

ВМІСТ ЖИРНИХ КИСЛОТ В ОРГАНАХ *CYPRINUS CARPIO* L. ЗА РІЗНИХ УМОВ ІСНУВАННЯ

С. В. Сисолятин
sergiy_sv@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

*Важливе значення у процесах адаптації живих організмів до екстремальних умов зовнішнього середовища відіграють жирні кислоти (ЖК). Методом газорідинної хроматографії з полум'яно-іонізаційним детектором досліджено жирнокислотний пул загальних ліпідів печінки, зябер та головного мозку *Cyprinus carpio* L. за нормобіозу та штучного гіпобіозу (на 6-у та 24-у години експозиції). Відмічено органоспецифічність за кількісним вмістом ЖК загальних ліпідів в організмі коропів. За нормобіозу ліпіди головного мозку коропів, на відміну від інших органів, характеризуються вищим рівнем насичених (42,4 %) та нижчим рівнем ненасичених ЖК (57,6 %) за рахунок високого рівня моноенових ненасичених ЖК (39,3 %) та низького рівня полієнових ненасичених ЖК (18,3 %).*

Встановлено, що вплив гіпоксико-гіперкапічного середовища за гіпотермії (штучний гіпобіоз) спричиняє зміни у кількісному складі жирних кислот загальних ліпідів органів коропів. Зокрема спостерігається зниження вмісту насичених жирних кислот, переважно пальмітинової та стеаринової, що, ймовірно, пов'язано з енергетичними та адаптаційними процесами. Вміст ненасичених жирних кислот ліпідів у досліджуваних органах збільшується переважно за рахунок полієнових, зокрема лінолевої, ліноленової, арахідонової, ейкозапентаєнової та докозагексаєнової. При цьому знижується ступінь насиченості жирних кислот. Зростання вмісту моноенових ненасичених жирних кислот вірогідне лише у печінці коропів.

З'ясовано, що зростання сумарного вмісту жирних кислот родин ω -3, ω -9 та особливо ω -6, що призводить до змін величин відношень цих кислот, в органах коропів за штучного гіпобіозу має модифікаційний характер. Індекс інтенсивності обміну ліпідів (відношення вмісту пальмітинової кислоти до олеїнової ($C_{16:0}/C_{18:1\omega9}$)) найбільше знижується у печінці та зябрах — у середньому на 54 % на 24-у годину експозиції гіпобіозу.

Виявлена за штучного гіпобіозу специфічна перебудова кількісного складу жирних кислот ліпідів печінки, зябер та головного мозку коропів може мати компенсаторний характер, спрямований на підтримку їх функціональної активності за інших умов існування.

Ключові слова: ПЕЧІНКА, ЗЯБРА, ГОЛОВНИЙ МОЗОК, ЖИРНІ КИСЛОТИ, КОРОПИ, НОРМОБІОЗ, ШТУЧНИЙ ГІПОБІОЗ

THE CONTENT OF FATTY ACIDS IN THE BODIES OF *CYPRINUS CARPIO* L. IN DIFFERENT CONDITIONS OF LIFE

S. V. Sysolyatin
sergiy_sv@ukr.net

National university of life and environmental sciences of Ukraine,
15 Heroyiv Oborony str., Kyiv 03041, Ukraine

*An important role in the processes of adaptation of living organisms to extreme conditions of the environment belongs to fatty acids (FA). By the method of gas chromatography with a flame-ionization detector we have examined the fatty acid composition of liver lipids, gills and brain of *Cyprinus carpio* L. for normobiosis and artificial hibernation (at 6th and 24th hour of exposure). The organ specificity is indicated by the quantitative content of fatty acids of common lipids in the carp organism. For normobiosis, the lipids of the carp brain, unlike other organs, are characterized by higher levels of saturated FA (42.4 %) and by lower level of unsaturated FA (57.6 %) due to the high level of monoenic unsaturated FA (39.3 %) and low polyenic unsaturated FA (18.3 %).*

It is established that the influence of the hypoxia-hypercapnic environment on hypothermia (artificial hibernation) causes changes in the amount of fatty acids of the total lipids of carp organs. In particular, there is a decrease in the content of saturated fatty acids, mainly palmitic and stearic, which is probably associated with energy and adaptation processes. The content of unsaturated fatty acids of lipids in the investigated organs in-

creases mainly by polyene, in particular, linoleic, linolenic, arachidonic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic. At the same time the level of saturation of fatty acids decreases. The growth of the content of mono unsaturated fatty acids is significant only in the carp liver.

It was found that the growth of the fatty acids content of the ω -3, ω -9 and, especially, ω -6 families, which leads to changes in the ratios of these acids, is modified in the carp organs under the artificial hibernation. The index of lipid metabolism intensity (the ratio of palmitic acid to oleic content ($C_{16:0}/C_{18:1\omega9}$)) the most commonly is reduced in liver and gills — in average 54 % for 24-hour hibernation exposure.

A specific reconstruction of the quantitative composition of fatty acids in the lipids of the liver, the gills and the brain of the carp detected under the artificial hibernation may have a compensatory character, which is aimed at supporting their functional activity under other conditions of life.

Keywords: LIVER, GILLS, BRAIN, FATTY ACIDS, CARPS, NORMOBIOSIS, ARTIFICIAL HIBERNATION

СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ОРГАНАХ *CYPRINUS CARPIO* L. ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ

С. В. Сысолятин
sergiy_sv@ukr.net

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Оборона, 15, г. Киев 03041, Украина

Важное значение в процессах адаптации живых организмов к экстремальным условиям внешней среды играют жирные кислоты (ЖК). Методом газожидкостной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором исследован жирнокислотный пул общих липидов печени, жабр и головного мозга *Cyprinus carpio* L. при нормобиозе и искусственном гипобиозе (на 6-ой и 24-ий час экспозиции). Отмечена органоспецифичность по количественному содержанию жирных кислот общих липидов в организме карпов. При нормобиозе липиды головного мозга карпов, в отличие от других органов, характеризуются высоким уровнем насыщенных (42,4 %) и низким уровнем ненасыщенных ЖК (57,6 %) за счет высокого содержания моноеновых ненасыщенных ЖК (39,3 %) и низкого содержания полиеновых ненасыщенных ЖК (18,3 %).

