

UDC 579.551.214:632.951

DOI: 10.58407/bht.2.26.12



Copyright (c) 2026 Olexandr Smolsky

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олександр Смольський

ВІЛЬНО-РАДИКАЛЬНІ ПРОЦЕСИ У ТКАНИНАХ КОРОПА
ЗА ТОКСИЧНОГО ВПЛИВУ ПРЕПАРАТУ «КОРАГЕН»
В УМОВАХ *IN VITRO*



Olexandr Smolsky

FREE RADICAL PROCESSES IN CARP TISSUES
UNDER THE TOXIC INFLUENCE OF THE PREPARATION "KORAGEN"
IN *IN VITRO* CONDITIONS

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Оцінка редокс-статусу тканин коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії токсичних концентрацій препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу.

Методологія. Експеримент проводився *in vitro* на ізольованих тканинах коропа лускатого (*C. carpio*) системі неферментативного перекисного окиснення ліпідів. Вибір ступеня розведення препарату обумовлений пошуком його небезпечної концентрації на окисно-відновний гомеостаз досліджуваних тканин в умовах експерименту. Інтенсивність перебігу окисних процесів оцінювали за накопиченням малонового діальдегіду, а стан ферментативної ланки системи антиоксидантного захисту – за супероксиддисмутазаю та каталазною активностями. Спрямованість вільнорадикальних процесів у бік анти- або прооксидантної компоненти оцінювали за розрахунком фактору антиоксидантного стану. Вміст загального білку визначали фотоколориметрично за О.Н Lowry. Статистичну обробку отриманих даних проводили загальноприйнятими методами математичної статистики.

Наукова новизна. Вперше проведено оцінку редокс-статусу тканин коропа лускатого (*C. carpio*) за дії токсичних концентрацій препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу.

Висновки. Встановлено особливості концентраційного та тканеспецифічного впливу препарату «Кораген» на процеси перекисного окиснення ліпідів та ферменти антиоксидантного захисту у тканинах коропа в умовах *in vitro*. Проаналізовано шляхи захисту людини і тварин від токсичної дії препарату дії у районах його агрохімічного застосування. Показані різнонаправлені зміни у досліджуваних тканинах щодо вмісту малонового діальдегіду в залежності від концентрації препарату та часу його експозиції у тканинах. Встановлено активацію супероксиддисмутази активності у печінці, м'язах та пригнічення даного ферменту у еритроцитах у більшості варіантів досліду. Виявлено чутливість ферменту каталази до концентрації препарату та часу експозиції.

Ключові слова: перекисне окиснення ліпідів у тканинах коропа, малоновий діальдегід, каталазна активність, супероксиддисмутаза активність, фактор антиоксидантного стану, інсектицид «Кораген»

ABSTRACT

Purpose of the work. Assessment of the redox status of carp tissues (*Cyprinus carpio* L.) under the action of toxic concentrations of the drug "Koragen" against the background of artificially induced oxidative stress.

Methodology. The experiment was conducted *in vitro* on isolated carp tissues (*C. carpio*) in the system of non-enzymatic lipid peroxidation. The choice of the degree of dilution of the drug was due to the search for its dangerous concentration for the redox homeostasis of the studied tissues under experimental conditions. The intensity of the course of oxidative processes was assessed by the accumulation of malondialdehyde, and the state of the enzymatic link of the antioxidant protection system - by superoxide dismutase and catalase activities. The direction of free radical processes towards the anti- or pro-oxidant component was assessed by calculating the antioxidant state factor. The content of total protein was determined photocolormetrically according to O.N. Lowry. Statistical processing of the obtained data was carried out using generally accepted methods of mathematical statistics.

Scientific novelty. For the first time, the redox status of carp tissues (*C. carpio*) was assessed under the action of toxic concentrations of the drug "Koragen" against the background of artificially induced oxidative stress.

Conclusions. The features of the concentration and tissue-specific effect of the drug “Koragen” on the processes of lipid peroxidation and antioxidant defense enzymes in carp tissues under *in vitro* conditions were established. The ways of protecting humans and animals from the toxic effects of the drug in the areas of its agrochemical application were analyzed. Multidirectional changes in the studied tissues regarding the content of malondialdehyde were shown depending on the concentration of the drug and the time of its exposure in the tissues. Activation of superoxide dismutase activity in the liver, muscles and inhibition of this enzyme in erythrocytes were established in most variants of the experiment. The sensitivity of the catalase enzyme to the concentration of the drug and the exposure time was revealed.

