

БІОХІМІЯ

УДК (574.64:546.56)+581.526.3

О. О. ПАСІЧНА, Л. О. ГОРБАТЮК, М. О. ПЛАТОНОВ, О. О. ГОДЛІВСЬКА

Інститут гідробіології НАН України
пр-т Героїв Сталінграду, 12, Київ, 04210

ФОТОСИНТЕЗ І ДИХАННЯ *NAJAS GUADALUPENSIS* (SPRENG.) MAGNUS ЗА КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ ЙОНІВ МІДІ (II) ТА МАНГАНУ (II) ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Встановлено закономірності окремої та сумісної дії йонів міді (II) та мангану (II) у концентраціях, що відповідають їх величинам у природних водах, на фотосинтез і дихання занурених макрофітів *Najas guadalupensis* (Spreng.) Magnus.

Показано зменшення токсичної дії суміші йонів міді і мангану у концентрації 2–5 мкг/дм³ Cu²⁺ і 20–50 мкг/дм³ Mn²⁺ на газообмінні процеси *Najas guadalupensis* порівняно з впливом окремих йонів металів, що є наслідком їх антагонізму при акумуляції рослинами. За комбінованого впливу йонів міді і мангану у високих концентраціях (10–20 мкг/дм³ Cu²⁺ і 100–200 мкг/дм³ Mn²⁺) посилюється їх токсичність для фотосинтезу і дихання *Najas guadalupensis*, що пов'язано з накопиченням значної кількості металів у рослинах.

Висока чутливість газообмінних процесів *Najas guadalupensis* до дії Cu²⁺ і Mn²⁺ дає можливість рекомендувати застосування цього виду макрофітів як тест-об'єкту, а фотосинтез і дихання – як тест-функцій при біотестуванні вод, забруднених важкими металами.

Ключові слова: занурені макрофіти, водне середовище, мідь, манган, фотосинтез, дихання, акумуляція

Відомо, що до головних фізіологічних функцій, які забезпечують життєдіяльність водяних рослин, належать фотосинтез, дихання, поглинання біогенних елементів [14]. Ці процеси також є основою участі водяних макрофітів у формуванні первинної продукції і якості води [2, 5]. За наявності в оточуючому середовищі різних макро- і мікроелементів їх взаємовплив відбувається вже на стадії надходження в рослинні клітини. У літературних джерелах можна знайти приклади взаємодії одно- і двовалентних йонів металів при поглинанні їх рослинами [19, 20, 3, 12], однак, такі відомості часто є суперечливими. Так, деякі автори показують антагонізм йонів міді та мангану [6], інші – синергізм [10]. У зв'язку з цим нами було досліджено окремий та сумісний вплив йонів міді (II) та мангану (II) на фотосинтез, дихання та накопичення металів представником занурених макрофітів *Najas guadalupensis*.

Матеріал і методи досліджень

Об'єктами досліджень були занурені вищі водяні рослини *Najas guadalupensis* (Spreng.) Magnus (різуха гваделупська), які культивувались в лабораторних умовах, оскільки на Україні цей вид у природі не зустрічається.

З метою стандартизації умов проведення дослідів водяні рослини вирощували на розведеному в 20 разів середовищі Успенського № 1 [2, 8]. В такій модифікації концентрації біогенних елементів знижуються до середнього рівня, характерного для природних вод. При цьому їх співвідношення залишається збалансованим, оптимальним для росту і розвитку рослин.

При проведенні експериментальних досліджень молоді пагони *N. guadalupensis* поміщали в скляні акваріуми з водним середовищем (як при вирощуванні, але без додавання фосфатів і карбонатів, з якими йони металів утворюють нерозчинні солі, та мікроелементів згідно з методикою проведення токсикологічних досліджень [16]), приготовленим на основі відстояної водопровідної води з розрахунку: 2 г сирової маси : 3 дм³ води. У водне середовище додавали мідь (CuSO₄·5H₂O) у концентрації 0,5, 2, 5, 10 і 20 мкг/дм³ (за йонами Cu²⁺) і манган (MnSO₄·5H₂O) – 5, 20, 50, 100 і 200 мкг/дм³ (за йонами Mn²⁺) окремо і сумісно. Ці концентрації йонів металів у воді відповідають 0,5, 2, 5, 10 і 20 рибогосподарським ГДК (ГДК Cu²⁺ = 1 мкг/дм³, ГДК Mn²⁺ = 10 мкг/дм³ [1]) і реально зустрічаються у водоймах України [5]. Фоновий вміст міді у воді становив 0,14±0,05 мкг/дм³, мангану – 0,24±0,02 мкг/дм³. Макрофіти перебували в умовах освітлення лампами денного світла протягом 14 год/добу, а тривалість експериментів становила 14 діб (зі зміною розчину на сьому добу [4]). Середньодобова температура води становила 20±2°C. рН середовища вимірювали за допомогою йономіра ЭВ-74. Контрольними були макрофіти, витримані в ідентичних умовах, проте без додавання Cu²⁺ і Mn²⁺.

