). Ці речовини беруть участь у регуляції гемостазу, оскільки є попередниками ейкозаноїдів (тромбоксанів, простагландинів, лейкотрієнів та простагландинів), що за рахунок впливу на здатність тромбоцитів до агрегації зменшують ризик тромбоутворення. ПНЖК забезпечують нормальне функціонування органів зору, нервової та ендокринної систем, допомагають у лікуванні синдрому хронічної втоми, емоційних розладів та депресії [5]. Докази, що підтверджують клінічні переваги ω -3 жирних кислот випливають з демографічних досліджень і вибірко-вих контрольних випробувань [2,3, 6, 7].

Відомо більше 400 природних жирних кислот (ЖК), проте широке розповсюдження мають близько 12. Вони мають лінійні ланцюги, число атомів Карбону у яких зазвичай парне, що зумовлене їх утворенням з ацетил-СоА, і складає від 4 до 24. Реакції перетворення жирних карбонових кислот та їх метаболітів складають велику частину обміну речовин людини. Будучи субстратом β -окиснення, ці речовини перетворюються у ацетил-СоА – первинний метаболіт, що є субстратом циклу трикарбонових кислот – центром перетину багатьох метаболічних шляхів та ключовим етапом клітинного дихання, оскільки продукує NADH та FADH₂ для забезпечення функціонування процесу окисного фосфорилування – основного джерела АТФ у клітині. Ацетил-СоА

активно використовується у якості джерела будівельних блоків для синтезу багатьох важливих біологічних молекул (власних ЖК, стероїдів, амінокислот тощо).

Переважає більшість ЖК у тому числі і ПНЖК, що входять до складу організму тварин і людини перебувають у естерифікованому стані утворюючи триацилгліцероли, фосфоліпіди, стериди та інші ліпіди, що виконують структурну, резервну, захисну та енергетичну функції. Ці ліпіди є основою плазматичних мембран та утворюють жирові тканини, завдяки чому карбонові кислоти, що є їх компонентами називають жирними. У здоровому організмі за умови нормального харчування 30–40 % необхідної енергії утворюється завдяки деградації жирних кислот [8], ці речовини є макронутрієнтами, тобто потрібні організму у великих кількостях.

Згідно норм прийнятих в Україні добова потреба дорослого населення від 18 до 59 років у жирах складає 70–154 г на добу для чоловіків та 58–90 г на добу для жінок у залежності від віку та фізичного навантаження. Вміст поліненасичених та мононенасичених жирних кислот (МНЖК) у раціоні українця повинен складати близько 10 % [9], що для чоловіків складає 7–15,4 г, а для жінок 5,8–9 г на добу.

Те, що ω -3, ω -6 ПНЖК не синтезуються ферментативними системами людини з простіших речовин, але необхідні для нормального функціонування організму стало підставою для об'єднання цих речовин у групу вітамінів F. При нестачі ПНЖК у їжі відбувається порушення функціонування біологічних мембран і жирового обміну в тканинах, що призводить до розвитку патологічних процесів: дерматозів, уражень печінки, розвивається атеросклероз судин. З ПНЖК синтезуються тканинні гормони, так звані ейкозаноїди (простагландини, простацикліни, тромбоксани, лейкотрієни), які регулюють клітинні і тканинні функції – реакції запалення, функціонування тромбоцитів, лейкоцитів і еритроцитів, звуження і розширення судин тощо [4, 7].

Біологічна активність метаболітів ω -3 та ω -6 ПНЖК неоднакова. Сучасна людина отримує ω -3 ПНЖК в основному у вигляді α -ліноленової ($C_{18:3}$), ейкозапентаєнової ($C_{20:5}$) та докозагексаєнової кислот ($C_{22:6}$). В організмі тварин та людини α -ліноленова кислота зазнає елонгації та десатурації у результаті чого перетворюється спочатку у ейкозапентаєнову ($C_{20:5}$, ω -3), а потім у докозагексаєнову ($C_{22:6}$, ω -3) кислоту, з якої синтезуються простагландини PG-3, тромбоксани TX-3 та лейкотрієни LT-5. TX-3 запобігають агрегації тромбоцитів, викликають розширення кровоносних судин чим понижують артеріальний тиск. PG-3 володіють протизапальним ефектом, а LT-5 є антиалергенами та розширюють бронхи.

Найпоширеніша ω -6 ПНЖК – лінолева кислота *in vivo* перетворюється тією ж самою ферментативною системою, теж зазнає елонгації та десатурації, але в арахідонову ($C_{20:4}$, ω -6) кислоту з якої утворюються простагландини PG-2, тромбоксани TX-2 та лейкотрієни LT-4. TX-2 посилюють агрегацію

тромбоцитів, викликають звуження кровоносних судин, що може привести до збільшення ймовірності утворення тромбів та підвищення артеріального тиску. PG-2 бере участь у біохімічних перетвореннях запальних процесів та індукують біль. LT-4 викликають спазми бронхів та секрецію слизу.