Keywords: lipid peroxidation in carp tissues, malondialdehyde, catalase activity, superoxide dismutase activity, antioxidant state factor, insecticide “Koragen”

Вступ

Перекисне окиснення ліпідів (ПОЛ) – це окисна деградація ліпідів, яка відбувається під дією вільних радикалів і є однією з основних причин пошкодження клітинних мембран та подальшої загибелі клітин унаслідок впливу активних форм кисню (Honcharuk & Korshun, 2004). Цей процес регулює ліпідний склад біологічних мембран і мембраноасоційованих ферментів, бере участь у синтезі лейкотрієнів, простагландинів, метаболізмі катехоламінів та стероїдних гормонів, впливає на проникність мембран і транспорт речовин через них (Nizhenkovska et al., 2012). Інтенсивне вивчення окисних процесів в організмі в останні роки пов'язане з накопиченням даних, які свідчать про те, що стресорні або екстремальні фактори, зокрема отруєння організму ксенобіотиками та іншими речовинами антропогенного походження, призводять до зміщення балансу в системі “прооксиданти/антиоксиданти”, внаслідок чого і створюються умови для формування окисного стресу (Escobales et al., 2005).

В останні роки у практиці сільсько-господарського виробництва широкого застосування в якості інсектицидів набула група похідних хлорантранілпіролу (препарати «Кораген», «Ампліго», «Зеніт»), особливістю дії яких є здатність впливати на процеси м'язового скорочення (Pesticide Fact Sheet, 2008).

Метою даної роботи була оцінка редокс-статусу тканин коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії токсичних концентрацій препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу.

Матеріали та методи дослідження

Досліди проводилися *in vitro* на гомогенатах печінки, скелетних м'язів, а також на еритроцитах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.). Гомогенати тканин готували на основі 0,025М Трис-НCl-буфера з рН 7,4, що містив 0,175 М розчин KCl у співвідношенні 7:18 (біологічний матеріал : буферний розчин). Кров

для досліджень відбирали з синуса зябрової вени з використанням гепарину, як антикоагулянта, з розрахунку 20 од./мл крові (Karlova et al., 2023). Для отримання суспензії еритроцитів кров центрифугували при 3000 об/хв на центрифугі ОПН-ВУХЛ4.2 протягом 10 хв, а осад еритроцитів ресуспендували у 0,025М Трис-НCl-буферному розчині (рН 7,4).

Експеримент проводили у модельованих умовах, а саме в системі неферментативного ПОЛ. Інкубаційна суміш містила біологічний матеріал (гомогенат печінки, скелетних м'язів або кров) та 0,5М трис-НCl-буфер. Для індукції неферментативного аскорбатзалежного ПОЛ в інкубаційну суміш додавали суміш 0,25мМ розчину ферум (II) сульфату та 0,5мМ розчину аскорбінової кислоти (Shen et al., 2021).

У якості контролю використовували гомогенати печінки, скелетних м'язів та суспензію еритроцитів які інкубували в системі неферментативного аскорбатзалежного ПОЛ протягом 1 год при температурі 37 °C у водяному термостаті ІТЖ-0-03.

Дослідні групи гомогенати печінки, скелетних м'язів й суспензію еритроцитів, в яких попередньо активували систему неферментативного ПОЛ як у контрольній групі тканин, а потім протягом 3 та 6 годин інкубували при температурі 37 °C у водяному термостаті ІТЖ-0-03 з розчинами препарату «Кораген» з розведенням 1:10 (20 г/л), 1:100 (2 г/л) та 1:1000 (0,2 г/л). Вибір ступеня розведення препарату обумовлений пошуком найбільш небезпечної концентрації препарату щодо впливу на окисно-відновний гомеостаз досліджуваних тканин в умовах експерименту, зокрема варіант розведення препарату 1:100 відповідає рекомендованій дозі інсектициду в умовах боротьби із шкідниками з урахуванням розведення препарату у інкубаційному середовищі.

Для оцінки інтенсивності вільнорадикальних процесів за дії досліджуваного препарату в умовах штучно індукованого окисного стресу, визначали наступні

показники: вміст проміжного продукту ПОЛ – малонового діальдегіду (МДА), а також каталазну та супероксиддисмутазну активність. Спрямованість вільнорадикальних процесів у бік анти- або прооксидантної компоненти оцінювали за розрахунком фактору антиоксидантного стану (ФАОС), який розраховували за співвідношенням активностей СОД та каталази та вмісту МДА:

$$\text{ФАОС} = \frac{\text{СОД-активність} \times \text{Каталазна активність}}{\text{МДА}}$$

Інтенсивність перебігу окисних процесів оцінювали за накопиченням кінцевого продукту ПОЛ – МДА. Для цього до 1 мл отриманого після інкубації розчину додавали 2 мл охолодженої 20 %-вої трихлороцтової кислоти (ТХО). Утворений розчин поміщали на 12 год. у холодильник, після чого проби центрифугували при 4000 об./хв. До 1 мл супернатанту додавали 2 мл 0,8 %-вого розчину тіобарбітурової кислоти (ТБК) та поміщали на 10 хв. у киплячу водяну баню. Відомо, що при високій температурі в кислому середовищі МДА реагує з 2-ТБК, утворюючи забарвлений азометиновий комплекс із максимумом поглинання при 532 нм. Для підвищення ефективності визначення МДА у проби вносили 4 мл н-бутанолу та вимірювали оптичну густину бутанольних екстрактів. Молярний коефіцієнт екстинкції цього комплексу (ϵ) становить $1,56 \times 10^5 \text{ см}^{-1} \times \text{М}^{-1}$ (Buddi et al., 2002).