При дослідженні сумісної дії йонів міді і мангану на *N. guadalupensis* у водне середовище додавали йони металів у наступних комбінаціях: 0,5 мкг/дм³ Cu²⁺ + 5 мкг/дм³ Mn²⁺; 2 мкг/дм³ Cu²⁺ + 20 мкг/дм³ Mn²⁺; 5 мкг/дм³ Cu²⁺ + 50 мкг/дм³ Mn²⁺; 10 мкг/дм³ Cu²⁺ + 100 мкг/дм³ Mn²⁺; 20 мкг/дм³ Cu²⁺ + 200 мкг/дм³ Mn²⁺.

Інтенсивність фотосинтезу і темного дихання *N. guadalupensis* визначали полярографічним (амперометричним) методом [7].

Для встановлення рівня накопичення міді та мангану у *N. guadalupensis* після закінчення експозиції рослинний матеріал промивали дистильованою водою і 0,02 М розчином ЕДТА (для видалення адсорбованих на поверхні металів), потім озоляли концентрованою азотною кислотою при нагріванні [11]. Вміст міді і мангану в озолому матеріалі визначали на атомно-адсорбційному спектрофотометрі ААС-3 (Німеччина). Кількість акумульованих водоростями металів розраховували в мікрограмах на 1 г сухої маси рослин.

Всі досліді проводили у чотирьох-п'яти повторностях. Одержані дані оброблені статистично з використанням спеціальних комп'ютерних програм.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати вивчення впливу йонів міді і мангану на газообмін *N. guadalupensis* показали, що за окремого і сумісного надходження у водне середовище 0,5 мкг/дм³ Cu²⁺ і 5 мкг/дм³ Mn²⁺ через 14 діб інтенсивність фотосинтезу *N. guadalupensis* зростає порівняно з контролем. В цьому випадку за дії 0,5 мкг/дм³ Cu²⁺ + 5 мкг/дм³ Mn²⁺ кількість виділеного у процесі фотосинтезу O₂ у *N. guadalupensis* збільшується на 55,7% порівняно з контролем, тобто більше, ніж за окремого впливу 0,5 мкг/дм³ Cu²⁺ (на 23,9%) і 5 мкг/дм³ Mn²⁺ (на 15,5%) (рис. 1, а), що пов'язано, очевидно, зі збільшенням накопичення металів із суміші (рис. 2).

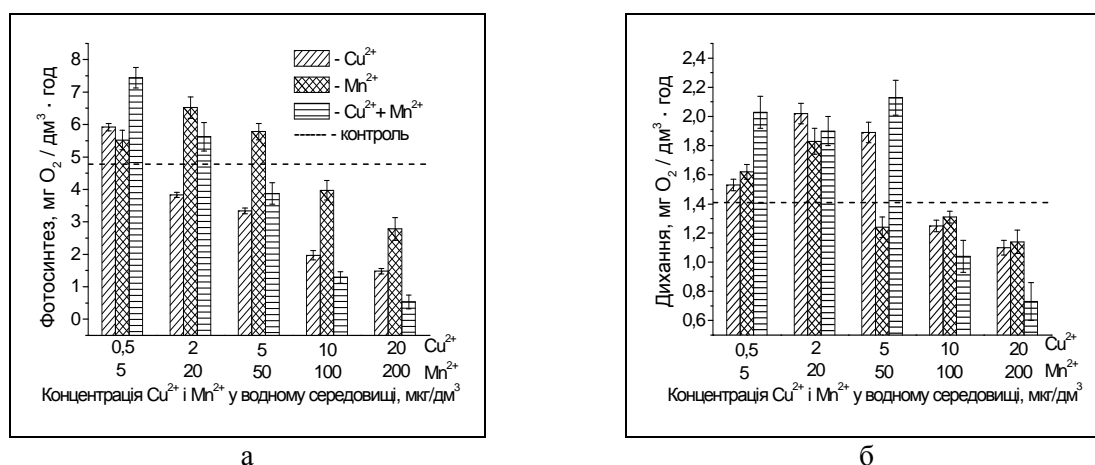


Рис. 1. Інтенсивність фотосинтезу (а) та дихання (б) *Najas guadalupensis* за окремої та сумісної дії Cu²⁺ і Mn²⁺ водного середовища (M±m; n=4–5)