Установлено, что влияние гипоксий-гиперкапнической среды при гипотермии (искусственный гипобиоз) вызывает изменения в количественном составе жирных кислот общих липидов органов карпов. В частности, наблюдается снижение содержания насыщенных жирных кислот, преимущественно пальмитиновой и стеариновой, что, вероятно, связано с энергетическими и адаптационными процессами. Содержание ненасыщенных жирных кислот липидов в исследуемых органах увеличивается в основном за счет полиеновых, в частности линолевой, линоленовой, арахидоновой, эйкозапентаеновой и докозагексаеновой. При этом уменьшается степень насыщенности жирных кислот. Увеличение содержания моноеновых ненасыщенных жирных кислот достоверно только в печени карпов.

Установлено, что увеличение содержания суммарного содержания жирных кислот семейств ω -3, ω -9 и особенно ω -6, что приводит к изменениям величин соотношений этих кислот, в органах карпов при искусственном гипобиозе носит модификационный характер. Индекс интенсивности обмена липидов (отношение содержания пальмитиновой кислоты к олеиновой ($C_{16:0}/C_{18:1\omega9}$)) больше снижается в печени и жабрах — в среднем на 54 % на 24-ом часе экспозиции гипобиоза.

Обнаруженная при искусственном гипобиозе специфическая перестройка количественного состава жирных кислот липидов печени, жабр и головного мозга карпов может иметь компенсаторный характер, который направлен на поддержку их функциональной активности при других условиях существования.

Ключевые слова: ПЕЧЕНЬ, ЖАБРЫ, ГОЛОВНОЙ МОЗГ, ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ, КАРПЫ, НОРМОБИОЗ, ИСКУССТВЕННЫЙ ГИПОБИОЗ

Стан природної пониженої життєдіяльності організму у різноманітних його проявах властивий всім представникам живого світу [16]. Риби на шляху еволюції набули низки пристосувальних механізмів, які дають можли-

вість існувати за несприятливих умов зовнішнього середовища (дефіцит їжі, зміна температури, солоність води, гіперкапнія тощо). Формування в організмів штучного гіпобіотичного стану, який характеризується перебудовою фі-

зіологічних функцій та біохімічних процесів, можливе з використанням гіпокси-гіперкапічного газового середовища за зниження температури тіла [12].

У розвитку адаптаційних процесів живих організмів до екстремальних умов середовища значну роль приділяють ліпідам, зокрема їх ЖК. З урахуванням різноманітних функцій жирних кислот в організмі, в тому числі їх залучення у процеси реактивності організму під впливом чинників довкілля [5, 7, 15], дослідження жирнокислотного профілю в органах у риб, які перебувають в гіпобіотичному стані, є перспективними та актуальними.

Мета роботи — дослідити жирнокислотний профіль ліпідів та порівняти склад і вміст ЖК загальних ліпідів печінки, зябер і головного мозку коропів за різних умов існування.

Матеріали і методи

Досліди проводили за використання коропів української лускатої породи (*Cyprinus carpio* L.) масою 250–270 г, яких отримували з Іванівського рибокомбінату Київської області. Рибу відбирали в осінній період і протягом трьох днів утримували в басейні об'ємом 2000 дм³ для адаптації.

Для проведення досліджень було сформовано дві групи по 5 коропів у кожній: риба контрольної групи (нормобіоз) була в активному стані життєдіяльності, риба дослідної групи перебувала у стані штучного гіпобіозу, який створювали згідно із запатентованою моделлю [13].

Після розтину риб контрольної і дослідної (на 6-ту та 24-ту години експозиції штучного гіпобіозу) груп вилучали печінку, зябра та головний мозок. Гомогенізацію органів та екстракцію ліпідів здійснювали хлороформ-метаноловою сумішшю за методом Фолча [4]. Метиллові етери жирних кислот отримували за [12] й аналізували їх на газовому хроматографі «Trace GC Ultra» («Thermo Scientific», США) з полум'яно-іонізаційним детектором та інжектором з програмуванням температур. Розділення проводили на високополярній капілярній колонці *SPTM* — 2560, 100 м × 0.25 mm ID,

0.20 μm film («Supelco», США). Кислоти ідентифікували за використання стандартної суміші метилових етерів жирних кислот «37 Compone FAME Mix» («Supelco») [3]. Для кількісної оцінки індивідуальних ЖК використовували метод нормування площі піка та представляли відносний вміст ЖК у відсотках від загальної кількості. Отримані результати обробляли методом варіаційної статистики з використанням *t*-критерію Стьюдента [10].

Результати й обговорення

Жирні кислоти — важливі структурні та енергетичні компоненти клітин, які виконують значну роль не тільки в обмінних процесах, але і в біохімічній адаптації, спрямованій на захист організму до несприятливих умов середовища [1, 11, 14].

Методом газорідинної хроматографії виявлено, що жирнокислотний пул загальних ліпідів в органах *Cyprinus carpio* L. формується з 28 ЖК (насичені, мононенасичені та поліненасичені). Виявлено коротко-, середньо- і довголанцюгові ЖК (табл. 1–3).

За нормобіозу (контроль) у жирнокислотному профілі загальних ліпідів органів коропів серед насичених ЖК (НЖК) домінують пальмітинова (C_{16:0}) та стеаринова (C_{18:0}) кислоти, які відіграють важливу роль в метаболізмі насичених кислот. Ненасичені ЖК (ННЖК) неоднорідні: моноєнові ННЖК найбільше представлені пальмітолеїновою (C_{16:1ω9}) та олеїновою (C_{18:1ω9}) кислотами, серед полієнових ННЖК переважають ліолева (C_{18:2ω6}), ейкозатрієнова (C_{20:3ω6}), арахідонова (C_{20:4ω6}), ейкозапентаєнова (C_{20:5ω3}) та докозагексаєнова (C_{22:6ω3}).