Супероксиддисмутазну активність визначали за реакцією інгібування аутоокиснення адреналіну. Інкубаційна суміш містила: 2,5 мл карбонатного буферу (0,2 М, рН=10,6), 50 мкл 0,1 %-го розчину адреналіну та 0,5 мл досліджуваної речовини, потім її ретельно і швидко перемішували, поміщали в спектрофотометр і вимірювали величину оптичної щільності при довжині хвилі 347 нм через 30 с. з інтервалом 3 хв. (Brazhko et al., 2009). СОД-активність виражали у відсотках інгібування окиснення адреналіну.

Каталазну активність визначали за методом (Luna et al., 2005). Для цього до 3,0 мл 0,05 М калій-фосфатного буферного розчину додавали 20 мкл біологічного матеріалу, 10 мкл 3 % розчину пероксиду водню, суміш перемішували та при 240 нм вимірювали час, необхідний для зменшення оптичної густину розчину на 0,05. Вибір довжини хвилі

обумовлен абсорбційним максимумом поглинання перекису водню.

Кількість загального білка у тканинах визначали за екстинцією забарвлених у синій колір комплексів білка з йонамі Купрума у лужному середовищі в присутності солей винної кислоти (сегнетова сіль) (Korylchuk & Nikolaychuk, 2019). Для цього до 0,1 мл розчину білка (гомогенат печінки та м'язів, гемолізат еритроцитів) додавали 2 мл суміші реактивів А (Na_2CO_3 2 % в NaOH : 2 г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow$ до 100 г 0,1Н розчином NaOH) та Б (1 г $\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 + 300$ мл води $\rightarrow$ озичняємо та додаємо 0,5 г $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ до 100 мл.) та перемішували. Через 10 хв. до розчину додавали 0,5 мл реактиву Фоліна та знов перемішували. Через 45 хв. вимірювали оптичну щільність отриманих забарвлених розчинів на спектрофотометрі UV-1200 при довжині хвилі 750 нм. Вимірювання здійснювали проти холостої проби, що не містила білка. Для порівняння готували серію стандартних розчинів білка (сироватковий альбумін бика) та будували калібрувальний графік.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel загальноприйнятими методами варіаційної статистики з використанням t-критерію Ст'юдента (Prylutsky & Ilchenko, 2017). Статистично значущими вважали результати, для яких $p < 0,05$.

Результати дослідження та обговорення

У системі неферментативного ПОЛ у гомогенатах печінки та м'язів і суспензії еритроцитів, отриманих з інтактних тварин на першому етапі, визначали вміст ТБК-активних продуктів, а саме МДА як проміжного продукту ПОЛ при дії чинників різної природи на біологічні системи різних екологічних ланок (Osoba, 2009).

Встановлено (табл. 1), що в умовах модельованого окисного стресу вміст цього продукту ПОЛ суттєво залежить від типу досліджуваної тканини, часу інкубації, а також ступеня розведення препарату. Крім того, вміст МДА при 6-ти годинній інкубації у всіх дослідних варіантах у порівнянні з 3-х годинною інкубацією має тенденцію до збільшення, при цьому при визначенні його у суспензії еритроцитів зростання є статистично значущим.

Так, у гомогенатах печінки при 3-х год. інкубації вміст МДА при використанні препарату у розведенні 1:10 статистично значуще зростає на 16,47 %, 1:100 – зменшується на 18,95 % ($p < 0,05$), а при розведенні 1:1000 достовірні зміни не виявляються. У суспензії еритроцитів застосування інсектициду у розведенні 1:10 та 1:100 стимулює процеси ПОЛ (вміст МДА статистично значуще зростає відповідно на 38,48 та 27,55 %), проте при розведенні 1:1000 відмічається його зменшення на 32,54 % ($p < 0,05$). Слід відмітити, що спрямованість анти/прооксидантних відхилень є однаковою як при 3-х, так і при 6-ти годинній інкубації тканин.

Водночас, у гомогенатах м'язів спостерігається пригнічення процесів ПОЛ при використанні препарату у розведеннях 1:10 та 1:1000 – вміст МДА при цьому знижується, відповідно, на 36,52% й 30,86 % (3-х годинна інкубація) та на 32,65 % й 38,55 % (6-ти годинна інкубація) ($p < 0,05$). При дії препарату у розведенні 1:100 виявляються різноспрямовані зміни у вмісті ТБК-активних продуктів: при інкубації 3 год. вміст МДА статистично значуще зростає на 24,53 %, а при 6-ти годинній інкубації зменшується на 15,19 %.

