

БІОЛОГІЧНА РОЛЬ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОРГАНІЗМУ РИБ

І. А. Особа

Інститут рибного господарства НААН України

В статті охарактеризовано біологічну роль процесів перекисного окиснення ліпідів у забезпеченні життєдіяльності організму. Показано доцільність визначення продуктів вільнорадикального перекисного окиснення ліпідів як важливих показників-індикаторів адаптації організму риб до різних умов середовища вирощування.

Ключові слова: *перекисне окиснення ліпідів, вільні радикали, активні форми кисню, антиоксиданти.*

Без постійного окиснення багатьох субстратів клітини неможливе існування вищих форм життя в усій його морфо-функціональній складності [1]. Внаслідок аеробного окиснення енергетичних субстратів утворюються активні форми кисню [1-4]. Останні вступають у взаємодію з біологічними сполуками шляхом вільнорадикальних взаємодій [5, 6]. На кожному етапі вільно-радикального перекисного окиснення утворюються продукти, за рівнем яких можна визначити інтенсивність перебігу даного процесу у тканинах організму [7-11].

Вільнорадикальне окиснення являє собою процес безпосереднього перенесення кисню на субстрат з наступним утворенням перекисів, альдегідів, тощо [4, 6-10, 12]. Це один із універсальних механізмів, який дозволяє контролювати цілісність, вибіркову проникність та в'язкість клітинних мембран [6]. Постійна наявність в організмі вільних радикалів є необхідною складовою при транспортуванні електронів у дихальному ланцюзі, індукції утворення пор у мітохондріальних мембранах, тощо. Таким чином, процеси окиснення за участі активованих кисневих метаболітів виконують функції міжклітинних та внутрішньоклітинних месенджерів, модуляторів та індукторів у біохімічній регуляції і реалізації метаболічних процесів [6].

У сімдесятих роках минулого століття було експериментально підтверджено чутливість організму риб до дії активних кисневих радикалів [13]. Останні внаслідок окиснення поліненасичених жирних кислот фосфоліпідів клітинних мембран, а також ковалентних взаємодій з окремими функціональними групами білків можуть призводити до зміни структурних і функціональних властивостей мембран та ряду інших процесів деструктивного характеру [13, 14].

Встановлено, що на інтенсивність перебігу вільнорадикальних реакцій в організмі впливають чинники як ендогенного, так і екзогенного характеру [6, 13, 15-28]. Зокрема на розвиток перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) та стан системи антиоксидантного захисту (АОЗ) організму риб впливає температура, гідростатичний тиск, хімічний склад води, насиченість її киснем, тощо [9, 13, 15-17]. Крім того, під впливом постійного антропогенного навантаження



відбувається забруднення водного середовища, що призводить до посиленої генерації активних форм оксигену в організмі гідробіонтів. В результаті це може стати причиною окисної деструкції біомолекул [29-31]. Як правило, адаптація до дії таких деструктивних чинників пов'язана з активацією синтезу антистресорних білків та системи захисту організму [29, 32]. Тому ряд дослідників розглядають продукти ПОЛ як своєрідні біомаркери забруднення водного середовища з одного боку [29-32], та біомаркери ушкодження тканин – з іншого, оскільки за їх вмістом можна судити про інтенсивність протікання вільнорадикальних процесів у різних системах організму [33-36].

Найбільш важливими біомаркерами можуть виступати продукти окиснення поліненасичених жирних кислот, зокрема такі як гідроперекиси ліпідів, дієнові кон'югати, малоновий діальдегід та ін. [7, 9, 12, 33-43]. Гідроперекиси ліпідів та дієнові кон'югати належать до первинних продуктів пероксидації поліненасичених жирних кислот. Гідроперекиси ліпідів являють собою досить нестійкі речовини, які швидко руйнуються з утворенням вторинних продуктів ліпопероксидації, зокрема малонового діальдегіду. Останній утворюється внаслідок атаки синглетного кисню та гідроксил-радикалу молекул поліненасичених жирних кислот та є одним із найбільш небезпечних продуктів ПОЛ, його вміст у тканинах риб високочутливий до зміни кисневого режиму та гідрохімічного складу водойм в процесі вищупування та перетримки риби [12, 38, 40-43].