Так, пальмітинова кислота, яка відіграє вагомий роль у метаболізмі НЖК у печінці, зябрах та головному мозку коропів, у контролі становить, відповідно, 26,23; 27,80 і 30,90 %; пальмітолеїнова — 5,10; 4,20 і 8,80 %; стеаринова — 4,50; 6,10 і 7,80 %; олеїнова — 15,20; 20,70 і 27,10 %; ліолева — 5,44; 6,00 і 1,60 %; ліоленова — 1,20; 1,10 і 0,80 %; ейкозатрієнова — 2,60; 4,00 і 1,80 %; арахідонова — 6,86; 9,90 і 2,70 %; ейкозапентаєнова — 2,54; 3,40 і 1,60 %; докозагексаєнова — 16,04; 8,60 і 8,80 %. Інші ЖК є в невеликій кількості. Кое-

Вміст жирних кислот у ліпідах печінки коропів за штучного гіпобіозу (M±m, n=5)
The content of fatty acids of carps liver of lipids in artificial hibernation (M±m, n=5)

Жирні кислоти, % Fatty acids, %	Контроль Control	Дослід, год експозиції Experiments, hour of exposure	
		6 год / 6 h	24 год / 24 h
14:0	0,77±0,05	0,64±0,02*	0,58±0,03*
14:1	0,20±0,04	0,26±0,02	0,30±0,02
15:0	0,50±0,08	0,43±0,10	0,37±0,09
15:1	0,20±0,02	0,28±0,03*	0,31±0,01*
16:0	26,23±1,71	19,08±0,44*	12,84±0,64*
16:1	5,10±0,46	5,90±0,29	6,30±0,21*
17:0	0,50±0,11	0,44±0,10	0,40±0,10
17:1	0,90±0,08	1,50±0,08*	2,10±0,08*
18:0	4,50±0,21	3,80±0,25*	3,20±0,17*
18:1ω9	15,20±0,50	16,06±0,36*	16,35±0,40
18:2ω6	5,44±0,32	6,30±0,21*	7,00±0,38*
20:0	0,40±0,01	0,34±0,02*	0,28±0,01*
18:3ω6	2,20±0,17	2,60±0,17	3,40±0,25*
20:1ω9	2,40±0,13	3,10±0,21*	3,71±0,25*
18:3ω3	1,20±0,08	1,70±0,12*	2,50±0,42*
21:0	2,62±0,01	2,51±0,01*	2,46±0,01*
20:2ω6	0,90±0,04	1,50±0,46*	2,00±0,21*
22:0	0,40±0,01	0,31±0,02*	0,25±0,02*
20:3ω6	2,60±0,25	3,17±0,18	3,40±0,25*
22:1ω9	0,50±0,17	0,58±0,16	0,62±0,17
20:3ω3	0,40±0,02	0,62±0,05*	0,71±0,04*
20:4ω6	6,86±0,39	7,50±0,50	7,90±0,67*
23:0	0,40±0,05	0,33±0,05	0,27±0,05
22:2ω6	0,30±0,02	0,38±0,03*	0,42±0,03*
24:0	0,20±0,01	0,13±0,01*	0,10±0,02*
20:5ω3	2,54±0,16	3,30±0,16*	3,80±0,21*
24:1	0,50±0,13	0,57±0,16*	0,62±0,12
22:6ω3	16,04±0,13	16,67±0,13*	17,81±0,79*
Σ НЖК / Σ SFA	36,52±0,80	28,01±2,15*	20,75±1,70*
Σ ННЖК / Σ UNSFA	63,48±0,83	71,99±2,35*	79,25±2,47*
Σ Моноеніві ННЖК / Σ MonoUNSFA	25,00±0,74	28,25±0,76*	30,31±2,06*
Σ Поліеніві ННЖК / Σ PolyUNSFA	38,48±0,60	43,74±1,10*	48,94±0,91*

Примітка: у цій і наступних таблицях дані подано як масову частку жирної кислоти у % від суми жирних кислот; НЖК — насичені жирні кислоти; ННЖК — ненасичені жирні кислоти. * — P<0,05 порівняно з контролем.

Note: in this and the following tables data are represented as mass fractions of fatty acids in % from the sum of fatty acids; SFA — saturated fatty acids, UNSFA — unsaturated fatty acids. * — P<0.05 compared to control.

фіцієнт ненасиченості ЖК становить 0,58 для печінки, 0,62 — для зябер і 0,74 — для головного мозку.

Згідно з даними, наведеними на рис. 1, за вмістом ННЖК органи коропів контрольної групи можна розмістити таким чином: печінка > зябра > головний мозок. Зокрема, для головного мозку вміст МНЖК найвищий, а ПНЖК — найнижчий. Найбільший вміст ω-3 ЖК виявлено у печінці, ω-6 ЖК — печінці

та зябрах, а вміст ω-9 ЖК найбільший у головному мозку.

Перебування коропів в гіпоксично-гіперкапічному середовищі за зниження температури тіла (штучний гіпобіоз) призводить до різнобічного перерозподілу вмісту як насичених, так і ненасичених ЖК у різних органах організму. Аналіз ЖК-складу загальних ліпідів свідчить, що в ліпідах печінки коропів (табл. 1) протягом всієї експозиції штучного гіпобіозу

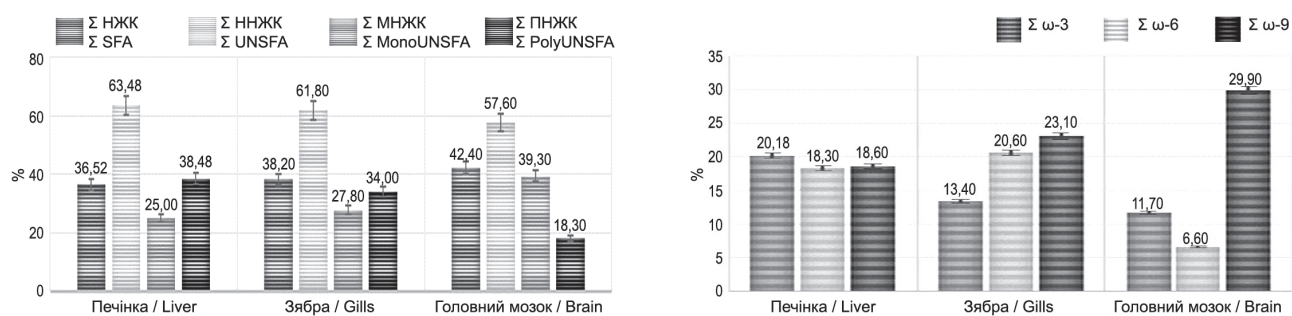


Рис. 1. Співвідношення жирних кислот ліпідів печінки, зябер та головного мозку коропів у контролі
 Fig. 1. Fatty acids ratio of lipids in the liver, the gills and the brain of carp in control

спостерігається зменшення кількісного вмісту НЖК з парним і непарним числом вуглецевих атомів у ланцюгу та зростання вмісту ННЖК.