Таким чином з ω -3 ліноленової кислоти та ω -6 лінолевої кислоти в організмі людини і тварин продукуються ендогормони, які володіють протилежними біологічними властивостями [10]. Всі ці біологічно активні речовини необхідні організму у різних кількостях. Низка наукових праць свідчать, що надмірна кількість ω -6 жирних кислот по відношенню до ω -3 може негативно впливати на здоров'я. Це пояснюють тим, що ПНЖК використовують одні і ті ж ферментативні системи, вони конкурують між собою за фосфоліпазу A_2 та циклооксигенази. При значній перевазі у фосфоліпідах арахідонової кислоти (ω -6) утворюється надлишок PG-2, TX-2 та LT-4, що приводить до розладів серцево-судинної системи, алергії, запалення, набряків і болю. При достатній кількості ейкозапентаєнової кислоти (ω -3) синтезується достатня кількість PG-3, TX-3 та LT-5, що створює певний баланс між біологічно активними метаболітами арахідонової та ейкозапентаєнової кислот. Співвідношення між ω -6 та ω -3 ПНЖК у раціоні здорової людини має бути 10:1 [11], а для лікувально-профілактичного харчування – від 3:1 до 5:1.

Проте існує думка, що значна перевага ω -6 жирних кислот не має негативних наслідків, оскільки не доведено прямої залежності кількості цих ПНЖК від кількості їх активних метаболітів. Велика частина ПНЖК вступає у β -окиснення і використовується для отримання енергії, так як і всі інші жирні кислоти. Згідно такого погляду необхідним є наявність достатньої кількості ω -3 жирних кислот, без прив'язки до кількості ω -6.

Норма ω -3 жирних кислот становить 1-3 г на добу, а в ω -6 – до 10 г на добу. Незважаючи на те, що фізіологічна потреба в ω -3 жирних кислотах менша ніж у ω -6, ризики виникнення дефіциту цих речовин більші оскільки їхні кількості сильно відрізняються у продуктах нашого харчування. Наприклад соняшникова олія – традиційний продукт повсякденного раціону українців містить від 50 до 75 % лінолевої кислоти [12], тобто є потужним джерелом ω -6 ПНЖК, але практично не містить ω -3 ПНЖК. Разом з тим олія льону зазвичай містить більше 50 % ліноленової ω -3 кислоти і практично не містить ω -6 ПНЖК [13]. Проте олія льону практично не використовується українцями, оскільки не така смачна як соняшникова та з часом прогоркає, що сильно обмежує термін її придатності.

Одним з найважливіших джерел ПНЖК жирних кислот є риба та морепродукти. Їх жирнокислотний склад більш різноманітний, ніж у рослинних олій. Риба, особливо північних морів та риб'ячий жир багаті на ейкозапентаєнову ($C_{20:5}$, ω -3), докозагексаєнову ($C_{22:6}$, ω -3) та арахідонову ($C_{20:4}$, ω -6) жирні кислоти [4,6,14]. Саме тому жир морських риб, наприклад тріски, використовують як харчову

добавку, що містить ω -3 поліненасичені жирні кислоти. Високий вміст ПНЖК ω -3 у рибі зумовлений споживанням нею фітопланктону і водоростей ліпідів яких характеризуються високою кількістю ейкозапентаєнової і докозагексаєнової кислот. По-трапляючи в організм риб ці речовини включаються у триацилгліцероли та фосфоліпідів їх тканин і по трофічному ланцюзі на пряму, або через морських ссавців, попадають в організм людини [3].

Згідно даних Всесвітньої організації охорони здоров'я частка передчасної смертності від серцево-судинних захворювань у світі складає від 4 до 42 % у залежності від рівня доходів у країні, а Україна належить до країн де смертність від цих захворювань є найбільша у світі і складає 373-861 чоловік на 100 тисяч у залежності від статі та віку [15]. Актуальність покращення цих показників може стати причиною збільшення попиту на продукти багаті ω -3 ПНЖК, що викликає інтерес до встановлення найбільш продуктивних їх джерел, зокрема риби, різні види якої можуть сильно відрізнятися за жирнокислотним складом, що зумовлено особливостями їхнього способу життя, передусім джерелами харчування.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У дослідженні використовували охолоджену промислову рибу загальнодоступну на ринку України. Зразки скелетних м'язів відбирали з дорзокраніальної частини тулуба. Для кожної проби використовувалося три екземпляри одного виду риб, з яких отримували 1 см³ скелетних м'язів, які потім гомогенізували і відбирали наважку тканин.