Процеси перекисного окиснення ліпідів є однією з перших та найбільш мобільних складових адаптаційної перебудови організму при дії екстремальних чинників [44]. Зокрема відомо, що під впливом екстремальних факторів в організмі відбувається активація окисно-відновних процесів, що призводять до утворення ліпо- та гідроперекисів, розпад яких сприяє утворенню ендogenous кисню, необхідного для забезпечення життєдіяльності організму [44].

Інтенсифікація реакцій вільно-радикального окиснення призводить до активації в клітині ферментів системи антиоксидантного захисту та пентозофосфатного шляху. Для роботи системи репарації структури ліпідів необхідна постійна наявність у клітині резервного пулу жирних кислот. Використання жирних кислот в організмі тварин пов'язане з підвищенням споживання кисню, за дефіциту якого в умовах дії стресових чинників утилізація вільних жирних кислот порушується, що, у свою чергу, може спровокувати їх накопичення та ініціювати ряд патологічних процесів [45]. Поліненасичені жирні кислоти характеризуються широким спектром біологічної дії у організмі риб [13, 14, 40, 46, 49]. Відомо, що ініціювання вільними радикалами перекисного окислення поліненасичених жирних кислот відіграє важливу роль у багатьох реакціях обміну, формуванні структури клітини, синтезу цілого ряду біологічно активних речовин, тощо [10, 12, 17, 19, 46].

Неестерифіковані жирні кислоти є найбільш активною складовою частиною високомолекулярних жирних кислот загальних ліпідів і використовуються для енергетичних та метаболічних потреб організму риб [46, 47]. Поліненасичені жирні кислоти входять до складу ряду біорегуляторів, які утворюються з інших ліпідів шляхом ферментативного каталізу [25, 51, 52]. Встановлено, що їх вміст



корелює з перебігом вільно-радикальних процесів, а також впливає на харчову цінність м'яса коропа [13, 27, 38, 40, 53, 54]. Відомо, що вміст поліненасичених жирних кислот у складі ліпідів риб вищий порівняно з ссавцями. Як наслідок – організм риб більш чутливий до інтенсифікації процесів ПОЛ та більш залежний від антиоксидантного статусу [9]. У зв'язку з цим вивчення процесів вільно-радикального перекисного окиснення посідає особливу нішу у проведенні фізіолого-біохімічних досліджень риб враховуючи специфічність умов середовища їх життєдіяльності. Нестабільне за своїм газовим складом водне середовище спричинило утворення певних пристосувань у системі крові як переносника кисню. Саме ця властивість крові є одним із найважливіших показників, що визначають ареал поширення того, чи іншого виду риб [55].

Порушення вільнорадикального гомеостазу впливає на ліпідний склад, іонну провідність плазматичних мембран та проліферацію клітин [2, 4, 56]. Оскільки ліпіди являють собою динамічні компоненти, які підтримують стабільність молекулярної організації мембран, їм відведена особлива роль у процесах вільнорадикального окиснення. Крім того, зміни фізико-хімічного стану мембранних ліпідів здатні спричинити і порушення функцій білкових компонентів мембран [56]. За умови нормального функціонування організму процеси окиснення та відновлення в ньому збалансовані [6, 9, 12, 17].

Окрім жирнокислотного складу, інтенсивність вільнорадикальних процесів тісно пов'язана з імунним статусом організму [57].

Дослідження вмісту продуктів ПОЛ та стану системи АОЗ у тканинах ставових риб в різні періоди вирощування свідчать про залежність процесів ліпопероксидації від сезону [13, 27]. Зокрема встановлено, що процеси ПОЛ інтенсивніше протікають в організмі риб у період зими [13, 27, 43, 47]. З одного боку це може бути зумовлено кисневим голодуванням та зниженням ферментативної активності тканин на фоні загального сповільнення метаболічних процесів. Проте слід зазначити, що в період зими у тканинах ставових риб знижується вміст ендогенних жиророзчинних антиоксидантів – токоферолу та ретинолу, що призводить до зниження активності неферментативної ланки системи АОЗ [43, 58-60].

Рівень вільнорадикального гомеостазу в організмі риб характеризується вираженою видовою специфічністю [27, 38, 43]. Вважається, що особливості системи АОЗ детерміновані генетично, проте слід враховувати, що за типом живлення теж існують видові відмінності [13]. Варто звернути увагу на жирнокислотний склад природної кормової бази, яку споживають різні види риб. Крім того, на сьогодні актуально збагачувати комбікорми для риб преміксами, вітамінними та мікроелементними добавками, які не можуть не впливати на обмінні процеси в організмі риб. Тому при порівнянні швидкості перебігу процесів ПОЛ в тканинах риб також слід враховувати склад комбікормів, які їм згодують.