Результати досліджень свідчать, що в ліпідах печінки коропів, якій належить важливе значення у проміжному обміні ЖК, сумарний вміст НЖК зменшується — на 23 % ($P < 0,05$) на 6-у год експозиції штучного гіпобіозу і на 43 % ($P < 0,05$) на 24-у год порівняно з контрольною групою (табл. 1). Зокрема, виявлено вірогідне зниження вмісту основних НЖК — пальмітинової (на 27 і 51 %) та стеаринової (на 15,6 та 29 %) кислот відповідно щодо контролю. Варто зазначити, що зміни у вмісті НЖК загальних ліпідів за штучного гіпобіозу, можливо, пов'язані з використанням їх зг енергетичного субстрату.

У ліпідах печінки дослідної групи, порівняно з контрольною, збільшується вміст ННЖК за рахунок моноєнових НЖК та полієнових НЖК. З'ясовано, що на 6-у год експозиції гіпобіозу в загальних ліпідах печінки коропа сумарний вміст ННЖК зростає на 13 % ($P < 0,05$), на 24-у год — на 24 % ($P < 0,05$). Коефіцієнт ненасиченості ЖК на 6-у та 24-у год експозиції штучного гіпобіозу становить 0,39 і 0,26 відповідно.

Відносний вміст моноєнових НЖК, які мають антиоксидантні властивості, збільшується на 13 % ($P < 0,05$) і 21 % ($P < 0,05$) порівняно з контролем. Рівень полієнових НЖК у ліпідах печінки коропа зростає на 13,7 % ($P < 0,05$) та 27 % ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Зокрема збільшується вміст як кислот родини ω-6, так і кислот родини ω-3. Ці кислоти характеризуються як ендogenous біорегулятори і проявляють широкий спектр адаптаційних властивостей в організмі [9]. Стосовно вмісту ПНЖК родини ω-6, то на 6-у год та 24-ту год

експозиції штучного гіпобіозу їх сумарний вміст зростає на 17 % ($P < 0,05$) і 32 % ($P < 0,05$) відповідно за рахунок $C_{18:2\omega6}$, $C_{18:3\omega6}$, $C_{20:2\omega6}$, $C_{22:2\omega6}$, $C_{20:4\omega6}$ кислот, а сумарний вміст ПНЖК родини ω-3 за цих умов зростає на 10 % ($P < 0,05$) і 23 % ($P < 0,05$) відповідно за рахунок $C_{18:3\omega3}$, $C_{20:3\omega3}$, $C_{20:5\omega3}$, $C_{22:6\omega3}$ кислот (рис. 2). Величина відношення ω-3/ω-6 ПНЖК в загальних ліпідах печінки коропів на 6- та 24-ту год експозиції штучного гіпобіозу зменшується, відповідно, на 5,5 і 7,3 % порівняно з контролем.

Встановлено подібні зміни ЖК-спектра загальних ліпідів інших органів коропів за штучного гіпобіозу, найбільш виражені на 24-у год експозиції гіпобіозу.

Аналіз ЖК-складу загальних ліпідів зябер коропів, які безпосередньо контактують із середовищем, свідчить, що протягом всієї експозиції штучного гіпобіозу жирнокислотний склад залишається без змін, але спостерігається зменшення кількісного вмісту НЖК та зростання вмісту ННЖК (табл. 2).

Відмічено, що в ліпідах зябер коропа сумарний вміст НЖК зменшується — на 26,6 % ($P < 0,05$) на 6-ту год експозиції штучного гіпобіозу і на 42,2 % ($P < 0,05$) на 24-у год порівняно з контрольною групою (табл. 2). Зокрема, вміст пальмітинової кислоти вірогідно зменшується на 30 і 48,9 %, стеаринової кислоти — на 16 і 23 % відповідно щодо контролю. Встановлено, що на 6-ту год експозиції гіпобіозу в загальних ліпідах зябер коропів сумарний вміст ННЖК зростає на 16,4 % ($P < 0,05$) і на 24-ту год — на 26 % ($P < 0,05$). Коефіцієнт ненасиченості ЖК на 6- та 24-ту год експозиції штучного гіпобіозу становить 0,39 та 0,28 відповідно.

У ліпідах зябер коропів відносний вміст ННЖК зростає за рахунок збільшення рівня

моноєнових НЖК та полієнових НЖК. Зокрема, на 6-ту год експозиції штучного гіпобіозу відносний вміст моноєнових НЖК збільшується на 10,5 % ($P < 0,05$), на 24-ту год — на 15,8 % ($P < 0,05$) порівняно з контролем. Вміст полієнових НЖК зростає на 21 % ($P < 0,05$) і 34,7 % ($P < 0,05$) відповідно порівняно з контрольною групою (табл. 2). Вміст ПНЖК збільшується за рахунок кислот родин ω -6 та ω -3. Встановлено, що за дії гіпокси-гіперкапічного середовища вміст ПНЖК родини ω -6 зростає на 25 % ($P < 0,05$) та 40 % ($P < 0,05$) відповідно за рахунок $C_{18:2\omega6}$, $C_{18:3\omega6}$, $C_{20:2\omega6}$, $C_{22:2\omega6}$, $C_{20:4\omega6}$

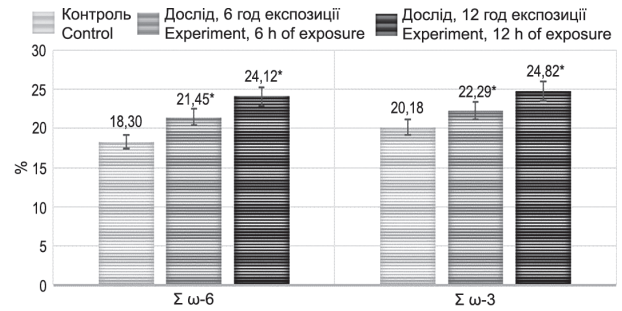


Рис. 2. Співвідношення ω -3 та ω -6 жирних кислот загальних ліпідів печінки коропів за гіпокси-гіперкапічного впливу