Аналіз концентраційних залежностей свідчить про активацію процесів ПОЛ у печінці та суспензії еритроцитів при обох експозиціях при розведенні препарату 1:10, а також у

суспензії еритроцитів при обох експозиціях та у м'язах при 3-х годинному впливі при використанні препарату в розведенні 1:100.

У той же час пригнічення пероксидації ліпідів відмічається в обох експозиціях у м'язах при використанні препарату в розведенні 1:10; у печінці при розведенні 1:100 (експозиція 3 та 6 год.) та у м'язах при експозиції препарату 6 год.

Також слід зазначити, що розведення препарату 1:1000 у печінці в усіх варіантах дослідів не впливає на вміст МДА (зменшення не є статистично значущим), а у суспензії еритроцитів та у гомогенатах м'язів спостерігається пригнічення процесів ПОЛ та вірогідне зменшення вмісту МДА. Останнє може бути пов'язане з активацією ферментативної ланки системи АОЗ.

Таким чином, аналіз спрямованості та інтенсивності вільнорадикальних процесів за рівнем МДА свідчить про найбільший прооксидантний вплив на печінку при застосуванні препарату у розведенні 1:10, на суспензію еритроцитів – у розведенні 1:10 та 1:100, а найменший вплив вільних радикалів виявляється для гомогенатів м'язів при 3-х год. експозиції.

Слід відмітити особливості впливу варіанту розведення препарату 1:100, оскільки це відповідає рекомендованій дозі інсектициду в умовах боротьби із шкідниками з урахуванням розведення препарату у інкубаційному середовищі.

Таблиця 1

Вміст малонового діальдегіду у тканинах коропа при дії препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу (нмоль/г тканини), $M \pm m$, $n=5$

Варіант дослідів	Досліджувана тканина					
	Гомогенат печінки		Суспензія еритроцитів		Гомогенат м'язів	
Час інкубації	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.
Контроль	225,3 ± 17,2	255,2 ± 19,3	42,1 ± 2,8	56,2 ± 3,4 [#]	74,2 ± 4,3	88,2 ± 5,4
Розведення 1:10	262,4 ± 19,3*	293,1 ± 21,3*	58,3 ± 3,5*	74,4 ± 4,1*	47,1 ± 3,1*	59,4 ± 3,6*
Розведення 1:100	182,6 ± 12,4*	215,7 ± 16,5*	53,7 ± 2,2*	69,8 ± 4,7*	92,4 ± 5,3*	74,8 ± 4,9*
Розведення 1:1000	221,5 ± 14,6	248,2 ± 18,1	28,4 ± 1,5*	34,5 ± 2,8*	51,3 ± 3,8*	54,2 ± 3,7*

Примітка: * - $p < 0,05$ відносно контролю

Відомо, що СОД є ферментом первинного антиоксидантного захисту, що запобігає утворенню пероксидів полієнових жирних кислот клітинних мембран та мембран субклітинних утворень, що є наслідком функціонування вільно-радикального шляху

використання кисню (Martines-Alvarez et al., 2005).

Результати досліджень, проведених *in vitro*, свідчать про залежність СОД-активності гомогенатів печінки, м'язів та суспензії еритроцитів від часу інкубації та ступеня розведення препарату (табл. 2).

Таблиця 2

Супероксиддисмутазна активність у тканинах коропа при дії препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу, (у.о./г тканини), $M \pm m$, $n=5$

Варіант досліджу	Досліджувана тканина					
	Гомогенат печінки		Суспензія еритроцитів		Гомогенат м'язів	
Час інкубації	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.
Контроль	25,3 ± 1,6	28,2 ± 1,8	15,1 ± 0,8	12,2 ± 1,4	11,2 ± 1,3	8,2 ± 0,5
Розведення 1:10	21,4 ± 1,3*	33,4 ± 2,5*	11,5 ± 1,2*	9,6 ± 0,4*	14,7 ± 1,1*	10,7 ± 0,8*
Розведення 1:100	32,6 ± 2,1*	38,6 ± 2,3*	10,7 ± 1,4*	8,9 ± 0,6*	8,1 ± 0,5*	10,5 ± 1,1*
Розведення 1:1000	27,1 ± 1,8	30,2 ± 1,9	14,8 ± 1,1	13,7 ± 1,3	12,4 ± 0,9	10,9 ± 1,4*

Примітка: * - $p < 0,05$ відносно контролю

Так, у печінці статистично значуща активація ферменту на 18,43 % спостерігається при застосуванні препарату у розведенні 1:10 при 6-ти годинній інкубації, а також в усіх інших дослідних варіантах, окрім 3-х годинної інкубації, де відмічається пригнічення активності ферменту на 15,42 %. Проте при дії препарату у розведенні 1:1000 збільшення активності ферменту не є статистично значущим.