Наявні у літературних джерелах дані свідчать, що інтенсивність ліпопероксидації та антиоксидантний статус в організмі коропа змінюються під впливом іонів міді, цинку, марганцю та селену [13, 61-63]. Залежно від концентрації останніх у воді вирощувальних ставів та кормовій базі, вільно-



радикальні процеси можуть активуватися, або інгібуватися [12]. Очевидно це зумовлено насамперед тим, що такі ензими антиоксидантного захисту як, наприклад, супероксиддисмутаза, є метало-протеїнами, наявність в активному центрі яких іонів заліза, цинку, міді тощо визначають ізоформи даного ферменту [12, 64]. Крім того, встановлено вплив цинку на концентрацію окремих форм жирних кислот у скелетних м'язах та ріст коропів [65]. Проте надмірна концентрація міді може спричинити порушення у співвідношенні вмісту Cu-, Zn-, і Mn-СОД у тканинах коропа [13, 66, 67].

Процеси перекисного окиснення ліпідів у риб значною мірою залежні від наявності у складі їх раціону та воді селену [13, 66]. Підвищення концентрації селену у воді вирощувальних ставів сприяє зростанню його вмісту у тканинах коропа, та призводить до посиленої активації глутатіонпероксидази, що, у свою чергу, інгібує перекисні процеси. Як дефіцит, так і надмірна концентрація селену може спричинити в організмі риб виникнення патологій. Тому додавання селену до складу комбікормів риб значною мірою залежить від вмісту його у воді та ґрунті вирощувальних ставів [66].

Вільнорадикальний гомеостаз клітини змінюється також під впливом окисного стресу, при патологічних порушеннях тих чи інших метаболічних функцій [37, 68]. Відомо, що нестача окремих мікроелементів у раціоні риб спричинює оксидативний стрес, що, у свою чергу призводить до інтенсифікації процесів ліпопероксидації та зниження активності ензимів системи антиоксидантного захисту [13, 66, 67].

У забезпеченні вільнорадикального гомеостазу важлива роль належить системі антиоксидантного захисту організму. Останню відносять до так званих стрес-лімітуючих механізмів організму, оскільки вона виступає важливим фактором обмеження активності стрес-реалізуючих систем, та бере безпосередню участь у захисті клітинних мембран від деструктивної дії вільних радикалів, утворених внаслідок інтенсифікації вільно-радикальних процесів [45, 69].

Надмірну інтенсифікацію процесів ліпопероксидації ряд авторів пов'язує із дією високих концентрацій катехоламінів [22, 45]. Внаслідок дії гідроперекисів ліпідів відбувається утворення вільних радикалів, лабілізація лізосом, вивільнення протеолітичних ферментів, тощо. Це, у свою чергу, призводить до утворення високотоксичних для клітини продуктів – спиртів, кетонів, альдегідів, накопичення яких спричинює пошкодження мембранозв'язаних ферментів, порушення мембранного транспорту і, як наслідок, загибель клітин [22, 45, 69]. Значні негативні наслідки інтенсифікації вільно-радикального ПОЛ у клітинах та тканинах організму тварин, в тому числі і риб, призвели до пошуку та розробок науковцями цілого ряду препаратів природного та синтетичного походження, які надають можливість стимулювати антиоксидантні механізми захисту організму, а отже – знизити негативні наслідки для виробництва сільськогосподарської продукції [12, 13, 45].

У деяких експериментальних роботах показано активацію окислювального метаболізму в організмі піддослідних тварин під дією радіації [26, 70]. Доведено, що вона пов'язана із здатністю продуктів радіолізу води в присутності молекулярного кисню утворювати супероксидні аніони та гідропероксидні



радикали, які власне виступають ініціаторами каскаду вільно-радикальних реакцій у клітинних структурах. Дані роботи цікаві тим, що їх результати дозволяють заздалегідь передбачити потенціювання таких ефектів іонізуючого випромінювання під впливом хімічних чинників навколишнього середовища [70]. Такі дослідження актуальні на фоні екологічного стану нашого довкілля як внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, так і повсякденного виробничого та сільськогосподарського забруднення нітратами, пестицидами, солями важких металів, та багатьох інших хімічних продуктів, оскільки загальним неспецифічним молекулярним механізмом їх дії є ініціація та посилення процесів ліпопероксидації.