Fig. 2. The ratio of total lipid n-3 and n-6 fatty acids in the liver of carp under hypoxia and hypercapnia

Таблиця 2

Вміст жирних кислот (ЖК) ліпідів зябер коропа за штучного гіпобіозу ($M \pm m, n=5$)
The content of fatty acids (FA) of carp gills of lipids in artificial hibernation ($M \pm m, n=5$)

Жирні кислоти, % Fatty acids, %	Контроль Control	Дослід, год експозиції Experiments, hour of exposure	
		6 год / 6 h	24 год / 24 h
14:0	0,80±0,11	0,71±0,12	0,65±0,13
14:1	0,10±0,01	0,20±0,03*	0,27±0,04*
15:0	0,50±0,06	0,41±0,06	0,34±0,05
15:1	0,20±0,03	0,29±0,03	0,35±0,03*
16:0	27,80±0,71	19,40 ±0,79*	14,20 ±0,71*
16:1	4,20±0,46	5,20±0,42*	5,80±0,54*
17:0	0,40±0,04	0,30±0,04	0,22±0,03*
17:1	0,20±0,03	0,28±0,03	0,34±0,03*
18:0	6,10±0,38	5,12±0,53	4,70±0,67*
18:1 ω 9	20,70±0,63	21,28±0,66	21,36 ±0,65*
18:2 ω 6	6,00±0,71	8,10±1,04*	9,50±1,34*
20:0	0,20±0,02	0,14±0,02	0,12±0,02*
18:3 ω 6	0,40±0,06	0,66±0,10*	0,81±0,13*
20:1 ω 9	1,60±0,17	2,40±0,29	2,90±0,42*
18:3 ω 3	1,10±0,13	1,53±0,17	1,65±0,13*
21:0	1,50±0,08	1,30±0,12	1,22±0,10
20:2 ω 6	0,20±0,04	0,34±0,04*	0,41±0,04*
22:0	0,20±0,03	0,13±0,03	0,10±0,03*
20:3 ω 6	4,00±0,33	5,80±0,54*	6,80±0,54*
22:1 ω 9	0,50±0,06	0,64±0,07	0,70±0,66
20:3 ω 3	0,30±0,03	0,45±0,04*	0,53±0,04*
20:4 ω 6	9,90±0,75	10,70±0,54	11,13 ±0,43*
23:0	0,50±0,10	0,41±0,09	0,36±0,08
22:2 ω 6	0,10±0,01	0,19±0,03*	0,23±0,03*
24:0	0,20±0,03	0,13±0,03	0,10±0,03*
20:5 ω 3	3,40±0,29	4,31±0,34	5,10±0,46*
24:1	0,30±0,04	0,42±0,03	0,48±0,02*
22:6 ω 3	8,60±0,50	9,16±0,79*	9,63 ±0,89*
Σ НЖК / Σ SFA	38,20±0,97	28,05±1,12*	22,01±1,91*
Σ ННЖК / Σ UNSFA	61,80±1,40	71,95±3,00*	77,99±2,70*
Σ Моноєнові ННЖК / Σ MonoUNSFA	27,80±1,44	30,71±1,32	32,20±2,98*
Σ Полієнові ННЖК / Σ PolyUNSFA	34,00±1,27	41,24±0,99*	45,79±2,05*

кислот, а сумарний вміст ПНЖК родини ω -3 за цих умов зростає на 15 % ($P < 0,05$) та 26 % ($P < 0,05$) відповідно за рахунок $C_{18:3\omega3}$, $C_{20:3\omega3}$, $C_{20:5\omega3}$, $C_{22:6\omega3}$ кислот (рис. 3). Величина відношення ω -3/ ω -6 ПНЖК в загальних ліпідах зябер коропів на 6- та 24-ту год експозиції штучного гіпобіозу зменшується, відповідно, на 7,7 і 10,8 % порівняно з контролем.

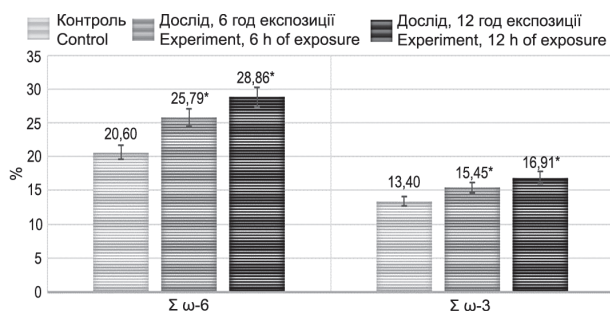


Рис. 3. Співвідношення ω -3 та ω -6 жирних кислот загальних ліпідів зябер коропа за гіпокси-гіперкапічного впливу

Fig. 3. The ratio of total lipid n-3 and n-6 fatty acids in the gills of carp under hypoxia and hypercapnia

У ході експерименту досліджено вміст та склад ЖК загальних ліпідів головного мозку коропів. Як було зазначено раніше, у контролі (нормобіоз) ліпіди головного мозку коропів, порівняно з іншими органами, характеризуються вищим рівнем НЖК (42,4 %) та нижчим рівнем ННЖК (57,6 %) за рахунок високого рівня моноенових НЖК (39,3 %) та низького рівня поліенових НЖК (18,3 %). Відомо, що гетерогенність ліпідів мозку обумовлює структурну лабільність мембран і визначає їх фізико-хімічні властивості. Ліпіди головного мозку риб містять значну частку довголанцюгових жирних кислот, які дуже рідко трапляються у вісцеральних органах [6].

Вплив гіпокси-гіперкапічного середовища призводить до змін вмісту ЖК у ліпідах головного мозку коропів. Зокрема зменшується рівень НЖК та збільшується рівень ННЖК порівняно з контрольною групою (табл. 3). Коefіцієнт ненасиченості ЖК на 6- та 24-ту год експозиції штучного гіпобіозу становить 0,57 та 0,49, що значно вище порівняно з печінкою та зябрами.