Для екстракції ліпідів застосовували модифікований метод Фолча [16]. Наважку тканини масою 0,3 г гомогенізували в рідкому азоті, який швидко заморожує тканину і створює інертну атмосферу, запобігаючи окисненню ліпідів. Гомогенат екстрагували протягом 20 годин сумішшю 2 мл метанолу з 4 мл хлороформу при понижений температурі. Екстракт відфільтровували від м'язової тканини та

додавали 1 мл 1 % водного розчину KCl, а отриману суміш струшували і залишали до повного розділення фаз. Після видалення верхньої водно-метанольної фази з нижньої, хлороформної фази, що містить ліпідів, відганяли розчинник у вакуумі при температурі не більше 60°C. Залишок, після видалення розчинника, розчиняли у 0,5 мл гексану для хроматографії.

Дослідження вмісту жирних кислот у досліджуваних зразках проводили методом високоефективної газової хроматографії на газовому хроматографі "Кристалл 2000М" Хроматек з капілярною колонкою DB-FFAP (США) та полум'яно-іонізаційним детектором. Карбонові кислоти у зразках естерифікували натрій метилатом згідно ДСТУ ISO 5509-2002 "Жири тваринні і рослинні та олії. Приготування метилових ефірів жирних кислот" [17], а отримані метилові естери розділяли відповідно до методики наведеної у ДСТУ ISO 5508-2001 "Жири тваринні і рослинні та олії. Аналіз методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот" [18]. Ідентифікацію проводили використовуючи величини часу утримання метилових естерів жирних кислот. Кількісний жирнокислотний склад розраховували методом внутрішньої нормалізації за допомогою програмного забезпечення "Хроматек Аналітик".

ОБГОВОРЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Для дослідження використовували найбільш вживані населенням України види прісноводних та морських риб: товстолоба білого (*Hypophthalmichthys molitrix*), коропа звичайного (*Cyprinus carpio* L.), скумбрії атлантичної (*Scomber scombrus* L.), форелі райдужної (*Oncorhynchus mykiss*), хека сріблястого (*Merluccius bilinearis*) та оселедця атлантичного (*Clupea harengus*).

Вміст жирних кислот у скелетних м'язах досліджуваних видів риб

Узагальнені результати хроматографічних аналізів жирнокислотного складу ліпідів скелетних м'язів дорзокраніальної частини тулуба риб представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Жирнокислотний склад загальних ліпідів скелетних м'язів риб у %

Жирні кислоти	Короп	Товстолобик	Хек	Оселедець	Райдужна форель	Скумбрія
1	2	3	4	5	6	7
Насичені						
Каприлова кислота C _{8:0}	—	—	0,29	—	—	—
Капринова C _{10:0}	—	0,24	2,15	0,02	—	0,57
Лауринова C _{12:0}	—	0,25	0,43	0,10	0,08	0,03
Міристинова C _{14:0}	0,44	4,05	1,18	10,78	5,68	6,61
Пентадецилова C _{15:0}	—	1,03	0,18	0,60	0,42	0,52
Пальмітинова C _{16:0}	12,50	16,70	13,91	13,14	12,60	14,76
Маргарінова C _{17:0}	—	1,43	0,26	0,98	0,70	0,35
Стеаринова C _{18:0}	7,81	11,29	12,48	1,06	4,55	2,33

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
Арахінова C _{20:0}	0,41	0,46	0,14	0,24	0,24	0,14
Мононенасичені						
Міристолеїнова C _{14:1}	–	0,11	–	0,08	0,03	0,06
Пальмітолеїнова C _{16:1}	3,28	5,95	2,06	5,89	8,38	13,96
Маргаринолеїнова C _{17:1}	–	1,28	0,28	0,39	0,92	0,67
Олеїнова C _{18:1}	46,59	12,34	18,51	21,48	23,84	20,48
Гондоїнова C _{20:1}	2,15	1,37	1,57	16,56	3,56	13,40
Ерукова C _{22:1}	–	–	0,57	2,48	2,56	4,12
Нервонова C _{24:1}	–	–	–	0,68	–	1,30
ПНЖК ω-6						
Лінолева C _{18:2}	17,48	5,28	12,50	1,50	13,55	2,31
γ-Ліноленова C _{18:3}	1,26	1,10	–	–	0,29	1,55
Ейкозадієнова C _{20:2}	0,69	7,83	–	0,16	–	0,32
γ-Ейкозатрієнова C _{20:3}	0,9	1,39	–	0,10	0,83	–
Арахідонова C _{20:4}	2,66	2,72	2,41	0,24	0,49	0,34
ПНЖК ω-3						
α-Ліноленова C _{18:3} (АЛК)	2,29	5,28	0,69	1,15	2,64	1,55
α-Ейкозатрієнова C _{20:3}	–	1,1	–	0,10	0,96	0,07
Ейкозапентаєнова C _{20:5} (ЕПК)	0,61	7,83	10,36	4,24	4,99	4,87
Докозатетраєнова C _{22:4}	–	1,39	1,99	0,05	0,25	0,09
Докозапентаєнова C _{22:5}	–	2,72	0,02	0,13	1,27	0,26
Докозагексаєнова C _{22:6} (ДГК)	0,93	6,86	18,02	17,85	11,17	9,34