Умови вирощування, кормова база, гідрохімічний та гідробіологічний режим ставів здатні впливати на формування опірності організму риб. Оскільки система антиоксидантного захисту відіграє одну із ключових ролей в життєдіяльності організму, за рахунок регуляції нею ряду метаболічних процесів, використання оцінки її стану дає можливість отримувати кількісну інформацію про перебіг цих процесів. Тому рівень активності системи АОЗ в організмі риб під впливом чинників ендogenous та екзогенного характеру може виступати важливим фактором адаптації до змін оточуючого середовища.

Таким чином, вивчення механізмів вільнорадикального перекисного окиснення є актуальною проблемою фізіолого-біохімічних досліджень, оскільки дисбаланс окисного метаболізму є важливою ланкою у патогенезі багатьох захворювань [7, 11, 12, 71]. Вільнорадикальний гомеостаз організму забезпечується за рахунок врівноваженості між ферментативними та неферментативними системами генерації активних метаболітів кисню та системами їх елімінації [15, 17, 19, 40]. Тому розвиток патологій виникає внаслідок порушення цієї рівноваги. Часто такий дисбаланс зумовлений оксидативним стресом [7, 10]. Оскільки внаслідок порушення прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в організмі розвивається оксидативний стрес, який ряд авторів розглядають як один із ключових факторів формування загального адаптаційного рівня [23, 24, 33, 34], дослідження особливостей формування вільнорадикального гомеостазу в організмі риб нададуть можливість оцінити адаптаційні можливості риб даного типу в заданих умовах розведення. Таким чином, визначення вмісту продуктів ПОЛ та активності системи АОЗ виступає індикатором функціонального стану організму піддослідних риб, а також дозволить оцінити рівень господарської діяльності [37, 38, 72-78].

ВИСНОВКИ

Дослідження процесів ліпопероксидації є однією з важливих ланок вивчення як вільнорадикального гомеостазу в організмі, ліпідного та енергетичного обміну, так і патогенезу багатьох захворювань риб.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гордій С.К. Фізіологічні механізми клітинної інтеграції / С.К. Гордій, І.В. Шостаківська – Львів: Ред.-вид. гр. Львівського університету, 1983. – 44 с.
2. Иванов И.И. Биомембраны / И.И. Иванов. – Рига. – 1977. – 471 с.
3. Арчаков А.И. Микросомальное окисление. – М.: «Наука», 1975. – 327с.