Результати, подані у табл. 3, свідчать, що сумарний вміст НЖК у ліпідах головного

мозку коропів зменшується на 6-ту год експозиції штучного гіпобіозу на 14 % ($P < 0,05$) і на 24-у год — на 22 % ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Вміст пальмітинової кислоти вірогідно зменшується на 14,8 і 22,3 % та стеаринової кислоти — на 14 та 20,5 % щодо контролю. Встановлено, що на 6-ту год експозиції гіпобіозу в загальних ліпідах мозку коропів сумарний вміст ННЖК зростає на 10,8 %, на 24-у год — на 16,5 % ($P < 0,05$). Відносний вміст ННЖК зростає за рахунок збільшення відносного рівня поліенових НЖК.

Спектр ЖК, зокрема сумарний вміст НЖК та ННЖК, ліпідів головного мозку коропів за штучного гіпобіозу зазнає менших змін. Це, ймовірно, можна пояснити домінуванням у мієлінових ліпідах насичених довголанцюгових ЖК, які надають мієліновій мембрані необхідної структурної стабільності за рахунок низької метаболічної варіабельності ЖК.

За штучного гіпобіозу в ліпідах головного мозку коропів відносний вміст моноенових НЖК несуттєво збільшується порівняно з контролем. Вміст поліенових НЖК у ліпідах мозку коропа зростає на 6-у год експозиції штучного гіпобіозу на 21 % ($P < 0,05$), а на 24-ту год — на 33 % ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою (табл. 3). Відмічено, що за дії гіпокси-гіперкапічного середовища вміст ПНЖК родини ω -6 зростає на 43,9 % ($P < 0,05$) та 68,8 % ($P < 0,05$), а сумарний вміст ПНЖК родини ω -3 за цих умов зростає на 8 та 12,9 % ($P < 0,05$) відповідно щодо контролю (рис. 4). Величина відношення ω -3/ ω -6 ПНЖК у загальних ліпідах головного мозку коропів на 6-у та 24-у год експозиції штучного гіпобіозу зменшується, відповідно, на 24,9 % і 32,8 % порівняно з контролем.

Важливу біохімічну і адаптаційну роль в організмі коропів виконують ЖК родини ω -9, що виступають субстратом для біосинтезу довголанцюгових поліенових НЖК, можуть частково заміщати кислоти родин ω -3 та ω -6 у ліпідах органів під час дії стрес-факторів середовища та використовуються у енергетичному метаболізмі в умовах дії зовнішнього стресу [17]. Найбільш насиченим ω -9 ЖК, порівняно з іншими вісцеральними органами, є головний мозок коропів ($\Sigma_{\omega-9}$ — 29,9 %) (рис. 5).

Таблиця 3

Вміст жирних кислот (ЖК) ліпідів головного мозку коропа за штучного гіпнобіозу ($M \pm m, n=5$)
The content of fatty acids (FA) of carp brain of lipids in artificial hibernation ($M \pm m, n=5$)

Жирні кислоти, % Fatty acids, %	Контроль Control	Дослід, год експозиції Experiments, hour of exposure	
		6 год / 6 h	24 год / 24 h
14:0	1,20±0,13	1,10±0,13	0,94±0,10
14:1	0,10±0,01	0,17±0,02*	0,22±0,03*
15:0	0,40±0,03	0,35±0,03	0,29±0,02*
15:1	0,20±0,01	0,13±0,01*	0,10±0,02*
16:0	30,90±0,66	26,32 ±0,64*	24,00 ±0,60*
16:1	8,80±0,42	9,50±0,42	9,70±0,42
17:0	0,20±0,01	0,13±0,01*	0,10±0,02*
17:1	0,30±0,02	0,18±0,02*	0,13±0,02*
18:0	7,80±0,25	6,70±0,25*	6,20±0,33*
18:1ω9	27,10±0,28	28,10±0,33	28,60±0,33*
18:2ω6	1,60±0,05	2,40±0,06*	2,80±0,03*
20:0	0,40±0,02	0,34±0,03	0,30±0,04
18:3ω6	0,30±0,03	0,37±0,02	0,42±0,03*
20:1ω9	2,00±0,25	2,50±0,21	2,80±0,16*
18:3ω3	0,80±0,03	0,92±0,03*	0,96±0,04*
21:0	0,90±0,02	0,81±0,03*	0,74±0,03*
20:2ω6	0,10±0,02	0,17±0,02*	0,22±0,02*
22:0	0,20±0,01	0,15±0,02	0,12±0,03*
20:3ω6	1,80±0,25	2,60±0,21	3,20±0,33*
22:1ω9	0,20±0,02	0,33±0,03*	0,39±0,02*
20:3ω3	0,50±0,03	0,61±0,03*	0,67±0,04*
20:4ω6	2,70±0,25	3,80±0,29*	4,30±0,25*
23:0	0,20±0,01	0,14±0,01*	0,11±0,02*
22:2ω6	0,10±0,02	0,16±0,02	0,20±0,02*
24:0	0,20±0,02	0,13±0,01*	0,10±0,01*
20:5ω3	1,60±0,05	1,73±0,06	1,78±0,03*
24:1	0,60±0,03	0,76±0,05*	0,81±0,03*
22:6ω3	8,80±0,33	9,40±0,18	9,80±0,13*
Σ НЖК / Σ SFA	42,40±1,28	36,17±0,81*	32,90±2,11*
Σ ННЖК / Σ UNSF	57,60±0,75	63,83±2,57	67,10±1,40*
Σ Моноєнові ННЖК / Σ MonoUNSF	39,30±1,07	41,67±1,32	42,75±1,47
Σ Полієнові ННЖК / Σ PolyUNSF	18,30±1,54	22,16±1,41*	24,35±0,98*

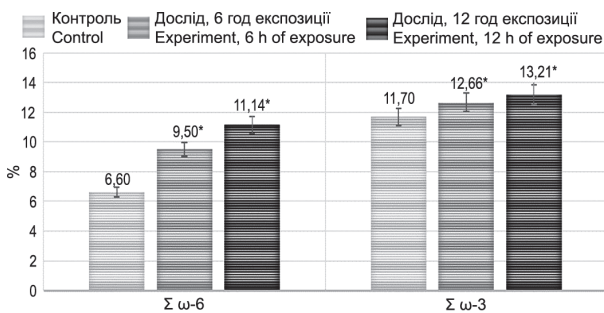


Рис. 4. Співвідношення ω-3 та ω-6 жирних кислот загальних ліпідів головного мозку коропа за гіпокси-гіперкапічного впливу