Жирнокислотний склад ліпідів скелетних м'язів досліджуваних видів риб є досить різноманітний. З насичених жирних кислот у всіх зразках переважає пальмітинова кислота C_{16:0}, вміст якої у товстолибика сягає 16,70 % від загальної кількості жирних кислот. Найменше пальмітинової кислоти виявлено у м'язах коропа (12,50 %) та райдужної форелі (12,60 %). У м'язах оселедця виявлено порівняно високий вміст міристинової кислоти C_{14:0} (10,78 %), тоді як у м'язах товстолиба (4,05 %), райдужної форелі (5,68 %) та скумбрії (6,61 %) її в два рази менше, а у м'язах коропа та хека вміст цієї кислоти складає 0,44 % та 1,18 % відповідно. Високий вміст стеаринової кислоти C_{18:0} виявлено у хека (12,48 %) і товстолибика (11,29 %), а в оселедця і скумбрії цієї ЖК менше – 2,5 %. Вміст насичених жирних кислот з короткими і довгими карбоновими ланцюгами невисокий. Вміст арахінової кислоти C_{20:0}, що має найдовший карбоновий ланцюг серед всіх ненасичених ЖК у всіх досліджуваних зразках риб складає менше 0,5 %. З коротколанцюгових капринова кислота C_{10:0} виявлена у хеці (2,15 %), скумбрії (0,57 %) та товстолибика (0,25 %).

З мононенасичених жирних кислот у зразках риб переважає олеїнова C_{18:1}, причому в коропа її вміст складає 46,60 % усіх ЖК. У хеці, оселедці, райдужній форелі та скумбрії рівень олеїнової кислоти складає близько 20 % (див. табл. 1), а в товстолибика 12,34 %. Кількість пальмітолеїнової кислоти C_{16:1} зростає у ряду хек (2,06%), короп (3,28 %), оселедць (5,89 %), товстолибик (5,95 %), райдужна форель (8,38 %) та скумбрія (13,96 %). Високий вміст гондоїнової C_{20:1} виявлено в оселедці (16,56 %) та скумбрії (13,40 %), проти райдужної форелі (3,56 %),

коропа (2,15 %), хеку (1,57 %) та товстолибика (1,37 %).

Із поліненасичених жирних кислот ω-6 у м'язах досліджуваних риб найбільше лінолевої C_{18:2}. Вона переважає у всіх зразках, крім товстолибика. Найвищий вміст лінолевої кислоти у коропа (17,48 %), райдужної форелі (13,55 %) та хеці (12,50 %), порівняно низький у товстолибика (5,28 %), скумбрії (2,31 %) та оселедці (1,50 %). У товстолибика з ПНЖК ω-6 багато ейкозадієнової C_{20:2} (7,83 %). Проте в інших видів риб цієї ПНЖК менше 1 %. Рівень важливої незамінної арахідонової кислоти C_{20:4} складає близько 2,5 % у товстолибика, коропа та хака, а в райдужної форелі, скумбрії та оселедці менше 0,5 %. Також, у цих видах риб спостерігається невеликий рівень γ-ліноленова C_{18:3} та γ-ейкозатрієнової C_{20:3} кислот (Таблиця 1), вміст яких у коропа та товстолибика дещо вищий і сягає 1,39 % у γ-ейкозатрієнової кислоти у товстолибика.

За вмістом ПНЖК ω-3 у різних зразках риб є суттєві відмінності. Найбільший вміст докозагексаєнової C_{22:6} (ДГК) виявлено у хека та оселедці, 18,02 % та 17,85 % відповідно. Суттєвий вміст цієї кислоти міститься у м'язах райдужної форелі (11,17 %), скумбрії (9,34 %) та товстолибика (6,86 %). Зразки м'язів коропа містили всього 0,93 % ДГК.

Кількість ейкозапентаєнової C_{20:5} (ЕПК) кислоти теж найбільша у хека та товстолибика – 10,36 % та 7,83 % відповідно. Високий вміст цієї кислоти у райдужній форелі (4,99 %), скумбрії (4,87 %) та оселедці (4,24 %). Короп містив всього 0,61 % ЕПК.

