

аналізувати власні навчальні досягнення та недоліки.

Список літератури

1. Буринська Н.М. Хімія: Методи розв'язування задач / Н.М.Буринська К.: Либідь, 2005. 80 с.
2. Гладюк М.М. Дидактичні матеріали з хімії. 9 клас / М.М. Гладюк. Тернопіль: Підручники і посібники, 2013. 96 с.
3. Староста В.І. Методика розв'язування та складання дидактичних завдань з хімії. Навч.-метод. посібник / В.І. Староста. Ужгород, 2015. 127 с.
4. Хімія. Програма для 7-9 класів ЗНЗ. Електронний ресурс // <https://osvita.ua/school/program/program-5-9/56133>

УДК [502/504:582.232]:615

**ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИХ  
ЦІАНОБАКТЕРІЙ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ**

**Осипенко І.О., Сорока О.В., Ракочий А. Б., Боднар О.І.,  
Горин О.І.**

Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка

E-mail: [horynoi@tnpu.edu.ua](mailto:horynoi@tnpu.edu.ua)

Синьо-зелені водорості (Ціанобактерії) – група грамнегативних одноклітинних колоніальних та нитчастих прокариотів, що здатні до фотосинтезу та азотфіксації. Їх неконтрольоване розмноження може викликати «цвітіння води», яке виникає при порушенні балансу екосистеми та характеризується активною вегетацією одного чи кількох видів водоростей, які населяють товщу води. Період збільшення біомаси ціанобактерій закінчується масовим відмиранням клітин і подальшим викидом внутрішньоклітинних токсинів у воду.

Ціанотоксини – це біологічно-активні продукти вторинного метаболізму синьо-зелених водоростей, які стійкі до біологічної та хімічної деградації та здатні акумулюватися в харчовому ланцюзі. Найпоширенішими з них є нейротоксини та гепатотоксини.

В Україні при контролі якості води аналіз на присутність та

ступінь біобезпеки ціанотоксинів зазвичай не проводиться.

Тому метою пропонованого дослідження стало створення способу виявлення потенційно токсичних синьо-зелених водоростей у водних екосистемах на основі визначення показників окисного стресу, цито- та нейротоксичності у гепатоцитах та клітинах мозку коропових риб. З метою експрес-діагностики дослідження проводили на ізольованих клітинах печінки та мозку коропа, що дозволяє в максимально короткі терміни оцінити біобезпеку досліджуваних ціанотоксинів. Відтак, в ізольованих клітинах печінки коропа визначали маркери оксидативного стресу (рівень ТБК-АП та карбонільних похідних протеїнів), генотоксичності (фрагментація ДНК), що характеризує рівень молекулярних ушкоджень та індукується окисним стресом, та нейротоксичності (холінестеразна активність).

Ізольовані гепатоцити або зразок 10% гомогенату тканини мозку *Cyprinus carpio* інкубували протягом 24 годин у присутності концентрату води з досліджуваних водойм або розчинами досліджуваних ціанотоксинів (перед початком дослідження зразки води упарювали у термостаті при температурі 37°C до 10-тикратного зменшення об'єму). Після того в зразках визначали вміст продуктів окисної деструкції протеїнів, перекисного окиснення ліпідів, фрагментацію ДНК (у гепатоцитах) та холінестеразну активність (у 10% гомогенаті тканини мозку). На основі порівняння одержаних значень з контрольними, оцінювали рівень біобезпеки ціанотоксинів у досліджуваних зразках та класифікували відповідь індикаторного організму як: «*норма*» (епізодичне забруднення води у межах детоксикаційної здатності організму або секрети синьо-зелених водоростей нетоксичні) – варіабельність значень показників у межах 15%; «*передстресовий стан*» (адаптивна реакція на пошкоджуючий вплив) – варіабельність значень щонайменше двох показників в межах  $\pm 20$ –40%; «*стрес*» (адаптивна реакція на пошкоджуючий вплив) – варіабельність значень двох показників більш ніж  $\pm 40$ %; стандартна прогнозована реакція показників на токсичний вплив; «*перевищення адаптивного потенціалу*» (реакція на стрес на межі виснаження) – варіабельність значень щонайменше трьох показників більш ніж

±40%; розбалансування та/або нестандартна реакція показників на токсичний вплив.

Реалізація запропонованого способу проілюстрована на прикладі визначення ступеня токсичності продуктів метаболізму синьо-зелених водоростей, відібраних з прісних водойм України і Польщі у серпні-вересні 2017р.

Результати здійснення запропонованого способу показують, що штами *R. raciborskii*, які зустрічаються в Західній Польщі та Західній Україні, представляють потенційний токсикологічний ризик для коропових риб *C. carpio* незважаючи на відсутність у складі їх біологічно-активних секретів відомих ціанотоксинів [1, 2]. Можливість поширення цього штаму в європейських водах і поява його в рибних ставках створює нагальну необхідність в впровадженні ранніх заходів моніторингу для зниження потенційного ефекту *R. raciborskii* для вищих хребетних та людини.