4. *Владимиров Ю.А.* Свободнорадикальное окисление липидов и физические свойства липидного слоя биологических мембран / Ю.А. *Владимиров* // *Биофизика*. – 1987. – Т. 32, Вып. 5. – С. 830-844.
5. *Барабой В.А.* Біоантиоксиданти / В.А. Барабой. – К.: Книга плюс, 2006. – 460 с.
6. *Зинь А.* Прооксидантно-антиоксидантний гомеостаз і мембранний транспорт у живих організмах / А. Зинь // *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. – 2012. – Вип. 60. – С. 21-39.
7. *Барабой В.А.* Механизмы стресса и ПОЛ / В.А. Барабой // *Усп. совр. биологии*. – 1991. – Т. 111. – №5. – С. 922-930.
8. *Владимиров Ю.А.* Свободные радикалы в биологических системах / Ю.А. Владимирив // *Сорос. образ. журнал*. – 2000. – №12. – С.13-19.
9. *Грубинко В.В.* перекисне окислення ліпидів та антиоксидантна заштита у риб / В.В. Грубинко, Ю.В. Леус // *Гидробиолог. журн. Экологическая физиология и биохимия водных животных*. – 2001. – Т. 37. – №1. – С.64-78.
10. Показники оксидативного стресу. 2. Пероксиди ліпідів / В.І. Луццак, Т.В.Багнокова, Л.І. Лужна // *Укр. біохім. журнал*. - 2006. - Т.78. - №5. - С. 113-119.
11. *Луццак В.И.* Свободнорадикальное окисление белков и его связь с функциональным состоянием организма / В.И. Луццак // *Биохимия*. – 2007. – Т.72. – №8. – С. 995-1017.
12. *Данчук В.В.* Пероксидне окиснення у сільськогосподарських тварин і птиці / В.В. Данчук. – Кам'янець-Подільський: АБЕТКА, 2006. – 190 с.
13. Обмін ліпідів у риб / І.І. Грициняк, К.Б. Смолянінов, В.Г. Янович. – Львів: Тріада плюс, 2010. – 336 с.
14. *Беловский Н.М.* Нарушение липидного обмена у зимующих сеголеток карпа / Н.М. Беловский // *Тезиси докл. Всесоюз. конф. мол. уч. "Методы интенсификации прудового рыбоводства"*. – Москва, 1984. – С. 110-111.
15. *Winston G.W.* Oxidant and antioxidant in aquatic animals / G. W. Winston // *Comp. Biochem. Physiol. C*. – 1991. – Vol. 100, №1-2. – P. 173-176.
16. *Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors / R. Martinez-Alvarez, A. Morales, A. Sanz // Fish Biology and Fisheries*. – 2005. – 15: 75-88 p.
17. *Особа І.А.* Особливості функціонування системи антиоксидантного захисту організму / І.А. Особа // *Рибогосподарська наука України*. - 2009. - № 1. - С.133-139.
18. Стресс и болезни рыб / Г.А. Ведемейер, Ф.П. Мейер, Л. Смит. – Москва, «Легкая и пищевая промышленность». – 1981. – 128 с.
19. *Губерук В.О.* Перекисне окиснення ліпідів та антиоксидантна система захисту організму / В.О. Губерук // *Науковий вісник Львівського НУВМБТ ім. С.З. Гжицького*. – 2008. – Т. 10. – №3 (38). Ч. 1. – С. 51-55.
20. Утворення активних форм кисню та система антиоксидантного захисту в організмі тварин / Г.Л. Антонюк, Н.О. Бабич, Л.І. Сологуб [та ін.] // *Біологія тварин*. – 2000. – Т.2, №2, – С. 34-42.
21. *Старик Л.І.* Антиоксидантна система: природа, склад, механізми гомеостазу / Л.І. Старик // *Науковий вісник Львівського НУВМБТ ім. С.З. Гжицького*. – 2007. – Т. 9. – №3 (34). Ч. 2. – С. 172-177.
22. Система крови и неспецифическая резистентность в экстремальных климатических условиях / Н.В. Васильев, Ю.М. Захаров, Т.И. Коляда. – Новосибирск: Наука. – 1992. – 257 с.
23. *Саприн А.Н.* Окислительный стресс и его роль в механизмах апоптоза и развития патологических процессов / А.Н. Саприн, Е.В. Калинина // *Успехи биологической химии*. 1999. Т. 39. С. 289-326.