α-Ліноленовою кислотою C_{18:3} (АЛК) найбагатші виявилися м'язи товстолибика (5,28 %), менше її у райдужній форелі (2,64 %) та коропі (2,29 %),

більше одного відсотка у оселедці (1,15 %) та скумбрії (1,55 %) і найменше в хеці (0,69 %).

Співвідношення жирних кислот у скелетних м'язах досліджуваних риб

Для оцінки харчової цінності риб було вираховано співвідношення між загальним вмістом різних груп жирних кислот: насичених, ненасичених, МНЖК, ПНЖК ω -6 і ПНЖК ω -3. Результати подано у табл. 2 та на рис. 1.

Таблиця 2

Вміст окремих груп жирних кислот в загальних ліпідах скелетних м'язів риб (%)

Групи жирних кислот	Короп	Товстолобик	Хек	Оселедець	Райдужна форель	Скумбрія
Σ Насичені ЖК	21,16	35,45	31,02	26,92	24,27	25,31
Σ Ненасичені ЖК	78,84	64,55	68,98	73,08	75,73	74,69
Σ МНЖК	52,02	21,05	22,99	47,56	39,29	53,99
Σ ПНЖК	26,82	43,5	45,99	25,52	36,44	20,70
Σ ω -6 ПНЖК	22,99	18,32	14,91	2,00	15,16	4,52
Σ ω -3 ПНЖК	3,83	25,18	31,08	23,52	21,28	16,18
ω -3/ ω -6	0,17	1,37	2,08	11,76	1,40	3,58
ЕПК + ДГК	1,54	14,69	28,38	22,09	16,16	14,21

У всіх зразках м'язів досліджуваних риб ненасичені ЖК значно переважають над насиченими, їх вміст складає від 64,55 % у товстолобика до 78,84 % у коропа. У скумбрії, коропа та оселедця МНЖК складають приблизно половину від кількості

усіх ЖК. У хека та товстолобика переважають ПНЖК сягаючи 45,99 % та 43,5 % відповідно. Райдужна форель має приблизно однаковий вміст МНЖК та ПНЖК.

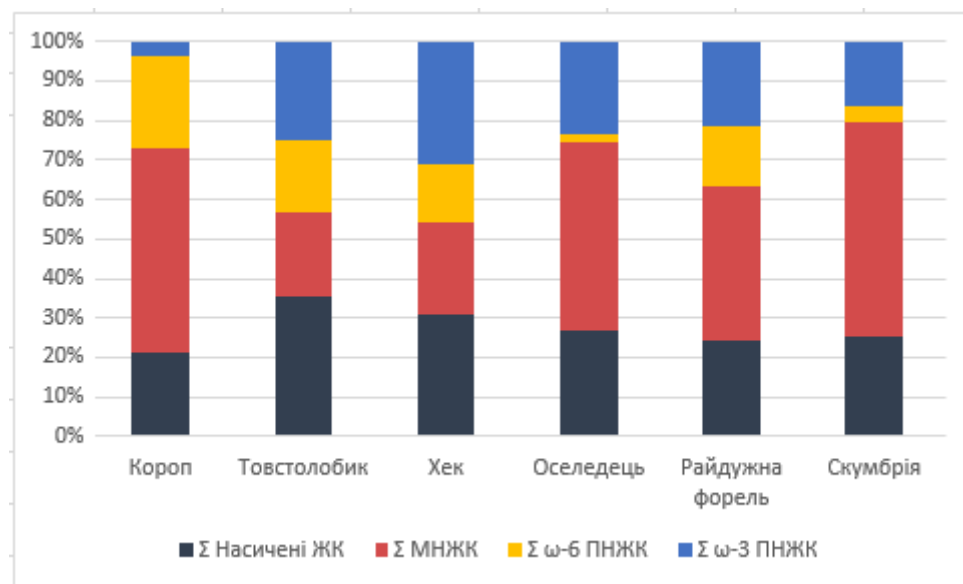


Рис. 1. Співвідношення груп жирних кислот у скелетних м'язах риб

У всіх риб, за винятком коропа, кількість ПНЖК класу ω -3 переважає над кількістю ω -6 ПНЖК. Серед ω -6 ПНЖК найбільше лінолевої кислоти $C_{18:2}$ (1,50–17,48 %), за виключенням товстолобика у якого з МНЖК переважає ейкозадієнова $C_{20:2}$ кислота (7,83 %). Найвищий вміст лінолевої кислоти у карпа (17,48 %). Кількість арахідонової кислоти $C_{20:4}$ коливається від 0,34% (скумбрія) до 2,72% (товстолобик). Найбільш поширеними ПНЖК класу

ω -3 в досліджуваних зразках риб є ейкозапентаєнова $C_{20:5}$ (ЕПК) та докозагексаєнова $C_{22:6}$ (ДГК) кислоти. Відсотковий вміст ДГК в діапазоні від 0,93 % (короп) до 18,02 % (хек) був вищий ніж ЕПК. Кількість ЕПК знаходиться в у межах від 0,61 % (короп) до 10,36 % (хек).