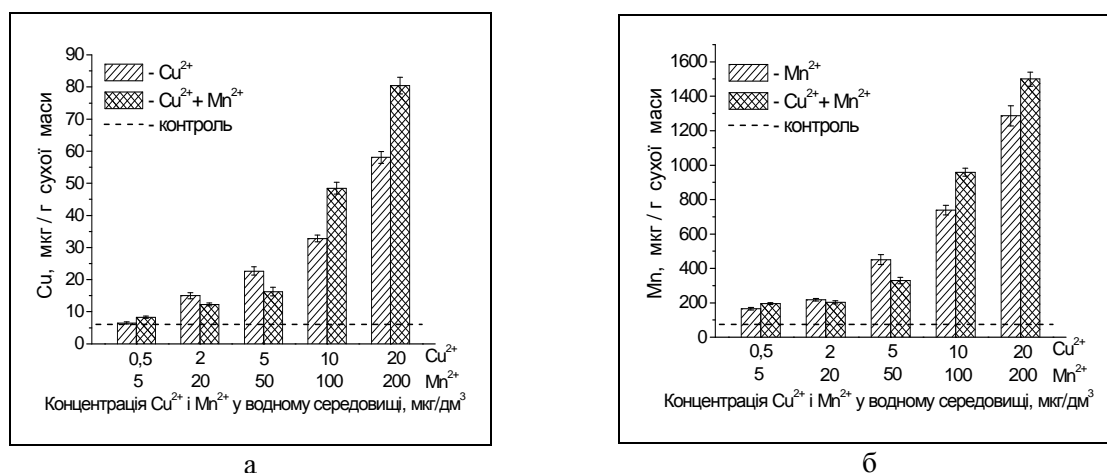


Рис. 2. Вміст міді (а) і мангану (б) у *Najas guadalupensis* за окремої та сумісної дії Cu^{2+} і Mn^{2+} водного середовища ($M \pm m$; $n=4-5$)

На рис. 1, а показано, що за дії $2 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ протягом 14-ти діб відбувається пригнічення фотосинтезу у *N. guadalupensis* на 19,9% порівняно з контролем; за впливу $20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ інтенсивність фотосинтезу зростає на 36,4%. Водночас за сумісної дії $2 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і $20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ спостерігається активація процесу виділення кисню у *N. guadalupensis* на 17,5% порівняно з контролем. При сумісному додаванні у водне середовище $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і $50 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ інтенсивність фотосинтезу *N. guadalupensis* зменшується на 19,1% порівняно з контрольним рівнем, тобто менше, ніж за окремої дії $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$.

Інтенсивність дихання у *N. guadalupensis* найбільше зростає при надходженні у водне середовище $0,5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ (на 43,8% порівняно з контролем) та $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 50 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ (на 51,3%) (рис. 1, б). В першому випадку також зростає й інтенсивність фотосинтезу та підвищується величина відношення *фотосинтез/дихання* (Φ/D), а у другому – стимуляція дихання супроводжується пригніченням процесу виділення кисню і, відповідно, зниженням величини Φ/D , що свідчить про активацію механізмів захисту від енергетичних втрат, які виникають в результаті пригнічення фотосинтезу.

Таким чином, результати досліджень свідчать про те, що сумісний вплив $2 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ і $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 50 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ є менш токсичним для газообміну *N. guadalupensis* порівняно з дією окремих металів у відповідних концентраціях і призводить до зниження вмісту акумуляованих *N. guadalupensis* міді і мангану, тобто виявляється їх антагонізм (рис. 2). Антагонізм іонів металів при їх накопиченні рослинами може бути пов'язаний з тим, що двовалентні форми міді та мангану мають близький за розміром радіус іонів [17] і при певних концентраціях металів у водному середовищі виявляється конкурентний характер спорідненості переносників до іонів [9].