Fig. 4. The ratio of total lipid n-3 and n-6 fatty acids in the brain of carp under hypoxia and hypercapnia

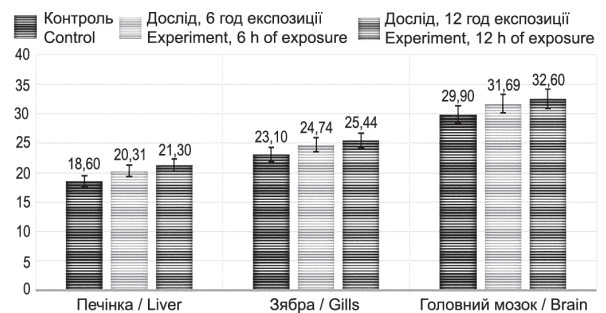


Рис. 5. Рівень ω-9 жирних кислот загальних ліпідів органів коропа за гіпокси-гіперкапічного впливу

Fig. 5. The level of total lipid n-9 fatty acids in the bodies of carp under hypoxia and hypercapnia

Величина відношення $\omega 9/\omega 6$ та $\omega 9/\omega 3$ жирних кислот загальних ліпідів органів коропів за штучного гіпобіозу (n=5)
The ratio $\omega 9/\omega 6$ and $\omega 9/\omega 3$ fatty acids of total lipids of carps bodies in artificial hibernation (n=5)

Показник Index	Контроль Control	Дослід, год експозиції Experiments, hour of exposure	
		6 год / 6 h)	24 год / 24 h)
Печінка / Liver			
$\omega-9/\omega-6$	1,02	0,95	0,88
$\omega-9/\omega-3$	0,94	0,90	0,86
Зябра / Gills			
$\omega-9/\omega-6$	1,12	0,96	0,88
$\omega-9/\omega-3$	1,72	1,60	1,50
Головний мозок / Brain			
$\omega-9/\omega-6$	4,53	3,34	2,93
$\omega-9/\omega-3$	2,56	2,50	2,47

Перебування коропа в гіпоксигіперкапічному середовищі за зниження температури тіла призводить до невірогідного збільшення рівня $\omega-9$ жирних кислот у ліпідах органів риби. Відмічено, що сумарний вміст $\omega-9$ ЖК загальних ліпідів печінки коропа зростає на 6-у год експозиції на 9 % і на 24-ту год — на 14,5 %; в зябрах на 6-ту год експозиції — на 7 % і на 24-у год — на 10 %; в головному мозку — на 6 % і 9 % відповідно порівняно з контролем за рахунок $C_{18:1\omega 9}$, $C_{20:1\omega 9}$, $C_{22:1\omega 9}$ кислот (рис. 5).

Виявлено, що зростання вмісту $\omega-3$, $\omega-6$ та $\omega-9$ ЖК в органах коропів за дії чинників гіпоксигіперкапічного середовища призводить до зміни величини відношення цих жирних кислот. Величина відношення $\omega-3/\omega-6$ ПНЖК в загальних ліпідах найбільше знижується у головному мозку коропів. Відоме важливе підтримання фізіологічного співвідношення

$\omega-3:\omega-6$ ПНЖК. Аналіз отриманих результатів (табл. 4) засвідчує, що у досліджуваних органах коропів на 6- та 24-ту год експозиції штучного гіпобіозу зменшується величина відношення $\omega-9/\omega-6$ та $\omega-9/\omega-3$ кислот загальних ліпідів. Зокрема, у печінці величина відношення $\omega-9/\omega-6$ зменшується, відповідно, на 6,9 і 13,7 %, а відношення $\omega-9/\omega-3$ — відповідно, на 4 і 8,5 %. У зябрах коропів зменшується величина відношення $\omega-9/\omega-6$ — на 14 % і 21 % та відношення $\omega-9/\omega-3$ — відповідно, на 7 і 12,8 % порівняно з контролем. У головному мозку на 6-у та 24-у год експозиції штучного гіпобіозу спостерігається зменшення величини відношення $\omega-9/\omega-6$ — відповідно, на 25 і 35 %, та незначне зменшення відношення $\omega-9/\omega-3$ порівняно з контролем.

Аналіз отриманих результатів свідчить про найбільше збільшення за штучного гіпобіозу у головному мозку сумарного вмісту $\omega-6$ ЖК (в контролі їх вміст найнижчий) внаслідок зростання вмісту арахідонової кислоти ($C_{20:4\omega 6}$). З огляду на безпосередню участь ПНЖК у регуляції більшості клітинних процесів, виявлений факт їх перерозподілу в органах коропів, ймовірно, обумовлює залучення цих кислот у регуляцію стану штучного гіпобіозу.

Інтенсивність обміну ліпідів (індекс інтенсивності) оцінювали за відношенням вмісту пальмітинової кислоти до олеїнової ($C_{16:0}/C_{18:1\omega 9}$). Встановлено (рис. 6), що індекс інтенсивності обміну ліпідів на 6- та 24-ту год експозиції штучного гіпобіозу зменшується в печінці, від-

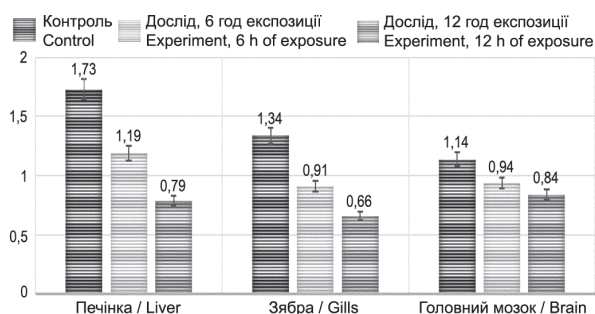


Рис. 6. Величина відношення $C_{16:0}/C_{18:1\omega 9}$ жирних кислот (індекс інтенсивності обміну ліпідів) в органах коропів за гіпоксигіперкапічного впливу
Fig. 6. The $C_{16:0}/C_{18:1\omega 9}$ fatty acids ratio (index of lipids metabolism intensity) in the bodies of carps under hypoxia and hypercapnia

повідно, на 31 і 54 %, в зябрах — на 32 і 51 % порівняно з контролем. У головному мозку на 6-у та 24-у год експозиції штучного гіпобіозу спостерігається менш значне зменшення величини відношення $C_{16:0}/C_{18:1\omega9}$ — на 18 і 26 %, що характеризується високою біохімічною стабільністю цього органу. Одержані результати вказують на зниження метаболізму ліпідів за штучного гіпобіозу. Збільшення в ліпідах органів коропів рівня олеїнової кислоти з пальмітинової, яка в подальшому використовується для біосинтезу довголанцюгових ПНЖК, розглядається як адаптаційний процес.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що за гіпокси-гіперкапнічного впливу при гіпотермії відбувається перебудова у вмісті жирних кислот ліпідів печінки, зябер та головного мозку, що, ймовірно, має компенсаторний характер, спрямований на підтримання їх функціональної активності за нових умов існування. Дослідження ролі жирних кислот необхідне для розуміння шляхів адаптації тварин до низьких температур, а також пошуку способів підтримки довготривалого та безпечного гіпобіозу.