Співвідношення ω -3/ ω -6 найменше у коропа (0,17), що пов'язано з порівняно величезною кількістю у його скелетних м'язах ω -6 лінолевої $C_{18:2}$

кислоти (17,48 %) і невеликою ЕПК (0,16 %) та ДГК (0,93 %). У всіх інших досліджуваних видів риби показник співвідношення ω -3/ ω -6 вище одиниці і знаходиться у межах від 1,37 товстолобика до 3,58 у скумбрії, а в оселедця складає 11,76 оскільки у його м'язах виявлено велику кількість ω -3 ДГК (17,85 %) та малу кількість ω -6 лінолевої $C_{18:2}$ кислоти (1,5 %).

Оцінка харчової цінності риби за жирнокислотним складом

Найбільшу харчову цінність для сучасної людини мають ПНЖК ω -3 оскільки ПНЖК ω -6 знаходяться у достатній кількості у звичних для нас продуктах харчування, наприклад, вміст лінолевої

кислоти (ω -6) у соняшниковій олії може сягати 60 % від загальної кількості всіх ЖК. У рибі, що використовується в харчовій промисловості, ПНЖК ω -3 представлені докозагексаєновою $C_{22:6}$ та ейкозапентаєновою $C_{20:5}$ кислотами. Оскільки в організмі людини ейкозапентаєнова $C_{20:5}$ кислота перетворюється у докозагексаєнову $C_{22:6}$ кислоту, тобто вони мають однокові біологічні ефекти, для оцінки їх харчової цінності зручно використати суму їх кількостей. Результати оцінки за вмістом ω -3 ПНЖК (ДГК + ЕПК) у скелетних м'язах досліджуваних риб представлено на рис. 2 та у таблиці 2.

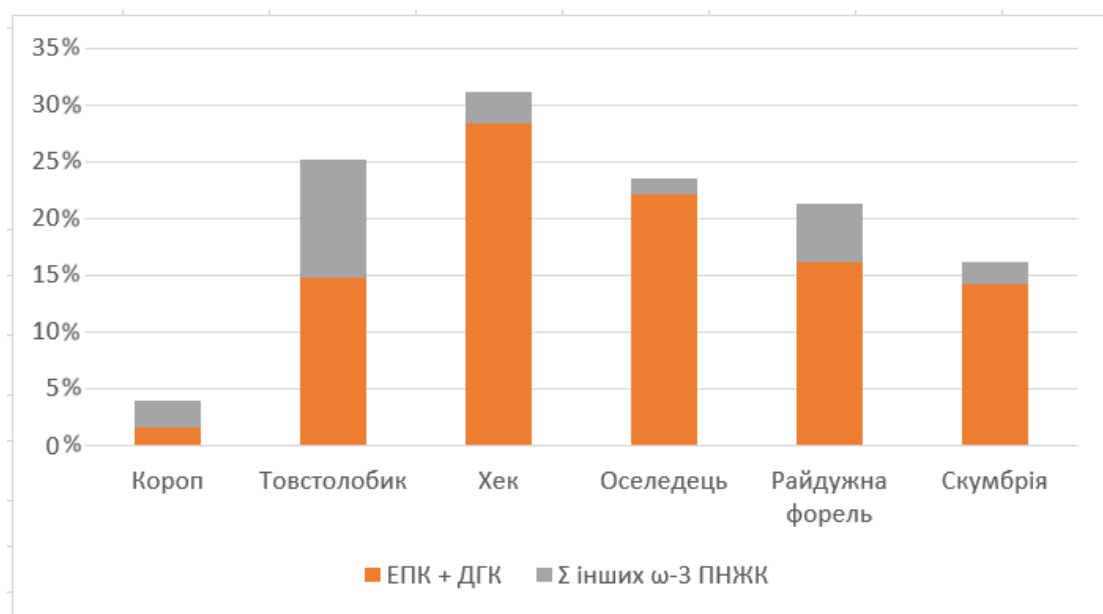


Рис. 2. Вміст ω -3 ПНЖК (ЕПК+ДГК) у скелетних м'язах риб

Таким чином, за часткою основних омега-3 ПНЖК (ДГК + ЕПК) у комплексі жирів скелетних м'язів риб, їх можна розмістити відповідно до збільшення корисності у такий ряд: короп (1,54 %), скумбрія (14,21 %), товстолобик (14,69 %), райдужна форель (16,16 %), оселедець (22,09 %), хек (28,38 %).