За комбінованої дії $10 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 100 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ та $20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 200 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ на *N. guadalupensis* відбувається значне пригнічення інтенсивності фотосинтезу (на 73,0–88,9% порівняно з контролем) і дихання (на 26,6–48,2%), тобто більше, ніж за дії окремих іонів Cu^{2+} і Mn^{2+} у відповідних концентраціях (рис. 1). В цьому випадку сумісне надходження у водне середовище іонів міді і мангану призводить також до значного зростання їх накопичення у *N. guadalupensis* (рис. 2), можливо, внаслідок дезорганізації транспорту іонів у клітини внаслідок пошкоджень структури клітинних оболонок, викликаних довготривалою дією високих концентрацій Cu^{2+} і Mn^{2+} .

Таким чином, наслідки комбінованого впливу іонів міді і мангану на *N. guadalupensis* залежали від їх концентраційних співвідношень. Так, при сумісному надходженні у водне середовище низьких концентрацій іонів металів ($0,5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$) у *N. guadalupensis* зростає як інтенсивність фотосинтезу і дихання, так і накопичення міді і мангану у тканинах порівняно з дією окремих металів. Очевидно, що при малих кількостях

мікроелементів у водному середовищі відбувається їх активне поглинання *N. guadalupensis* у зв'язку з тим, що Cu^{2+} і Mn^{2+} необхідні для здійснення багатьох фізіолого-біохімічних процесів [15]. Це підтверджується і роботою [13], в якій висловлюється припущення, що накопичення мікрокількостей міді в рослинах суттєво активує метаболізм і сприяє як підвищеному накопиченню інших елементів, так і збільшенню детоксифікаційних можливостей рослинного організму. Водночас за окремої і сумісної дії високих концентрацій йонів металів ($10\text{--}20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і $100\text{--}200 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$) відбувається пригнічення інтенсивності фотосинтезу і дихання *N. guadalupensis*, що супроводжується накопиченням значної кількості металів у рослинах. При цьому за сумісного надходження у водне середовище йонів металів у вказаних концентраціях вміст міді у *N. guadalupensis* досягає $49\text{--}81 \text{ мкг/г}$ сухої маси, вміст мангану – $958\text{--}1500 \text{ мкг/г}$ сухої маси. Причиною цього може бути, згідно [18], порушення структури клітинних мембран, дезорганізація Na^+/K^+ обміну, зменшення доступності АТФ, що призводить до неконтрольованого проникнення йонів металів усередину клітин. У літературних джерелах зустрічаються відомості про такі процеси у наземних рослин, коли при 3 і $5 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ у поживному розчині відбувається посилене накопичення інших хімічних елементів дроком красильним внаслідок дезорганізації процесу їх акумуляції [12].

Висновки

За окремого і сумісного впливу $0,5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ та $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ на *Najas guadalupensis* зростає інтенсивність фотосинтезу і дихання порівняно з контрольним варіантом (найбільше – за комбінованої дії $0,5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$).

Пригнічення інтенсивності фотосинтезу в *Najas guadalupensis* відбувається при концентрації Cu^{2+} у водному середовищі $2\text{--}20 \text{ мкг/дм}^3$ і Mn^{2+} – $100\text{--}200 \text{ мкг/дм}^3$, а також при сумісному впливі йонів металів у концентраціях: $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 50 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$, $10 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 100 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ і $20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 200 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$. Інтенсивність дихання у *Najas guadalupensis* вірогідно зменшується за окремої дії $10\text{--}20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і $200 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ та сумісного впливу $10 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 100 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ і $20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 200 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$. Таким чином, результати досліджень свідчать про те, що зниження інтенсивності фотосинтезу у *Najas guadalupensis* відбувається при менших концентраціях йонів міді і мангану у водному середовищі, ніж дихання. За дії $2\text{--}5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і сумісного впливу $5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+} + 50 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ поряд зі зниженням інтенсивності фотосинтезу у *Najas guadalupensis* відбувається активація дихання – адаптивний процес, спрямований на нормалізацію енергетичного забезпечення рослинного організму.

Виявлено зменшення токсичної дії сумішей йонів міді і мангану у концентраціях $2\text{--}5 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ та $20\text{--}50 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$ на газообмінні функції *Najas guadalupensis* порівняно з впливом окремих йонів металів, що є наслідком антагонізму при їх акумуляції.