24. Окислительный стресс: биохимический и патофизиологический аспекты / Н.К. Зенков, В.З. Ланкин, Е.Б. Меньшикова. - М.: Наука: Интерпериодика, 2001. - 340 с.
25. Когтева Г.С. Ненасыщенные жирные кислоты как эндогенные биорегуляторы / Г.С. Когтева, В.В. Безуглов // Биохимия. – 1998. – Т. 63, Вып. 1. – С. 6-15.
26. Прооксидантно-антиоксидантний гомеостаз зародків в'юна за дії низькоінтенсивного лазерного опромінення / Н.П. Головчак, А.В. Тарновська, М.В. Бура та ін. // Фізика живого. – 2009. – Т.17. – №1. – С. 76-81.
27. Олексюк Н.П. Вплив сезону на перекисне окиснення ліпідів у тканинах ставкових риб / Н.П. Олексюк, В.Г. Янович // Біологія тварин. – 2003. – Т.5, № 1,2. – С. 180-183.
28. Бучко О.М. Зміни інтенсивності перекисного окислення ліпідів і активності антиоксидантних ферментів в окремих органах і тканинах тварин протягом онтогенезу / О.М. Бучко // Біологія тварин. – 2004. – Т.6, №1-2. – С.11-17.
29. Міщук О. Біохімічні маркери прісноводного двостулкового молюска *Anodonta cygnea* (Unionidae) за умов переселення / О. Міщук // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2008. – Вип. 47. – С.96-103.
30. Glutathione reductase, selenium-dependent glutathione peroxidase, glutathione levels, and lipid peroxidation in freshwater bivalves, *Unio tumidus*, as biomarkers of aquatic contamination in field studies / C Cossu, A Doyotte, M. Jacquin et all // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 1997. – Vol. 38. – №2. – P. 122-31.
31. Antioxidant biomarkers in freshwater bivalves, *Unio tumidus*, in response to different contamination profiles of aquatic sediments / C. Cossu, A.Doyotte, M. Babut et all // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2000. – Vol. 45. – №2. – P. 106-21.
32. Role of metallothionein against oxidative stress in the mussels *Mytilus galloprovincialis* / A. Viarengo, B. Burlando, M. Cavaletto et all. // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. – 1999. – Vol. 277. – №6. – P. 1612-1619.
33. Antioxidant defenses and animal adaptation to oxygen availability during environmental stress / М Н.-Lima, J.M. Storey, K.B. Storey // Elsevier Press, Amsterdam, 2001 – V.2. – P. 263–287
34. Di Giulio R.T. Biochemical responses in aquatic animals: a review of determinants of oxidative stress / R. T. Di Giulio // Environ. Toxicol. Chem. - 1989. - V. 8. - P. 1103-1123.
35. Руднева И.И. Применение биохимических маркеров для оценки здоровья рыб / И.И. Руднева // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов - 2. Разшир. мат. Междунар. научно-практической конференции. Борок-Москва. 2007 г. – С.234-238.
36. Шахматова О.А. Активность антиоксидантной системы личинок рыб как показатель качества морской среды / О.А. Шахматова // Экология моря, 2001.- вып. 59. С. 48 - 50.
37. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish *Carassius auratus* during anoxia and reoxygenation / V.I. Lushchak, L.P. Lushchak, A.A. Mota, M. Н.-Lima // Am J Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol. – 2001. – 280:100–107.
38. Особа І.А. Вміст продуктів вільнорадикального перекисного окиснення ліпідів у скелетних м'язах та печінці однорічок лускатих та рамчастих коропів несвицького зонального типу / І.А. Особа // Біологія тварин. – 2012. – Т. 14, № 1-2. – С. 179 - 183.
39. Попова Е.М. ліпіди як компонент адаптації риб до екологічного стресу / Е.М. Попова, І.В. Кошій // Рибогосподарська наука України, 2007. - № 1. – С. 49–56.