Висновки

1. У ліпідах печінки, зябер та головного мозку *Cyprinus carpio* L. виявлено 28 ЖК кислот (насичені, мононенасичені та поліненасичені) та відмічена органоспецифічність за її кількісним вмістом, що залежить від фізіолого-біохімічних особливостей органів риб.

2. Зменшення вмісту насичених ЖК за штучного гіпобіозу, ймовірно, пов'язане з енергетичними процесами та зростанням кількості ненасичених ЖК. При цьому коефіцієнт ненасиченості ЖК, який для головного мозку у контролі найвищий, за штучного гіпобіозу змінюється незначно порівняно з печінкою та зябрами.

3. Виявлені зміни сумарного вмісту ЖК родин ω -3, ω -9 та особливо ω -6 в органах коропів за штучного гіпобіозу призводять до перерозподілу величин відношень цих кислот, що мають модифікаційний характер.

4. Головний мозок *Cyprinus carpio* L., в якому домінують в мієлінових ліпідах насичені довголанцюгові та ω -9 ЖК, на відміну від

інших вісцеральних органів організму, характеризується нижчою варіабельністю вмісту ЖК за штучного гіпобіозу, що вказує на високий ступінь біохімічної адаптаційної стабільності.

5. Виявлений перерозподіл вмісту ЖК ліпідів (та їх специфічність) для печінки, зябер і головного мозку коропів за впливу гіпокси-гіперкапнічного середовища при зниженні температури тіла (штучний гіпобіоз) свідчить про особливості метаболічних перебудов, які забезпечують можливість існування організму за нових умов.

Перспективи подальших досліджень.

Надалі будуть продовжені дослідження жирнокислотного спектру ліпідів різних органів коропів української лускатої породи для виявлення залучення жирних кислот до розвитку адаптаційних біохімічних процесів та чинників гіпокси-гіперкапнічного середовища.

1. Aggelousis G., Lazos E. S. Fatty acid composition of the lipids from eight freshwater fish species from Greece. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1991, pp. 68–76.

2. Christie W. W. *Lipid Analysis: Isolation, Separation, Identification and Structural Analysis of Lipids*. Oxford, Pergamon Press., 1982, 207 p.

3. Fedorchenko S. V., Kurt S. *Chromatographic methods of analysis*. Ivano-Frankivsk, Prykarp. National University named after V. Stefanyk, 2012, 146 p. (in Ukrainian)

4. Folch J., Leez M., Stanley. H. S. Simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, 226 (2), pp. 497–501.

5. Guschina L. A., Harwood J. L. Mechanisms of temperature adaptation in poikilotherms. *FEBS Lett.*, 2006, vol. 580, is. 2, pp. 5477–5483.

6. Hong H., Zhou Y., Wu H., Luo Y., Shen H. Lipid Content and Fatty Acid Profile of Muscle, Brain and Eyes of Seven Freshwater Fish: a Comparative Study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, May 2014, vol. 91, is. 5. Pp. 795–804.

7. Khyzhnyak S. V., Midyk S. V., Sysoliatin S. V., Voitsitsky V. M. Fatty acids composition of inner mitochondrial membrane of rat cardiomyocytes and hepatocytes during hypoxia — hypercapnia. *Ukrainian Biochemical Journal*, 2016, vol. 88, no. 3, pp. 92–98. (in Ukrainian)

8. Kminkova M., Winterova R., Kucera J. Fatty acids in lipids of carp (*Cyprinus carpio*) tissues. *Czech J. Food Sci.*, 2001, vol. 19. pp. 177–181.

9. Kogteva G. S., Bezuglov V. V. Unsaturated fatty acids as endogenous bioregulators. Overview. *Biochemistry*, 1998, vol. 63, is. 1. pp. 6–15. (in Russian)

Timofeev N. N. *Hypobiosis and cryobiosis. Past, present and future*. Moscow, Inform-Znanie, 2005, 256 p. (in Russian)

10. Kokunin V. A. Statistical processing of data with a small number of experiments. *Ukr. Biochem. Journal*, 1975, vol. 47, no. 6, pp. 776–790. (in Russian)

11. Kreps E. M. *Lipids of cell membranes*. Leningrad, Science, 1981. 339 p. (in Russian)

12. Melnychuk S. D., Melnychuk D. O. *The animal hypobiosis state (molecular mechanisms and practical implications for the agriculture and medicine)*. Kyiv, NULES press, 2007, 220 p. (in Ukrainian)

13. Melnychuk S. D., Melnychuk D. O., Tereshchenko S. V. The method of transfer and storage of fish in a state of artificial hibernation and installation

for its implementation. Patent UA, no. 99116062, 2001. (in Ukrainian)

14. Sidorov V. S. *Ecological fish biochemistry. Lipids*. Leningrad, Science, 1983, 240 p. (in Russian)

15. Smolyaninov K. B., Paranyak R. P., Yanovich V. G. The biological role of polyunsaturated fatty acids. *The Animal biology*, 2002, vol. 4, no. 1–2, pp. 16–31. (in Ukrainian)

16. Timofeev N. N. *Hypobiosis and cryobiosis. Past, present and future*. Moscow, Inform-Znanie, 2005, 256 p. (in Russian)

17. Tocher D. R., Bell M. V. *Biosynthesis of fatty acids; general principles and new directions*. In: Arts M. T., Brett M., Kainz M., eds. Springer-Verlag; New York, NY, USA. 2009, pp. 211–236.