При сумісному надходженні у водне середовище Cu^{2+} і Mn^{2+} у високих концентраціях ($10\text{--}20 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Cu}^{2+}$ і $100\text{--}200 \text{ мкг/дм}^3 \text{ Mn}^{2+}$) посилюється токсична дія металів на фотосинтез і дихання *Najas guadalupensis* порівняно з окремим впливом Cu^{2+} і Mn^{2+} , що пов'язано, очевидно, з накопиченням значної кількості міді і мангану у рослинах.

Висока чутливість газообмінних процесів *N. guadalupensis* до дії Cu^{2+} і Mn^{2+} дає можливість рекомендувати застосування цього виду макрофітів як тест-об'єкту, а фотосинтез і дихання – як тест-функцій при біотестуванні вод, забруднених важкими металами.

1. Алтунин В. С. Контроль качества воды (справочник) / В. С. Алтунин, Т. М. Белавцева. — М.: Колос, 1993. — 368 с.
2. Величко И. М. Экологическая физиология зеленых нитчатых водоростей / И. М. Величко. — К.: Наук. думка, 1982. — 198 с.
3. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений / В. Б. Ильин. — Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1985. — 129 с.
4. Король В. М. Проведение токсикологических исследований на высших водных растениях / В. М. Король // Методы биотестирования водной среды. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. — С. 34—40.
5. Линник П. Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 270 с.

6. Любимов М. В. Экспериментальное изучение поглощения ионов некоторых тяжелых металлов листьями взморника (*Zostera marina* L.) / [Любимов М. В., Гавриленко Е. Е., Золотухина Е. Ю., Бурдин К. С.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. — 1988. — № 4. — С. 36—42.
7. Мережко А. И. Биотестирование токсичности водной среды по функциональным характеристикам макрофитов / Мережко А. И., Пасичная Е. А., Пасичный А. П. // Гидробиол. журн. — 1996. — Т. 32, № 1. — С. 87—94.
8. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / [Л. А. Сиренко, А. И. Сакевич, Л. Ф. Осипов и др.]. — К.: Наук. думка, 1975. — 247 с.
9. Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях / [Рудакова Э. В., Каракис К. Д., Сидоршина Т. Н. и др.]. — К.: Наук. думка, 1987. — 184 с.
10. Мур Д. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния: Пер. с. англ. / Д. Мур, С. Рамамурти. — М.: Мир, 1987. — 288 с.
11. Никаноров А. М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / Никаноров А. М., Жулидов А. В., Покаржевский А. Д. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 143 с.
12. Растения в экстремальных условиях минерального питания: Эколого-физиологические исследования / Под ред. М. Я. Школьника, Н. В. Алексеевой-Поповой. — Л.: Наука (Ленинградское отделение), 1983. — 176 с.
13. Тропин И. В. Взаимовлияние ионов металлов при их совместном накоплении во фракциях талломов бурых водорослей (*Laminariales*) / И. В. Тропин, Е. Ю. Золотухина // Изв. РАН. Сер. биол. — 1995. — № 4. — С. 455—461.
14. Физиология растений / [Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др.]. — Москва: "Academia", 2005. — 640 с.
15. Физиология растительных организмов и роль металлов / Под ред. Н. М. Чернавской. — Москва: Изд-во МГУ, 1989. — 157 с.
16. Хоботьев В. Г. Вопросы стандартизации методик при проведении токсикологических исследований по водной токсикологии / В. Г. Хоботьев // Методики биологических исследований по водной токсикологии. — М.: Наука, 1971. — С. 7—13.
17. Ince N.H. Assessment of toxic interactions of heavy metals in binary mixtures: A statistical approach / [Ince N.H., Dirilgen N., Apikyan I.G. et al] // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 1999. — Vol. 36, N 4. — P. 365—372.
18. Juing W. Reciprocal effect of Cu, Cd, Zn on a kind of marine alga / Juing W., Manping Zh., Jigui Xu, Yi W. // Wat. Res. — 1995. — Vol. 29, N 1. — P. 209—214.
19. Montvydiene D. Assessment of toxic interactions of heavy metals in a multicomponent mixture using *Lepidium sativum* and *Spirodela polyrrhiza* / Montvydiene D., Marciulioniene D. // Environ. Toxicol. — 2004. — Vol. 19, N 4. — P. 351—358.
20. Pii Y. Shoot ionome to predict the synergism and antagonism between nutrients as affected by substrate and physiological status / Pii Y., Cesco S., Mimmo T. // Plant Physiology and Biochemistry. — 2015. — Vol. 94, September. — P. 48—56.