В еритроцитах при застосуванні препарату в усіх варіантах розведення та обох експозиціях активність первинної ланки АОЗ зменшується ($p < 0,05$), проте при розведенні 1:1000 статистично значущих змін не виявлено. Відповідне зниження активності ферменту при 3-год експозиції становить 23,84 та 29,14 %, а при 6-год обробці препаратом – 21,31 та 27,05 %.

Зростання СОД-активності відмічається і у м'язах в усіх дослідних варіантах, окрім 3-год експозиції при використанні інсектициду в розведенні 1:100. Зокрема при 3-год експозиції при дії розведень 1:10 та 1:1000 відмічено збільшення активності ферменту на 31,25 % та 10,71 %.

Виявлені нами зміни при цьому можуть розглядатися як можлива відповідь системи АОЗ на окисний стрес, викликаний дією речовиною препарату «Кораген».

Таким чином, найбільш стійкою до дії препарату є печінка та м'язи, а пригнічення СОД-активності та, ймовірно, посилення окисного стресу спостерігається у еритроцитах, що підтверджується і збільшенням у них вмісту ТБК-активних продуктів (табл.1), зокрема МДА.

Відомо, що в основу механізмів знешкодження пероксид водню, що є продуктом вільно-радикального шляху використання кисню, покладена каталітична дія ферментів-оксидоредуктаз, зокрема каталази (Latyshko et al., 2000). Утилізується пероксид водню у мітохондріях, міросомах, пероксисомах та мембранах. Генерація та каталітичне розщеплення H_2O_2 у клітині контролюються ферментативно і жорстко детермінованими. Каталаза здійснює каталітичне розщеплення H_2O_2 через каталазну або пероксидазну реакції. Нами була досліджена пероксидазна реакція каталітичної дії каталази та доведено зміни каталазної активності в залежності від часу інкубації та концентрації інсектициду (табл.3). Так, при дослідженні впливу препарату при його використанні у розведенні 1:10 статистично значуще зростання каталазної активності спостерігається лише у печінці при обох експозиційних витримках: на 27,07 % при 3-х год та 21,07 % при 6 год. експозиції. Проте у еритроцитах та м'язах фермент пригнічується при обох експозиціях при розведенні препарату 1:10.

Так, відповідне зниження активності у еритроцитах становить 25,90 та 26,48 %, а у м'язах – 36,34 та 29,87 %. У той же час при розведенні препарату до так званої «польової концентрації» (1:100) відмічаються протилежні зміни: у печінці (інкубація 3 та 6 год.) та еритроцитах (інкубація 3 год.) каталазна активність зменшується: на 24,35 та 36,57 % у печінці та 34,26 % у еритроцитах, а у інших варіантах впливу зростає ($p < 0,05$): на 23,68 % у еритроцитах при 6 год інкубації та

у м'язах на 30,09 та 31,86 % при 3-х та 6-ти год інкубації відповідно. Щодо розведення 1:1000, то спостерігаються різноспрямовані зміни активності ферменту в залежності від часу інкубації. Так, 3-х годинний вплив препарату у печінці активує фермент (тенденція), а у еритроцитах та м'язах,

навпаки, його інгібує ($p < 0,05$) відповідно на 29,08 та 31,94 %. Проте при 6-ти годинній інкубації встановлена зворотна зміна активності: у печінці каталазна активність має тенденцію до зниження, а у інших тканинах – до зростання (у м'язах статистично значуще, на 25,44 %).

Таблиця 3

Каталазна активність у тканинах коропа при дії препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу, (у.о./г тканини), $M \pm m$, $n=5$

Варіант досліджу	Досліджувана тканина					
	Гомогенат печінки		Суспензія еритроцитів		Гомогенат м'язів	
Час інкубації	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.
Контроль	77,2 $\pm$ 5,4	84,5 $\pm$ 5,8	25,1 $\pm$ 1,7	32,1 $\pm$ 2,2	43,2 $\pm$ 3,3	45,2 $\pm$ 3,4
Розведення 1:10	98,1 $\pm$ 7,3*	102,3 $\pm$ 7,2*	18,6 $\pm$ 1,3*	23,6 $\pm$ 2,4*	27,5 $\pm$ 1,8*	31,7 $\pm$ 2,8*
Розведення 1:100	58,4 $\pm$ 3,6*	53,6 $\pm$ 3,4*	16,5 $\pm$ 1,9*	39,7 $\pm$ 2,6*	56,2 $\pm$ 3,4*	59,6 $\pm$ 4,2*
Розведення 1:1000	84,5 $\pm$ 6,8	71,6 $\pm$ 5,9	17,8 $\pm$ 1,4*	37,4 $\pm$ 2,1*	29,4 $\pm$ 3,5*	56,7 $\pm$ 3,7*

Примітка: * - $p < 0,05$ відносно контролю

Таким чином, каталазна активність досліджуваних тканин відображає зміни як у активності ферментів АОЗ, так і у кількості продуктів ПОЛ, оскільки пероксид водню є складовою ланки вільнорадикального утворення МДА (Saliga, 2013). При цьому тканиною, найбільш чутливою щодо ушкоджувальної дії пероксиду водню, є суспензія еритроцитів та м'язи (при застосуванні препарату в розведенні 1:10 та 1:1000), а також печінка (розведення 1:100).