Запропоновані у дослідженні показники відповідають результатам, отриманим з використанням клітин ссавців [3, 4], які свідчать про те, що європейський штам екстрактів *R. raciborskii* містить сполуки, що виявляють токсичність *in vitro*. З використанням експериментальної моделі молюсків було продемонстровано, що штами виділені з озера Балатон в Угорщині, виробляють неідентифіковані нейротоксичні метаболіти, які викликають анатоксиноподібні реакції, модулюючи ацетилхолінові рецептори (AChR) нейронів [5]. Також було продемонстровано, що екстракти штамів *R. raciborskii* виділені із водойм Західної Польщі, викликали значне збільшення холінергичної активності у гомогенатах мозку коропа. Очевидно, досліджувані екстракти ізольованих штамів *R. raciborskii* можуть містити сполуки, які можуть призвести до порушення холінергічного гомеостазу та потенційно можуть призводити до швидкої деградації ацетилхоліну та подальшої регуляції ацетилхолінових рецепторів, що викликає негативний вплив на когнітивну функцію [6]. Відтак, ми показали що штами з польських водойм продукують нейротоксичні біологічно-активні сполуки та можуть становити нейротоксичну загрозу для людини. Слід зазначити, що в даному дослідженні холінергична активність модулювалася при

концентрації екстракту 0,1%. Очевидно, штами *R. raciborskii* можуть змінювати діяльність центральної нервової системи риби, якщо їх метаболіт(и) проходять через гематоенцефалічний бар'єр.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє кількісно і якісно оцінити ступінь токсичності метаболітів синьо-зелених водоростей, спрогнозувати їх ефект для живих організмів загалом та органів-мішеней зокрема. Цей метод визначення токсичного впливу ціанотоксинів для вищих хребетних та людини може бути реалізований як за умов *in vitro*, так й *in vivo*, і застосований як у практиці екологічного моніторингу, так і в експериментальному дослідженні токсичності синтетичних аналогів альготоксинів та визначенні ступеня ефективності антидотів до них.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України (№ 2020.02/0270) та Міністерства освіти і науки (№ МВ-2).

#### Список літератури

1. Falfushynska H., Horyn O., Fedoruk O., Khoma V., Rzymiski P. Difference in biochemical markers in the gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) upstream and downstream of the hydropower plant. *Environmental Pollution*. 2019. 255: 113213.
2. Wejnerowski L., Falfushynska H., Horyn O. et al. In Vitro Toxicological Screening of Stable and Senescing Cultures of *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, and *Raphidiopsis*. *Toxins* (Basel). 2020. 12(6): 400. <https://doi.org/10.3390/toxins12060400>
3. Poniedzialek B., Rzymiski P., Karczewski J. The role of the enzymatic antioxidant system in *Cylindrospermopsis*-induced toxicity in human lymphocytes. *Toxicol. Vit.* 2015. Vol. 29. 926–932.
4. Rzymiski P., Poniedzialek B., Mankiewicz-Boczek J., et al. Polyphasic toxicological screening of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon gracile* isolated in Poland. *Algal Res.* 2017. 24. 72–80.
5. Vehovszky A., Kovacs A.W., Farkas A., Szabo H., Vasas G. Pharmacological studies confirm neurotoxic metabolite(s)

produced by the bloom-forming *Cylindrospermopsis raciborskii* in Hungary. *Environ. Toxicol.* 2015. 30. 501–512.

6. Soreq H., Seidman S. Acetylcholinesterase – New roles for an old actor. *Nat. Rev. Neurosci.* 2001. 2. 294–302.

**УДК 372.08**

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ДОШКИ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ ПРЕДМЕТІВ ПРИРОДНИЧОЇ ГАЛУЗІ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ**

**Перун Г.Ф., Жирська Г.Я.**

Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка

E-mail: [afperun@gmail.com](mailto:afperun@gmail.com), [gyrska@chem-bio.com.ua](mailto:gyrska@chem-bio.com.ua)

Завдяки стрімкому розвитку технологічного процесу змінюються вимоги до навчання учнів в сучасних школах. Технічні засоби навчання все більше завойовують освітній простір. Сучасний вчитель повинен врахувати те, що методика викладання природничих дисциплін вимагає модернізації з урахуванням застосування інноваційних досягнень в технічній галузі. Тому вкрай важливо оцінити всі переваги та можливості застосування інтерактивних дощок в освітньому процесі. Зважаючи на це велика увага має приділятися міжпредметним зв'язкам та різним формам навчання на інтерактивній основі, а уроки повинні бути наповнені практичною діяльністю учнів [1].

Завдяки шкільній реформі на засадах концепції «Нова українська школа», змінюються не лише концепції та стандарти освіти, а й повністю змінюється освітнє середовище, що в свою чергу зумовлює неодмінне оновлення матеріально-технічної бази школи [2]. Реформування освіти, окрім іншого, передбачає встановлення сучасних технічних приладів у кожному класі, наприклад мультимедійного проектора чи інтерактивної дошки, що дає можливість проведення уроків на вищому методичному рівні та забезпечує успішне формування знанневого, діяльнісного та ціннісного компонентів ключових та предметних компетентностей учнів.

Метою нашого дослідження було виявити вплив