Е. А. Пасичная, Л. О. Горбатюк, М. О. Платонов, О. О. Годлевська

Институт гидробиологии НАН Украины

ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ *NAJAS GUADALUPENSIS* (SPRENG.) MAGNUS ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ МЕДИ (II) И МАРГАНЦА (II) ВОДНОЙ СРЕДЫ

Установлены закономерности отдельного и совместного влияния ионов меди (II) и марганца (II) в концентрациях, которые соответствуют их уровням в природных водах, на фотосинтез и дыхание погруженных макрофитов *Najas guadalupensis* (Spreng.) Magnus.

Показано уменьшение токсического воздействия смеси ионов меди и марганца в концентрации 2–5 мкг/дм³ Cu²⁺ и 20–50 мкг/дм³ Mn²⁺ на газообменные процессы *Najas guadalupensis* по сравнению с влиянием отдельных ионов металлов вследствие их антагонизма при аккумуляции растениями. При комбинированном воздействии значительных концентраций ионов меди и марганца (10–20 мкг/дм³ Cu²⁺ и 100–200 мкг/дм³ Mn²⁺) увеличивается их токсичность для фотосинтеза и дыхания *Najas guadalupensis*, что обусловлено накоплением значительного количества металлов в растениях.

Высокая чувствительность газообменных процессов *Najas guadalupensis* к влиянию Cu²⁺ и Mn²⁺ дает возможность рекомендовать применение данного вида макрофитов как тест-объекта,

а фотосинтез и дыхание – как тест-функций при биотестировании вод, загрязненных тяжелыми металлами.

Ключевые слова: погруженные макрофиты, водная среда, медь, марганец, фотосинтез, дыхание, аккумуляция

O. O. Pasichna, L. O. Gorbatyuk, M. O. Platonov, O. O. Godlevska

Institute of Hidrobiology of NAS of Ukraine

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF *NAJAS GUADALUPENSIS* (SPRENG.) MAGNUS UNDER COMBINED INFLUENCE OF COPPER (II) AND MANGANESE (II) IONS OF THE AQUATIC

The regularities of the separate and combined influence of copper (II) and manganese (II) ions at concentrations that correspond to their levels in natural habitats on photosynthesis and respiration of the submersed macrophyte *Najas guadalupensis* (Spreng.) Magnus have been established.

In the study of combined influence of copper and manganese ions on *Najas guadalupensis* these ions were added to the aquatic environment in such combinations of their concentrations: 0,5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} ; 2 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} ; 5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} ; 10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 100 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} ; 20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 200 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} .

The analysis of the impact of copper and manganese ions on gas exchange functions of *Najas guadalupensis* has demonstrated that both individual and combined additions of 0,5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} and 5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} in 14 days of experiment leads to the increased intensity of photosynthesis of *Najas guadalupensis* compared with the control data. In this case, under the action of 0,5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} the intensity of photosynthesis of *Najas guadalupensis* has increased by 55.7% as compared with the control. Such an increase is more pronounced than at the individual exposure of 0,5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} (23.9% compared with the control) and 5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} (15.5%) and due to the increase of accumulation of copper and manganese ions from their mixture. It is obvious that with small amounts of these metals in the water environment their absorption by *Najas guadalupensis* is conditioned by the fact that Cu^{2+} and Mn^{2+} are necessary for the plants to function properly.

Reduction of toxic impact of Cu^{2+} and Mn^{2+} mixture in concentrations 2-5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} and 20-50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} on gas exchange functions of *Najas guadalupensis* as compared to the effect of their individual ions in these concentrations is showed. It is caused by antagonism of copper and manganese ions in the process of their accumulation by the plants that may be associated with similar radius size of divalent forms of copper and manganese ions. It further leads to competitive activity of ions when they are accumulated by plants.

It was established that the combined effect of certain concentrations of copper and manganese ions (10-20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} and 100-200 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+}) leads to an increase of their toxic impact to photosynthesis and respiration of *Najas guadalupensis*.

