БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ ЯК МАРКЕРИ ТОКСИЧНОЇ ДІЇ СПОЛУК ФЕРУМУ

Дружук Анна Миколаївна
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Ферум (Fe) належить до найпоширеніших хімічних елементів земної кори та є важливим біогенним мікроелементом, необхідним для функціонування водних екосистем. Він бере участь у процесах клітинного дихання, фотосинтезу, функціонуванні ферментативних систем та підтриманні окисно-відновної рівноваги в організмі [1, 4]. Водночас підвищення вмісту іонів феруму у

природних водоймах може супроводжуватися змінами фізико-хімічних характеристик водного середовища, порушеннями метаболічних процесів гідробіонтів і негативним впливом на функціонування водних угруповань. До основних антропогенних джерел його надходження належать промислові та комунально-побутові стічні води, гірничодобувна діяльність і сільськогосподарський поверхневий стік. Особливу екологічну небезпеку становлять шахтні води, збагачені розчиненими сполуками Феруму [1].

У природних водах Ферум представлений переважно сполуками двовалентного Fe(II) та тривалентного Fe(III), співвідношення між якими залежить від pH, концентрації розчиненого кисню та окисно-відновного потенціалу середовища. За дефіциту кисню та відновних умов переважають розчинні форми Fe(II), тоді як в аерованих водах відбувається їх окиснення до Fe(III) з подальшим утворенням малорозчинних гідроксидів та оксигідроксидів, які можуть осідати у складі донних відкладів. На хімічну форму та біодоступність Феруму також впливає вміст розчиненої органічної речовини, здатної утворювати з ним комплексні сполуки. Отже, екологічна дія цього елемента визначається не лише його загальною концентрацією, а й формами знаходження та фізико-хімічними характеристиками водного середовища. За надлишкового надходження Феруму до організму його участь в окисно-відновних реакціях може сприяти утворенню активних форм кисню, розвитку окиснювального стресу та пошкодженню клітинних структур, зокрема ліпідів, протеїнів і нуклеїнових кислот [3, 4].

Одним із можливих механізмів несприятливої дії сполук Феруму є утворення малорозчинних осадів гідроксидів та оксигідроксидів, які можуть накопичуватися на поверхні зябер та інших контактних структур водних організмів. Це здатне ускладнювати газообмін і порушувати процеси дихання. Результати досліджень токсичної дії Феруму на представників різних трофічних рівнів, зокрема зелені водорості Raphidocelis subcapitata, ракоподібних Ceriodaphnia dubia та риб Pimephales promelas, свідчать про залежність його токсичності від концентрації металу та фізико-хімічних характеристик води. Зокрема, важливе значення має вміст розчиненого органічного вуглецю, який впливає на комплексоутворення та біодоступність Феруму [3].

Особливу увагу привертає вплив сполук Феруму на донних мешканців водойм, зокрема прісноводних молюсків, які безпосередньо контактують із водним середовищем і донними відкладами та можуть зазнавати впливу як розчинених, так і завислих форм металу. Надлишкове надходження Феруму до організму здатне впливати на інтенсивність окисно-відновних процесів, функціонування антиоксидантної системи та стан клітинних мембран. Важливим показником метаболічної відповіді молюсків на дію металу є стан ліпідного обміну, оскільки ліпіди виконують структурну, енергетичну та регуляторну функції. Визначення вмісту загальних ліпідів та окремих їхніх груп, зокрема триацилгліцеролів, фосфоліпідів, неетерифікованих жирних кислот і холестеролу, дає змогу охарактеризувати зміни резервного ліпідного пулу та структурних компонентів клітинних мембран за дії металу.

Ключовим аспектом аналізу екотоксикологічної дії іонів Феруму на водні екосистеми є застосування біохімічних індикаторів прісноводних молюсків. Саме вони відзначаються властивістю акумулювати метали в тканинах та відповідати на коливання хімічного складу водного середовища на клітинному й молекулярному рівнях. До найбільш змістовних біомаркерів належать активність антиоксидантних ензимів – супероксиддисмутази, каталази та глутатіон-S-трансферази, а також рівень відновленого глутатіону й показників перекисного окиснення ліпідів, зокрема малонового діальдегіду [2]. Коливання цих параметрів дозволяють визначити ступінь окисного стресу та стан захисних систем організму в умовах впливу металевого забруднення.

Важливе значення Ферум має і для перебігу біогеохімічних процесів у водних екосистемах. Сполуки Fe(III), що входять до складу донних відкладів, здатні зв'язувати фосфати, обмежуючи їх надходження у водну товщу. За дефіциту кисню та розвитку відновних умов відбувається відновне розчинення сполук Феруму(III), що може супроводжуватися вивільненням раніше зв’язаного фосфору у водне середовище. Такі процеси впливають на внутрішній кругообіг фосфору, його доступність для первинних продуцентів та інтенсивність біологічних процесів у водоймах [4].

Отже, екотоксикологічний вплив Феруму на гідробіонтів визначається не лише його концентрацією у водному середовищі, а й хімічними формами, біодоступністю та фізико-хімічними характеристиками водойм. Надлишкове надходження сполук Феруму може спричиняти порушення окисно-відновної рівноваги клітин, функціонування антиоксидантної системи та обміну речовин водних організмів. У зв’язку з цим перспективним напрямом досліджень є встановлення особливостей змін біохімічних показників прісноводних молюсків за дії різних концентрацій іонів Феруму, що дасть змогу охарактеризувати характер їхньої метаболічної відповіді на дію металу та поглибити уявлення про біохімічні механізми його екотоксичної дії.

Список використаних джерел

1. Рабченюк О. О., Хоменчук В. О., Курант В. З. Ферум у водних екосистемах: форми знаходження, біологічне значення та токсичність для риб. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2016. № 3–4 (67). С. 107–119.
2. Carriquiriborde P., Handy R. D., Davies S. J. Physiological modulation of iron metabolism in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed low and high iron diets. Journal of Experimental Biology. 2004. Vol. 207, is. 1. P. 75–86.
3. Geng Q., Guo F. Derivation of a freshwater quality benchmark and an ecological risk assessment of ferric iron in China. Toxics. 2025. Vol. 13, is. 6. Article 475.
4. Gurzau E. S., Neagu C., Gurzau A. E. Essential metals – case study on iron. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2003. Vol. 56, is. 1. P. 190–200.