Для інтегральної оцінки анти-/прооксидантного статусу ізольованих тканин коропа в умовах експерименту нами були розраховані значення фактору антиоксидантного стану, який дозволяє оцінити потужність системи АОЗ до дії токсичних або

абіотичних чинників довкілля на тварин (Arteni et al., 2010) (табл. 4).

Встановлені зміни у загальному антиоксидантному статусі тканинних ізолятів в умовах експерименту та його залежність від концентрації препарату та часу експозиції. Зокрема, показано, що найбільше послаблення системи АОЗ в умовах експерименту має місце у суспензії еритроцитів (розведення препарату 1:10 та 1:100) та у м'язах при 3-х годинній експозиції препарату (розведення препарату 1:100).

Відповідне зниження ФАОС у еритроцитах становить 61,8 та 64,04 % при експозиції 3 год і 56,52 та 27,54 % при 6 год обробці досліджуваних зразків препаратом ($p < 0,05$), а у м'язах відмічене зменшення ФАОС становить 27,54 %.

Таблиця 4

Фактор антиоксидантного стану у тканинах коропа при дії препарату «Кораген» на фоні штучно індукованого окисного стресу, $M \pm m$, $n=5$

Варіант досліджу	Досліджувана тканина					
	Гомогенат печінки		Суспензія еритроцитів		Гомогенат м'язів	
Час інкубації	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.	3 год.	6 год.
1	2	3	4	5	6	7
Контроль	8,6 $\pm$ 0,4	9,2 $\pm$ 0,6	8,9 $\pm$ 0,6	6,9 $\pm$ 0,4	6,4 $\pm$ 0,4	4,1 $\pm$ 0,3

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7
Розведення 1:10	7,9 ± 0,5	11,5 ± 0,8	3,4 ± 0,2*	3,0 ± 0,2*	8,0 ± 0,5*	5,6 ± 0,3*
Розведення 1:100	10,2 ± 0,7*	9,4 ± 0,6	3,2 ± 0,3*	5,0 ± 0,4*	4,9 ± 0,2*	8,4 ± 0,5*
Розведення 1:1000	10,3 ± 0,6*	8,9 ± 0,5	8,5 ± 0,6	14,1 ± 1,2*	7,1 ± 0,6	11,3 ± 1,2*

Примітка: * - $p < 0,05$ відносно контролю

Проте у печінці спостерігаємо різнонаправлені зміни у даному показнику: при дії розведення препарату 1:10 при 3-х год експозиції має місце тенденція до зниження антиоксидантного статусу тканини, а при 6 год – навпаки, тенденція до збільшення, але результати не є статистично значущими; розведення препарату 1:100 та 1:1000 викликає посилення ФАОС, при цьому при 3 год експозиції відмічаємо статистично значуще зростання показника відповідно на 18,6 та 19,77 %, а при 6 год інкубації можна констатувати тенденцію до посилення системи АОЗ. Також слід відмітити, що 6 год. експозиція гомогенатів м'язів викликає посилення ФАОС в усіх концентраційних варіантах впливу препарату: на 36,59 % при розведенні 1:10, на 104,87 % при розведенні 1:100 та на 175,61 % при розведенні 1:1000.

Таким чином, найбільшого ушкодження зазнають мембранні ліпіди еритроцитів, що посилює окисну деструкцію гемоглобіну та порушує його фізіолого-біохімічну роль.

Висновки

Встановлено вплив препарату «Кораген» на процеси ПОЛ та ферменти АОЗ у тканинах коропа та особливості цього впливу щодо різних тканин, що може стати у нагоді для розробки більш безпечних інсектицидів-похідних хлорантраніліпролу та пошуку шляхів захисту людини і тварин від їх ушкоджувальної дії у районах їх агрохімічного застосування.

Показано збільшення вмісту МДА у печінці (при розведенні препарату 1:10), у суспензії еритроцитів (розведення 1:10 та 1:100) та у гомогенатах м'язів (розведення

1:100) при інкубації 3 год. Натомість зниження вмісту МДА виявлено у м'язах (розведення 1:10, експозиція 3 та 6 год.), у печінці (розведення 1:100, експозиція 3 та 6 год.) та у м'язах (6-ти год.).