In this case, the combined addition of copper and manganese ions to the aquatic environment also leads to a significant increase of their accumulation by *Najas guadalupensis*, perhaps due to the disruption in the cellular ions transport because of damage in the structure of cell membranes caused by long-term effect of high concentrations of Cu^{2+} and Mn^{2+} . Thus, with combined addition of the ions in the above mentioned concentrations, the amount of copper in *Najas guadalupensis* reaches 49-81 $\mu\text{g Cu} / (\text{g of dry weight})$ and that of manganese – 958-1500 $\mu\text{g Mn} / (\text{g of dry weight})$.

The intensity of photosynthesis of *Najas guadalupensis* decreases when the concentration of Cu^{2+} in water environment is 2-20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ and Mn^{2+} – 100-200 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, as well as under the combined influence of the ions in concentrations of 5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 50 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} , 10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 100 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} and 20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 200 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} . The intensity of respiration of *Najas guadalupensis* decreases significantly as a result of individual action 10-20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} and 200 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} and under the joint influence of 10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 100 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} and 20 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+} + 200 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Mn^{2+} . Thus, the results of the research demonstrate that the intensity of photosynthesis of *Najas guadalupensis* gets reduced at lower concentrations of copper and manganese ions in the water environment in comparison to the intensity of respiration. Individual action of 2-5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ Cu^{2+}

and combined influence of $5 \mu\text{g}/\text{dm}^3 \text{Cu}^{2+} + 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3 \text{Mn}^{2+}$ leads to the decrease of the intensity of photosynthesis of *Najas guadalupensis* together with the activation of respiration – adaptive process aimed at normalizing energy supply of plant organism.

The high sensitivity of gas exchange processes of *Najas guadalupensis* to the influence of Cu^{2+} and Mn^{2+} makes it possible to recommend the use of this species as an object for testing and photosynthesis and respiration for biotesting of water contaminated with heavy metals.

Key words: submersed macrophytes, aquatic environment, habitat, copper, manganese, photosynthesis, respiration, accumulation

Рекомендує до друку

Надійшла 19.05.2016

В. В. Грубінко

УДК 577.1

¹М. І. ХАРІВ, ¹Б. В. ГУТИЙ, ²О. І. ВІЩУР, ³І. Є. СОЛОВОДЗІНСЬКА

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького вул. Пекарська, 50, Львів–10, 79010

²Інститут біології тварин НААН України

вул. В. Стуса, 38, Львів, 79034

³Львівський національний аграрний університет

вул. В. Великого, 1, Дубляни, Жовківський район, Львівська обл., 80381

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ПЕЧІНКИ У ЩУРІВ ЗА УМОВ ОКСИДАЦІЙНОГО СТРЕСУ ТА ДІЇ ЛІПОСОМАЛЬНОГО ПРЕПАРАТУ

Наведено результати досліджень впливу розробленого комплексного ліпосомального препарату на функціональний стан печінки, а саме: динаміку показників активності амінотрансфераз організму щурів, протеїнсинтезувальної функції печінки (рівня загального білку та його фракцій), білірубину загального, сечовини та креатиніну за умов змодельованого оксидативного стресу, викликаного застосуванням тетрахлорметану. Показано, що внутрішньом'язеве введення щурам дослідних груп 50% тетрахлоретану дозою 0,25 мл на 100 г маси тіла тварини, спричиняє напруження захисних систем організму і призводить до порушення функціонального стану печінки. Про це свідчить підвищення проникності клітинних оболонок гепатоцитів та мітохондріальних мембран, що спричиняє зростання активності амінотрансфераз у сироватці крові впродовж усього періоду досліджень. При цьому пригніченою залишалася протеїнсинтезувальна функція печінки. Зафіксовано зменшення вмісту загального білка, особливо, його фракції – альбумінів на 18 %. Водночас на високому рівні залишалися показники рівня креатиніну, сечовини та білірубину загального. Для нормалізації функціонального стану печінки за оксидативного стресу доцільно застосовувати ліпосомальний препарат, який у своєму складі містить бутафосфан, інтерферон, розторопшу плямисту та вітаміни. При застосуванні ліпосомального препарату щурам, за умов оксидативного стресу, у крові нормалізується активність ензимів переамінування (АсАТ і АлАТ сироватки крові), білоксинтезувальна функція печінки, показників креатиніну сечовини та білірубину загального. На 14-ту добу досліду показники, що характеризують функціональний стан печінки знаходилися у межах фізіологічних величин, що вказує на нормалізацію проникності клітинних оболонок гепатоцитів та мітохондріальних мембран, протеїнсинтезувальної функції печінки за умов оксидативного стресу та за дії ліпосомального препарату.