Отримані нами результати загалом відповідають результатам інших авторів. Так, Bulut, S. [19] виявив, що ДГК та ЕПК складають у тканинах хека – 44,3 % всього вмісту жирів і частка цих ПНЖК серед 34 досліджених видів риб була найвищою у хека та минтаю – 44,2 %. Проте загальний вміст жирів у цих риб невисокий і тому ці ЖК складають менше 1 % маси тіла риб.

Високий вміст ДГК та ЕПК також було виявлено у оселедця (22,09 %) райдужній форелі (16,16 %), товстолобику (14,69 %) та скумбрії (14,21 %). Загальний вміст жиру в тілі найвищий у скумбрії – 20,6 %. Тому, не зважаючи на нижчу частку цих ПНЖК в комплексі жирів, у скумбрії ці кислоти складають близько 2,5 % маси тіла. Вищі показники зареєстровані тільки в тканинах акул та в печінці тріски. Частину сортів оселедця теж відносять до жирної риби, частину до риби середньої жирності, як і райдужну форель.

Разом з тим високий загальний вміст жиру в таких видів риб і рибних продуктах спричинює їх підвищену калорійність, що може призводити до зростання маси тіла у людей, які їх посилено споживають. Такі ж види риби як хек та товстолобик мають нижчу енергетичну цінність за рахунок меншого вмісту жирів, проте у них висока частка необхідних ПНЖК, що продемонстровано в нашому дослідженні. Коропа відносять до жирної риби, проте у досліджуваних нами зразках м'язів частка ω -3 ПНЖК виявилась невисокою.

У всіх видів досліджуваних риб, крім коропа, співвідношення ω -3/ ω -6 вище ніж 1, а кількість ненасичених жирних кислот переважає над насиченими, що відповідає рекомендаціям Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) стосовно співвідношення ПНЖК у продуктах харчування [20]. Згідно цим рекомендаціям у харчуванні кожної людини віком від 2 років споміж жирів мають переважати ненасичені жирні кислоти.

На нашу думку, істотні відмінності у співвідношенні ЖК у різних видів риб передусім пов'язані з характером їхнього харчування. Так, товстолоб білий споживає в основному фітопланктон, водну рослинність, оселедець і скумбрія – зоопланктон, хек

живиться планктонними ракоподібними і дрібними рибами, що є джерелом ПНЖК. А коропів у рибних господарствах переважно відгодовують штучними кормами, які не можуть забезпечити накопичення значної кількості ПНЖК. Загалом за результатами дослідження у скелетних м'язах морських риб вміст омега-3 ПНЖК більший, ніж у прісноводних.

ВИСНОВКИ

1. Методом високоефективної газорідної хроматографії встановлено жирнокислотний склад загальних ліпідів скелетних м'язів дорзо-краніальної частини тулуба коропа звичайного (*Cyprinus carpio* L.), товстолоба білого (*Hypophthalmichthys molitrix*), хека сріблястого (*Merluccius bilinearis*), оселедця атлантичного (*Clupea harengus*), форелі райдужної (*Oncorhynchus mykiss*) та скумбрії атлантичної (*Scomber scombrus* L.). Основні насичені жирні кислоти: пальмітинова C_{16:0} (12,50–16,70 %); стеаринова C_{18:0} (1,06–12,48 %). Ненасичені: олеїнова C_{18:1} (12,34–46,59 %), лінолева C_{18:2} (1,50–17,48 %), α -ліноленова C_{18:3} (0,69–5,28 %), ейкозапентаєнова C_{20:5} (0,61–10,36 %), докозагексаєнова C_{22:6} (0,93–18,02 %).

2. Виявлено істотні відмінності жирнокислотного складу скелетних м'язів різних видів риб. У всіх зразках ненасичених жирних кислот більше, ніж

насичених. Найбільша частка насичених ЖК у товстолоба білого (35,45 %) та хека сріблястого (31,02 %), монов ненасичених ЖК – у скумбрії атлантичної (53,99 %) та коропа звичайного (52,02 %). Частка ПНЖК у досліджуваних видах риб складає від 20,70 % у скумбрії атлантичної до 46,59 % у хека сріблястого.

3. ω -6 ПНЖК складають вагому частину від загальноного вмісту жирних кислот у більшості досліджуваних риб. Найбільший вміст у коропа звичайного (22,99 %) та товстолоба білого (18,32 %). Найменша кількість цих кислот спостерігалось в оселедця атлантичного (2,00 %), що зумовлює найбільший показник співвідношення ω -3/ ω -6 (11,76) у його м'язах.