Встановлено зростання СОД-активності у печінці (розведення 1:10, інкубація 6 год., а також усі інші дослідні варіанти, окрім інкубації 3 год. при розведенні 1:10, за якої його активність знижується). Зростання СОД-активності виявлено і у м'язах в усіх дослідних варіантах, окрім 3-х годинного впливу (розведення 1:100). В еритроцитах СОД-активність, навпаки, зменшується (усі розведення, крім 1:1000, експозиції 3 і 6 год.).

Виявлено, що при застосуванні розведення 1:10 каталазна активність зростає лише у печінці, а у еритроцитах та м'язах вона знижується. При розведенні 1:100, навпаки, у печінці (інкубація 3 та 6 год.) та еритроцитах (інкубація 3 год.) каталазна активність зменшується, а у інших варіантах впливу зростає. При розведенні 1:1000 встановлено різноспрямовані зміни активності ферменту залежно від часу інкубації.

З розрахованих значень фактору АОЗ встановлено, що найбільше послаблення системи АОЗ в умовах експерименту має місце у еритроцитах (розведення препарату 1:10 та 1:100) та у м'язах при експозиції препарату 3 год, проте у печінці (3-годинна дія препарату) і у м'язах (6-годинна дія) встановлено посилення системи АОЗ.

Таким чином у модельованих токсикологічних умовах показана тканинна та концентраційна специфічність дії активного компонента препарату «Кораген» на організм коропа, що слід враховувати при проведенні агрохімічних заходів поблизу річок, озер або інших відкритих водних джерел.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування/ This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора/ Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (No протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium" (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів / The author declares no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Arteni, O., Olteanu, Z., Oprică, L., & Bălan, M. (2010). Researches on the activity of oxidoreductases from tissues harvested in different stages of development at *Cyprinus carpio*. *Secțiunea Genetică și Biologie Moleculară*, 11, 83-86. <https://www.researchgate.net/publication/255962006> Researches on the activity of oxidoreductases from tissues harvested in different stages of development at *Cyprinus carpio*
- Brazhko, O., Zavgorodniy, M., Kruglyak, O., Omelyanchyk, L. & Shapoval, G. (2015). Antioxidant activity of alkoxy-substituted (hinol-4-ylthio) carboxylic acids. *Ukrainian Biochemical Journal*, 87(2). pp. 95-102. <http://dx.doi.org/10.15407/ubj87.02.095> (in Ukrainian)
- Бражко О., Завгородній М., Кругляк О., Омелянчик Л., Шаповал, Г. Антиоксидантна активність алкоксизаміщених (хінол-4-ілтіо) карбонових кислот. *Український біохімічний журнал*. 2015. Т. 87, № 2. С. 95-102. <http://dx.doi.org/10.15407/ubj87.02.095>
- Buddi, R., Lin, B., & Atilano S. (2002). Evidence of oxidative stress in human corneal diseases. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 50(3), 341-351. <https://doi.org/10.1177/002215540205000306>
- Escobales, N., Crespo, M., & Escobales, N. (2005). Oxidative-nitrosative stress in hypertension. *Current Vascular Pharmacology*, 3, 231-246. <https://doi.org/10.2174/1570161054368643>
- Honcharuk, E., & Korshun, M. (2004). Free radical oxidation as a universal nonspecific mechanism of damaging effects of harmful environmental factors. *Journal of the Academy of Medical Sciences of Ukraine*, 10(1), 131-150. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=DPOXZN4AAAAJ&citation_for_view=DPOXZN4AAAAJ:eQOLeE2rZwMC (in Ukrainian)
- Гончарук, Є., Коршун, М. Вільно-радикальне окислення як універсальний неспецифічний механізм пошкоджуючої дії шкідливих чинників довкілля. *Журнал АМН України*. 2004. Т.10, № 1. С. 131-150. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=DPOXZN4AAAAJ&citation_for_view=DPOXZN4AAAAJ:eQOLeE2rZwMC

Karlova, L.V., Pryshedko, V.M., Begma, N. A., & Dutka, V. R. (2023). Hematological indicators of the blood of males and females of the Ukrainian scaled carp breed. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences / Articles*, 25(98), 40-46. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9807> (in Ukrainian)

Карлова Л.В., Пришедько В.М., Бегма Н.А. Гематологічні показники крові самців і самок української лускатої породи коропа. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2023, Т. 25, № 98. С. 40-46. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9807>

Kopylchuk, G. P., & Nikolaychuk, I.M. (2019). Laboratory practical in biochemistry: teaching-methodical manual. Chernivtsi: Chernivtsi National University named after Yu. Fedkovych. <https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/3148> (in Ukrainian)