40. Особа І.А. Генетична оцінка та фізіолого-біохімічні особливості коропів несвицького зонального типу: дис. на здобуття наук. ступ. канд. с.-г. наук: спец. 03.00.15 / І.А. Особа, с. Чубинське Київської обл., 2012. – 152 с.
41. Дослідження стану системи антиоксидантного захисту та перебігу процесів вільнорадикального окислення в організмі коропа та його гібридних груп / І.А. Особа, С.І. Тарасюк, І.І. Грициняк // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2008. – Вип. 3(46). С. 169-174.
42. Antioxidant enzymes and lipid peroxidation in sturgeon *Acipenser naccarii* and trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study / С. Trenzado, М.С. Hidalgo, М. Garsia-Gallego, А.Е. Morales, М. Furne, А. Domezain, J. Domezain, А. Sanz // J. Aquaculture. – 2005.
43. Олексюк Н.П. Активність про- і антиоксидантних систем у печінці прісноводних риб у різні пори року / Н.П. Олексюк, В.Г. Янович // Укр. біохім. журн. – 2010. – т. 82, № 3. – С.41–48.
44. Метаболічні аспекти формування кисневого гомеостазу в екстремальних станах / М.Ф. Тимочко, О.П. Єлисеєва, Л.І. Кобилянська [та ін.] – Львів, 1998. – 142 с.
45. Ограничения свободнорадикального окисления в организме бычков при транспортном стрессе препаратами на основе хитина / А.Р. Таирова, Е.В. Сенькевич, Р.Р. Фаткулин // Фундаментальные исследования. - 2012. - №9. С. 586-589.
46. Сидоров В.С. Экологическая биохимия рыб. Липиды / В.С. Сидоров. – Л.: Наука, 1983. – 240 с.
47. Касаткина А.Е. Обмен веществ и энергии у молоди карпа в осенне-зимний период / А.Е. Касаткина // Тезиси докл. Всесоюз. конф. мол. уч. “Методы интенсификации прудового рыбоводства”. – Москва, 1984. – С. 77–79.
48. Ackman R. G. Fatty acid analysis of fresh-water fish lipids / R. G. Ackman // J. Amer. Oil. Chem. Soc. – 1996. – Vol. 73, № 4. – P. 537–538.
49. Metabolism of fatty acids in fish / Biosynthesis of fatty acids in relation to diet in the carp, *Cyprinus carpio Linnaeus 1758* / T. Farkas, I. Csengeri, F. Majoros [et al.] // Aquaculture. – 1978. – V. 14, № 1. – P. 57–65.
50. Farkas T. Biosynthesis of fatty acids by the carp, *Cyprinus carpio L.*, in relation to environmental temperature / T. J. Farkas, F. C. Csengeri // Lipids. – 1976. – V. 11. – P. 401–407.
51. Янович В.Г. Обмен липидов у животных в онтогенезе / В.Г. Янович, П.З. Лагодюк. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 316 с.
52. Біологічна роль поліненасичених кислот / К.Б. Смолянников, Р.П. Параняк, В.Г. Янович // Біологія тварин. – 2002. – Т.2, №1–2. – С. 16-30.
53. Пилипець А.З. Біохімічний склад, синтетичні і енергетичні процеси у скелетних м'язах коропа різного віку наприкінці літнього та зимового періодів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 03.00.04. «біохімія» / А.З. Пилипець. – Львів, 2003. – 16 с.
54. Пилипець А.З. Зміни загального вмісту ліпідів і їх жирнокислотного складу в скелетних м'язах коропа протягом зимової перетримки / А.З. Пилипець // Наук.-техн. бюл. Інст. біол. тварин. – Львів, 2002. – Вип. 4, №1. – С. 114-116.
55. Житенева Л.Д. Экологические закономерности ихтиогематологии / Л.Д. Житенева. – Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2000. – 56 с.
56. Курський М.Д. Біомембранологія / М.Д. Курський, С.М. Кучеренко. – К.: Вища школа, 1993. – 259 с.
57. Грициняк І.І. Біологічні особливості та фактори підвищення продуктивності коропів любінських внутрішньопорідних типів, їх помісей та гібридів: дис. на