За вмістом основних найбільш цінних для людини ω -3 ПНЖК (докозагексаєнової та ейкозапентаєнової) досліджувані види риб можна розмістити в порядку збільшення корисності, у такий ряд: короп звичайний (1,54 %), скумбрія атлантична (14,21 %), товстолоб білий (14,69 %), райдужна форель (16,16 %), оселедець атлантичний (22,09 %) та хек сріблястий (29,07 %). У товстолоба білого та райдужної форелі спостерігали високий вміст інших ω -3 ПНЖК, переважно ліноленової кислоти, 10,49 % та 5,12 % відповідно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 *The Lancet*, April 3, 2019; Vol. 393: 1958–72 [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30041-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30041-8)
2. Dyerberg, J.; Bang, H.O.; Hjorne, N. Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos *Am. J. Clin. Nutr.* 1975. – № 28. – P. 58 – 66. <https://doi.org/10.1093/ajcn/28.9.958>
3. Грициняк, І.І.; Смолянів, К.Б.; Вудмаска І.В. та ін. Біологічна дія поліненасичених N-3 жирних кислот в організмі людини та основні джерела забезпечення їх потреби *Біологія тварин*. – 2010. – 12. – №1. – с. 10.
4. Kris-Etherton, P.M.; Harris, W.S.; Appel, L.J. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease *Circulation*. – 2002. – 106, P: 2747 – 2757.
5. Stone, N.J.; Fish consumption, fishoil, lipids, and coronary heart disease *Circulation*. 1996. – 94:2337-2340.
6. Kris-Etherton, P.M.; Harris, W.S.; Appel, L.J. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease *Arterioscler, Thromb, Vasc Biology*, 2003. – 23:151-152. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000057393.97337.AE>
7. Innis, S.M. Dietary omega 3 fatty acid and the developing brain *Brain Research*, 2008. – V. 1237, P. 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.08.078>
8. Zubay, G.L.; Parson, W.W.; Dennis E. *Principles of Biochemistry: Energy, proteins, and catalysis*, William C Brown Pub. – 1995-01-12. – 352 p.
9. НАКАЗ від 03.09.2017 № 1073 Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії *Офіційний вісник України* від 07.11.2017 – 2017 р., № 87, стор. 72, стаття 2658, код акта 87770/2017
10. Simopoulos, A.P. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids // *Poultry Science*, Volume 79, Issue 7, 1 July 2000, Pages 961-970. <https://doi.org/10.1093/ps/79.7.961>
11. Pereira, H.; Barreira, L.; Figueiredo, F.; Custódio, L.; Vizetto-Duarte, C.; Polo, C.; Rešek, E.; Engelen, A.; Varela J. Polyunsaturated fatty acids of marine macroalgae: potential for nutritional and pharmaceutical applications *Marine Drugs*. – 2012. – № 9. – P. 1920-1935. <https://doi.org/10.3390/md10091920>
12. ДСТУ 4492:2005. Олія соняшникова. Технічні умови. [Чинний від 2007.01.01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006, 22 с.
13. Осип, Ю.Л.; Осип, М.А.; Раковець О.Ю. Оптимізація співвідношення ω -6/ ω -3 жирних кислот у соняшниковій олії *Scientific Journal «Science Rise: Biological Science»*. 2019. № 4 (19). С. 48-52. DOI: 10.15587/2519-8025.2019.189139
14. Holub, D.J.; Holub, B.J. Omega-3 fatty acids from fish oils and cardiovascular disease. *Molecular Cellular Biochemistry*, 2004 Aug; 263(1-2):217-25. <https://doi.org/10.1023/B:MCBI.0000041863.11248.8d>
15. World Atlas of Cardiovascular Disease Prevention and Control // World Health Organization (www.who.int), 20 Avenue Appia CH-1211 Geneva 27 Switzerland, 2013, 155 p.
16. Folch, J.; Lees, M.; Stoane-Stanley, G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue *J. Biol. Chem.* – 1957. – 226, N1. – P. 497-509. DOI: 10.1016/S0021-9258(18)64849-5
17. ДСТУ ISO 5509-2002 Жири тваринні і рослинні та олії. Приготування метилових ефірів жирних кислот (ISO 5509:2000, IDT). [Чинний від 01.10.2003]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002, 26 с
18. ДСТУ ISO 5508-2001 “Жири тваринні і рослинні та олії. Аналіз методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот” (ISO 5508:1990, IDT). [Чинний від 2003.01.01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001, 14 с.
19. Bulut, S. Fatty acid composition and ω 6/ ω 3 ratio of the pike (*Esox lucius*) muscle living in Eber Lake, Turkey *Scientific Research and Essays*. – 2010. – № 5. – P. 3776 – 3780. <https://doi.org/10.5897/SRE.9000031>
20. WHO updates guidelines on fats and carbohydrates / World Health Organization, 17 July 2023 <https://www.who.int/news/item/17-07-2023-who-updates-guidelines-on-fats-and-carbohydrates>.