

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-2-4

ПРООКСИДАНТНОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ТИТАНА ПРИ ВЫСОКИХ ДОЗИРОВКАХ (НА МОДЕЛИ *Danio rerio*)

А.Е. Аринжанов¹, Е.П. Мирошникова¹, Ю.В. Килякова¹, М.С. Аринжанова²

¹ ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13

² Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,
Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29

РЕЗЮМЕ. В работе представлены результаты исследований прооксидантного действия ультрадисперсных частиц (УДЧ) титана при высоких дозировках (0,06–6 мг/дм³). В качестве тест-объекта использовали рыб *Danio rerio*. На 14-е сутки эксперимента наблюдалось снижение содержания малонового диальдегида (МДА). Увеличение сроков экспозиции привело к усилению продукции МДА, а также к снижению активности супероксиддисмутазы (СОД) во всех группах по сравнению с началом эксперимента, но при этом в опытных группах показатель СОД был выше контроля в 2,5 раза. Анализ активности каталазы показал существенное ее увеличение в течение всего срока экспозиции во всех опытных группах по сравнению с контролем. В конце эксперимента зафиксирована максимальная активность каталазы. Этот результат можно рассматривать как адаптационно-приспособительную реакцию организма на развитие оксидативного стресса, что подтверждает токсический эффект УДЧ титана при высоких дозировках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: титан, ультрадисперсные частицы, токсичность.

Для цитирования: Аринжанов А.Е., Мирошникова Е.П., Килякова Ю.В., Аринжанова М.С. Прооксидантное действие ультрадисперсных частиц титана при высоких дозировках (на модели *Danio rerio*). Микроэлементы в медицине. 2024;25(2):11–12. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-2-4.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нанотехнологии развиваются быстрыми темпами и тем самым создают опасность загрязнения водной среды. Установлено, что ультрадисперсные частицы (УДЧ) металлов способны вызывать у гидробионтов окислительный стресс. Например, УДЧ ZnO увеличивают токсическую нагрузку в печени костистых рыб посредством митохондриально-зависимых путей, а также индуцируют накопление липидов, низкий липолиз и активирует митофагию (Chen et al., 2022).

Ц е л ь р а б о т ы – определение биологических эффектов ультрадисперсных частиц титана при высоких дозировках в водной среде на модели *Danio rerio*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве тест-объекта использовали рыб *Danio rerio*. Ультрадисперсные частицы титана (d = 60–80 нм) получены методом электрического взрыва проводника в атмосфере аргона. В рамках исследований были сформированы 4 группы (n=15): контроль, I опытная – УДЧ Ti, доза 0,06 мг/дм³, II опытная – УДЧ Ti, доза 0,6 мг/дм³ и III опытная – УДЧ Ti, доза 6 мг/дм³. Ультрадисперсные частицы после диспергирования вводили с кормом в форме лиозолей (личинки комаров *Chironomidae*) каждые 7 суток, в контроль УДЧ Ti не добавляли. Продолжительность эксперимента – 84 суток. Активность ферментов определяли в ЦКП ФНЦ БСТ РАН (<https://цкп-бст.рф>) по стандартным методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На 14-е сутки эксперимента контакт рыб с УДЧ Ti сопровождался снижением содержания МДА во всех опытных группах по сравнению с контролем в 3–6 раза. Увеличение сроков экспозиции привело к усилению продукции МДА и, следовательно, к активизации перекисного окисления липидов. Так, на 84-е сутки в I и III группах концентрация МДА была ниже контроля в 2 раза, а во II группе находилась на одном уровне. Анализ активности ферментов антиоксидантной защиты рыб показал на 14-е сутки повышение СОД в I и II группах на 50,2 и 23,1% соответственно. В III группе, при максимальной дозе, констатировали снижение СОД на 39,4% относительно контроля. Увеличение сроков экспозиции привело к снижению СОД во всех группах по сравнению с началом эксперимента, но при этом в опытных группах СОД был выше контроля в 2,5 раза. Снижение активности

СОД к концу эксперимента вполне ожидаемо и свидетельствует об ингибировании активности фермента при хроническом воздействии УДЧ. Анализ активности каталазы показал существенное ее увеличение в течение всего срока экспозиции во всех опытных группах по сравнению с контролем, при этом к концу экспозиции была зафиксирована максимальная ее активность – выше контроля в 11–12 раз. Полученный результат можно рассматривать как адаптационно-приспособительную реакцию организма на развитие оксидативного стресса, что подтверждает токсический эффект УДЧ при высоких дозировках (Bagirov et al., 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, контакт рыб с УДЧ титана при высоких дозировках приводит к активизации системы антиоксидантной защиты организма в ответ на образование свободных радикалов. Хроническое воздействие и высокие дозы истощают антиоксидантную систему организма на фоне гиперпродукции свободных радикалов при окислительном стрессе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №23-76-10054).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Bagirov V.A., Miroshnikova E.P., Sizova E.A., et al. Intestinal Microbiocenosis Disorders in *Danio rerio* (Hamilton, 1882) and Inhibition of Protective Mechanisms under Nickel-Containing Nanoparticle-Induced Effects. *Inland Water Biology*. 2019; 12(1): 115–123.

Chen G.H., Song C.C., Zhao T., et al. Mitochondria-Dependent Oxidative Stress Mediates ZnO Nanoparticle (ZnO NP)-Induced Mitophagy and Lipotoxicity in Freshwater Teleost Fish. *Environ Sci Technol*. 2022; 56(4): 2407–2420.

PROOXIDANT EFFECT OF ULTRAFINE TITANIUM PARTICLES AT HIGH DOSES (ON THE MODEL OF *DANIO RERIO*)

A.E. Arinzhanov¹, E.P. Miroshnikova¹, Y.V. Kilyakova¹, M.S. Arinzhanova²

¹ Orenburg State University,
13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, Russian Federation

² Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences,
9 Yanvarya St. 29, Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. The paper presents the results of studies of the prooxidant effect of titanium ultradisperse particles (UDP) at high dosages (0.06–6 mg/dm³). *Danio rerio* fish were used as a test subject. On the 14th day of the experiment a decrease in malonic dialdehyde (MDA) content was observed. Increasing the exposure time resulted in increased MDA production, as well as a decrease in superoxide dismutase (SOD) activity in all groups compared to the beginning of the experiment, but at the same time in the experimental groups SOD was higher than the control by 2.5 times. Analysis of catalase activity showed its significant increase during the whole period of exposure in all experimental groups compared to the control, and at the end of the experiment the maximum activity of catalase was recorded, which can be considered as an adaptive response of the organism to the development of oxidative stress, which confirms the toxic effect of UDP Ti at high doses.

KEYWORDS: titanium, ultrafine particles, toxicity.