- здобуття наук. ступ. доктора с.-г. наук: спец. 06.02.03 / І.І. Грициняк. К., 2008. - 252 с.
58. *Особа І.А.* Стан неферментативної ланки системи антиоксидантного захисту у річняка коропа після зимівлі / І.А. Особа. Мат. VIII наук. конф. мол. вчених та аспірантів (Чубинське, 13 травня 2010 р.) // Інститут розведення і генетики тварин НААН України; за ред. І.В. Гузеєва. – К.: Аграрна наука, 2010. – С. 52.
 59. *Особа І.А.* Активність неферментативної ланки системи антиоксидантного захисту у печінці однорічок лускатих та рамчастих коропів несвицького зонального типу / І.А. Особа, І.І. Грициняк // Рибогосподарська наука України. – 2010. – № 3. – С. 62-65.
 60. *Особа І.А.* Динаміка активності неферментативної ланки системи антиоксидантного захисту крові коропів несвицького зонального типу в процесі онтогенезу / І.А. Особа, І.І. Грициняк // Рибогосподарська наука України. – 2010. – № 4. – С. 105-110.
 61. Перекисное окисление и стресс / В.А. Барабой, И.И. Брехман, В.Г. Голотин [и др.] – СПб.: Наука, 1992. – 148 с.
 62. Вплив іонів міді і цинку на перекисне окислення ліпідів і антиоксидантний статус в організмі коропа / О.Б. Столяр, Н.Г. Зінковська, В.В. Грубінко // Біологія тварин. – 1999. – Т.1, №2. – С. 84-88.
 63. *Кравців Р.Й.* Вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів у тканинах коропа за різного вмісту Zn, Cu, Mn, і Se у воді / Р.Й. Кравців, Н.Є. Янович // Біологія тварин, 2007, Т.9, №1-2. – С 113-116.
 64. *Губський Ю.І.* Біологічна хімія / Ю.І. Губський. – Київ– Вінниця: Нова книга, 2007. – 656 с.
 65. *Храбко М.І.* Вплив згодовування різних кількостей цинку на концентрацію окремих форм жирних кислот у скелетних м'язах та ріст коропів / М.І. Храбко, Й.Ф. Рівіс // Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок. – 2011. – Вип. 12, №1,2. – С. 179-185.
 66. *Мерва А.В.* Активність антиоксидантної системи в тканинах коропа за різним вмістом селену у воді / А.В. Мерва, В.Г. Янович // Наук.-техн. бюл. Інст. біол. тварин. – Львів, 2006.– Вип. 7, №1,2.– С. 79-82.
 67. *Зінковська Н.Г.* функціонування антиоксидантних систем у крові риб при інтоксикації йонами міді, цинку, марганцю і свинцю : Автореф. дис. канд. біол. наук. 03.00.04 / Інститут біології тварин УААН. – Ч., 2003. – 21 с.
 68. Вплив імуномодельного препарату «ІЗАТІЗОН» на стан ліпопероксидації, антиоксидантного захисту та білкового обміну у однорічок коропових риб / Г.О. Сич, Т.О. Сокирко, Л.П. Бучацький, Н.М. Матвієнко // Науковий вісник ЛНАВМ імені С.З. Гжицького. – Львів, 2007. – т. 9, № 2(33), ч. 2. – С. 90-95.
 69. Свободнорадикальное окисление и антиоксидантная терапия / В.К. Казимирко, В.И. Мальцев, В.Ю. Бутылин и др. – К.: Морион, 2004. – 160 с.
 70. *Стежка В.А.* Функциональное состояние системы свободнорадикального окисления как патогенетически обоснованный критерий гигиенической оценки воздействия на организм факторов производственной и окружающей среды / В.А. Стежка // Довкілля та здоров'я. – 1999. – №1 (8). – С. 2-9.
 71. Окислительный стресс: биохимический и патофизиологический аспекты / Н.К. Зенков, В.З. Ланкин, Е.Б. Меньщикова. – М.: МАИК, 2001. – 343 с.
 72. *Дубиніна О.Ю.* Окиснювальний стрес і окислювальна модифікація білків / О.Ю. Дубиніна // Мед. хімія. – 2001. – Т.3. – №2. – С.5-12.
 73. *Меньщикова Е.Б.* Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты. М.: Слово, 2006. – 556 с.



74. Руднева-Титова И.И. Соотношение активности антиоксидантных ферментов и процессов перекисного окисления липидов в эмбриогенезе черноморского бычка - кругляка / И.И. Руднева-Титова // Онтогенез. – 1994. – Т.25. – №3. – С.13-20.
75. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish *Carassius auratus* during anoxia and reoxygenation / V.I. Lushchak, L.P. Lushchak, A.A. Mota [et al] // Am J Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol., 2001. – V. 280. – P. 100–107.
76. Seasonal variations of susceptibility to oxidative stress in *Adamussium colbecki*, a key bioindicator species for the Antarctic marine environment / F. Regoli, M. Nigro, M. Chiantore [et al] // The Science of Total Environment. - 2002. – 289. P. 205–211.
77. Oxidative stress in ecotoxicology: from the analysis of individual antioxidants to a more integrated approach / F. Regoli, S. Gorbi, G. Frenzilli [et al] // Mar Environ Res., 2002. – V.54, №3-5. – P. 419-423.
78. Storey K.B. Oxidative stress: animal adaptations in nature / K.B. Storey // Braz. J. Med. Biol. Res., 1996. – V. 29, №12. – P. 1715-1733.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗМА РЫБ

Особа И.А.

В статье охарактеризована биологическая роль процессов перекисного окисления липидов в обеспечении жизнедеятельности организма. Показана целесообразность определения продуктов свободнорадикального перекисного окисления липидов как важных показателей-индикаторов адаптации организма рыб к различным условиям среды выращивания.

Ключевые слова: перекисное окисление липидов, свободные радикалы, активные формы кислорода, антиоксиданты.

THE BIOLOGICAL ROLE OF LIPID PEROXIDATION IN ENSURING THE FUNCTIONING OF FISH ORGANISM

Osoba I.A.

The paper described the biological role of lipid peroxidation in life support of the organism. It was shown the content determination of free radical products of lipid peroxidation as important indicators-indicators of organism adaptation of fish to different environmental conditions of cultivation.

Key words: peroxide oxidation of lipids, free radicals, oxygen active forms, antioxidants.