Копильчук Г.П., Николайчук І.М. Лабораторний практикум із біохімії: навч.-метод. посібник. Чернівці: Чернівець нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2019. 144 с. <https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/3148>

Latyshko, H., Gudkova, L., & Gudkova, O. (2000). Catalytic properties of *Penicillium vitale* catalase. Peroxidase reaction of the enzyme. *Biopolymers and the cell*, 16(6), 505-509. <https://nasplib.isofts.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/d6eaf102-14e0-4b18-8126-5a59e7b4a131/content> (In Ukrainian)

Латишко, Н., Гудкова, Л., Гудкова, О. Каталітичні властивості каталази *Penicillium vitale*. Пероксидазна реакція ферменту. *Біополімери і клітина*. 2000. Т.16, №6. С. 505-509. <https://nasplib.isofts.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/d6eaf102-14e0-4b18-8126-5a59e7b4a131/content>

Luna, C. M., Pastori, G. M., Driscoll, S., Groten, K., Bernard, S., & Foyer, C. H. (2005). Drought control on H₂O₂ accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 56(411), 417-423. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri039>

Martines-Alvarez, R., Morales, A., & Sanz, A. (2005). Antioxidant defenses in fish: biotic and abiotic factors. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 15(1), 75-88. <https://doi.org/10.1007/s11160-005-7846-4>

Nizhenkovska, I., Nizhenkovsky, O., & Vilchynska, V. (2012). Lipoperoxidation processes and the state of the AO system in the myocardium of rats under conditions of intoxication with anthracycline antibiotics. *Modern Problems of Toxicology*, 2, 45-47. http://medved.kiev.ua/web_journals/arhiv/toxicology/2012/2_2012/str45.pdf (in Ukrainian)

Ніженковська І., Ніженковський О., Вільчинська В. Процеси ліпопероксидації та стан АО системи в міокарді щурів за умов інтоксикації антрацикліновими антибіотиками. *Сучасні проблеми токсикології*. 2012. № 2. С. 45-47. http://medved.kiev.ua/web_journals/arhiv/toxicology/2012/2_2012/str45.pdf

Osoba, I. (2009). Peculiarities of the functioning of the antioxidant defense system of the organism. *Fisheries Science of Ukraine*, (1), 133-139. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=rnu_2009_1_27 (In Ukrainian)

Особа І. Особливості функціонування системи антиоксидантного захисту організму. *Рибогосподарська наука України*. 2009. № 1. С. 133-139. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=rnu_2009_1_27

Pesticide Fact Sheet: Chlorantraniliprole. (2008). Available at: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-090100_01-Apr-08.pdf

Prylutsky, Y., & Ilchenko, O. (2017). Statistical Methods in Biology: Textbook. Naukova Dumka. <https://www.biochemistry.org.ua/images/kosterin/monograf/Статистичні-методи-в-Біології.pdf> (in Ukrainian)

Прилуцький Ю., Ільченко О. *Статистичні методи в біології: Підручник*, Київ: Наукова думка. 2017. <https://www.biochemistry.org.ua/images/kosterin/monograf/Статистичні-методи-в-Біології.pdf>

Saliga, Y. (2013). Superoxide dismutase and catalase activity in rat tissues during chronic chlorpyrifos intoxication. *Bulletin of the Zaporizhia National University. Biological Sciences*, (2), 108-114. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vznu_bio_2013_2_17 (in Ukrainian)

Салига Ю. Супероксиддисмутаза і каталазна активність у тканинах щурів за хронічної інтоксикації хлорпірифосом. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2013. № 2. С. 108-114. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vznu_bio_2013_2_17

Shen, J., Griffiths, P.T., Campbell, S.J., Utinger, B., Kalberey, M., & Paulson, S.E. (2021). Ascorbate oxidation by iron, copper and reactive oxygen species: review, model development, and derivation of key rate constants. *Scientific Reports*, 11, 7417. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86477-8>

Received: 28.06.2026. **Accepted:** 06.08.2026. **Published:** 07.09.2026.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Смольський О. Вільно-радикальні процеси у тканинах коропа за токсичного впливу препарату «Кораген» в умовах *in vitro*. *Biota. Human. Technology*. 2026. № 2. С. 155-164. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.2.26.12>

Cite this article in APA style as:

Smolsky, O. (2026). Vilno-radykalni protsesy u tkanyakh koropa za toksychnoho vplyvu preparatu «Koragen» v umovakh *in vitro* [Free radical processes in carp tissues under the toxic influence of the preparation "Koragen" in *in vitro* conditions]. *Biota. Human. Technology*, (2), 155-164. <https://doi.org/10.58407/bht.2.26.12> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Smolsky O. [in Ukrainian: **Смольський О.**], Cand. Sc. (Biol.), Assoc. Prof., email: alexsmolsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7942-3414 Scopus-Author ID: 56165706900 ResearcherID: ABH-8893-2022
Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine