

УДК 547.567 : 581.526.3 (582.261.27 : 581.143)

Усенко О.М.

Інститут гідробіології НАН України, Київ

ХІНОНИ ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИН ЯК РЕГУЛЯТОР РОСТУ ПЛАНКТОННИХ ВОДОРОСТЕЙ

Ключові слова: вищі водяні рослини, хінони, феноли, культури водоростей, відносна швидкість росту

Вступ. Глобальні масштаби евтрофування континентальних водойм і як наслідок масовий розвиток в них синьозелених водоростей (ціанобактерій, ціанопрокаріотів) є однією з причин виникнення так званого "біологічного забруднення" і пов'язаного з ним погіршення якості поверхневих вод. В цих випадках погіршуються показники якості питної води: виникають специфічні запахи та присмаки, збільшується концентрація розчинених органічних сполук, серед яких можуть знаходитись й шкідливі біологічно активні метаболіти (аміни, альготоксини, алкалоїди, нітрозаміни, індоли, феноли, хінони тощо) [7].

У процесі життєдіяльності водяних рослин, а також після розпаду їх органічних структур у воду виділяються різноманітні речовини, в тому числі ті, що характеризуються високою біологічною активністю. Вони здатні стимулювати або гальмувати фізіологічні процеси гідробіонтів і тим самим поряд з іншими екологічними чинниками, впливати на формування біоценозів.

Хінони – циклічні дикетони, в молекулах яких кетогрупи входять в систему сполучених подвійних зв'язків. Інколи хінони розглядають, як оксипохідні ненасичених циклічних вуглеводнів; в основі *п*-бензохінону лежить $\Delta^{1,4}$ -циклогексадієн, в основі *о*-бензохінону – $\Delta^{1,3}$ -циклогексадієн. Але у зв'язку з близькістю їх до ароматичних сполук розглядають разом з фенольними сполуками. Найбільш поширені у природі бензохінони, нафтохінони і антрахінони. Бензохінони існують у вигляді 2 ізомерів (*о*-хінону і *п*-хінону). *О*-хінон утворюється в результаті окислення паракатехіну, *п*-хінон – гідрохінону. Також при окисленні гідрохінону в *п*-хінон може утворюватись проміжний продукт хінгідрон який має темно-зелений колір.

Відомо, що одна з найважливіших функцій фенольних сполук це участь в окисно-відновних процесах. Варто відмітити, що якраз хінони окислюють триптофан з утворенням стимулятора росту – β -індолуксусної кислоти. Похідні фенольних сполук у вигляді убіхінонів являються переносниками водню (електрона) і в нормальному дихальному ланцюзі локалізовані в мітохондріях. Подібні до убіхінонів пластохінони – компоненти електронтранспортного ланцюгу хлоропластів. На відміну від водорозчинних фенольних сполук убіхінони і пластохінони не накопичуються в тканинах рослин у великих кількостях [3].

Визволення фенолів і появу хінонів треба розглядати і в плані „токсинів руйнування” хімічних сполук, які створюють опосередковану дію руйнівних чинників. Послідуюче відмирання клітин і органів, не торкається зовнішніх впливів і тому розвивається при його усуненні. Виникнення хінонів слід чекати при звільненні фенольних сполук не тільки з вакуолей, але і з любых інших структурних

утворень, що загрожують контакту фенольних сполук та їх ферментів, а також при послабленні ізольованих синтезованих фенолів [8].

Ціллю нашої роботи було встановлення вмісту хінонів у клітинах ВВР, процесах накопичення фенолів і хінонів в місцях їх зростання, а також їх вплив на функціональну активність планктонних водоростей.

Матеріал і методика досліджень. Об'єктом досліджень були вищі водянні рослини, відібрані в р. Дніпро (в районі Собаче гирло) і оз. Вербне. Дослідження проводили з представниками різних екологічних груп макрофітів: повітряно-водних – *Sagittaria sagittifolia* L. (стрілолист стрілолистий), *Sparganium erectum* L. (їжача голівка пряма), *Phragmites communis* Trin. (очерет звичайний), *Typha angustifolia* L. (рогоз вузьколистий), *Scirpus lacustris* L. (комиш озерний); занурених – *Potamogeton perfoliatus* L. (рдесник пронизанолистий) і *Ceratophyllum demersum* L. (Кушир занурений); з плаваючим листям – *Trapa natans* L. (водяний горіх), *Nuphar lutea* (L.) Smith (глечики жовті) і *Salvinia natans* (L.) All. (сальвінія плаваюча). Для встановлення функціональної активності використовували альгологічно чисті культури синьозелених (*Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. HPDP-6, *Anabaena* sp. PCC 7120 P9 Wolk USA.) і зелених (*Acutodesmus dimorphus* (Turp.) Tsar. Meyen IBASU-A251, *Chlorella vulgaris* Beijer. CCAP-211/11b) водоростей.

Водорості вирощували на середовищі Фітцджеральда в модифікації А. Цендера й П. Горема №11 [4] при температурі 22–25°C і висвітленні лампами денного світла з інтенсивністю 4 клк (періодичністю світло/темрява – 16/8).

Відносну швидкість росту водоростей (μ) визначали згідно [5]:

$$\mu = \frac{1}{x} \times \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

де x – початкова біомаса водоростей; dx – приріст біомаси водоростей через певний час; dt – час росту культур.

Вміст загальних хінонів [2] досліджували в стеблах і листках вищих водяних рослин, а також феноли [1] і хінони у воді в їх заростях. Для встановлення дії на відносну швидкість росту водоростей використовували хімічно чисті речовини (*p*-бензохінон, *o*-бензохінон, *p*-нафтохінон і хлораніл (тетрахлор-*p*-бензохінон).

Результати досліджень та їх обговорення. В результаті проведених досліджень було встановлено, що кількість хінонів у клітинах вищих водяних рослин менша (рис. 1) по відношенню до загальних фенолів [10].

Ці величини в деяких випадках навіть менші по відношенню до фенолкарбонових кислот. Найбільша їх кількість була встановлена у *Sagittaria sagittifolia* і складала 1,40 мг/г, у *Sparganium emersum* – 1,07 мг/г, *Potamogeton perfoliatus* – 1,00 мг/г. Найменша була у *Typha angustifolia* L. – 0,10 мг/г, кількість хінонів у інших коливалась у межах 0,30–0,75 мг/г. Закономірностей в їх накопиченні у ВВР не спостерігалось, що ймовірно пов'язано з їх видоспецифічністю.

Попередні наші дослідження показали, що хінони у великій кількості в клітинах не накопичуються у зв'язку з високою біологічною активністю. Тому, за допомогою процесів фосфорилування перетворюються у феноли і виділяються в навколишнє середовище [6]. Для встановлення цих закономірностей ми провели дослідження по вмісту їх у водному середовищі (рис. 2).

Отримані результати вказують, на більшу кількість хінонів у воді чим фенолів. Ці величини різні і залежать від активної реакції середовища в місцях зростання вищих водяних рослин рН=6,45–8,55.

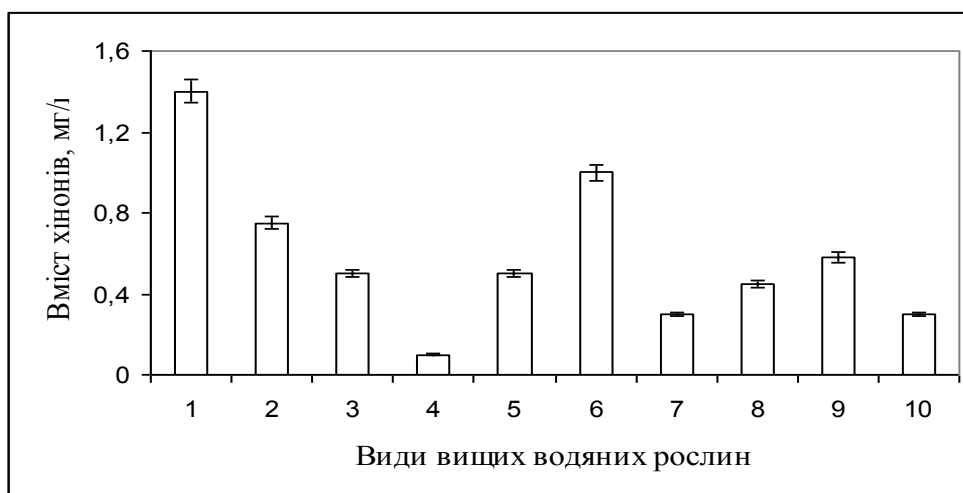


Рис. 1. Вміст хінонів у деяких видів вищих водяних рослин:

1 – *Sagittaria sagittifolia*, 2 – *Sparganium erectum*, 3 – *Phragmites communis*, 4 – *Typha angustifolia*, 5 – *Scirpus lacustris*, 6 – *Potamogeton perfoliatus*, 7 – *Ceratophyllum demersum*, 8 – *Trapa natans*, 9 – *Nuphar lutea*, 10 – *Salvinia natans*.

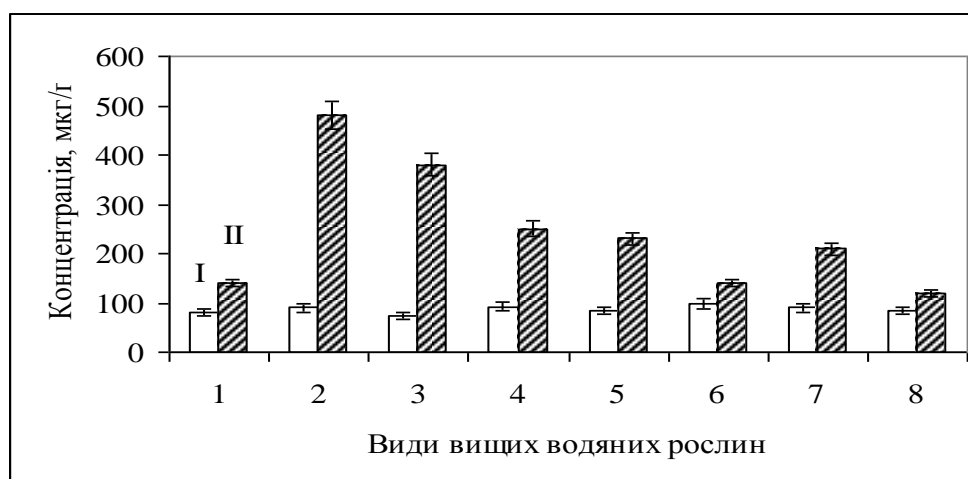


Рис. 2. Вміст фенолів (I) і хінонів (II) в заростях вищих водяних рослин:

1 – чистовод, 2 – *Trapa natans* + *Salvinia natans* + *Ceratophyllum demersum*, 3 – *Sagittaria sagittifolia*, 4 – *Nuphar lutea*, 5 – *Scirpus lacustris* + *Potamogeton perfoliatus*, 6 – *Typha angustifolia*, 7 – *Phragmites communis*, 8 – *Sparganium emersum* + *Hydrocharis morsus-ranae*

Такі закономірності спостерігали у присутності елодеї, водопериці і куширу де концентрація фенолів у воді зменшувалась швидше чим у досліді без рослин. Що вказує на інтенсивне поглинання їх рослинами. Водяні рослини (елодея і валіснерія) значно прискорюють розклад *o*-бензохінону за рахунок взаємодії компонентів рослинних клітин з хінонами, частково з їх сульфгідрильними групами [8].

У зв'язку з тим, що в середовищах внаслідок окислення фенолів утворюються більш активні хінони [7], були проведені дослідження впливу саме цих сполук на швидкість наростання біомаси деяких видів культур водоростей. Із хінонів були використані продукти окислення гідрохінону – *p*-бензохінон, пірокатехіну – *o*-бензохінон, а також *p*-нафтохінон і хлораніл в концентраціях 0,5 і 1,0 мг/дм³. Внесення цих хінонів в культуральне середовище викликало зміни відносної швидкості росту як синьозелених, так і зелених водоростей (рис. 3).

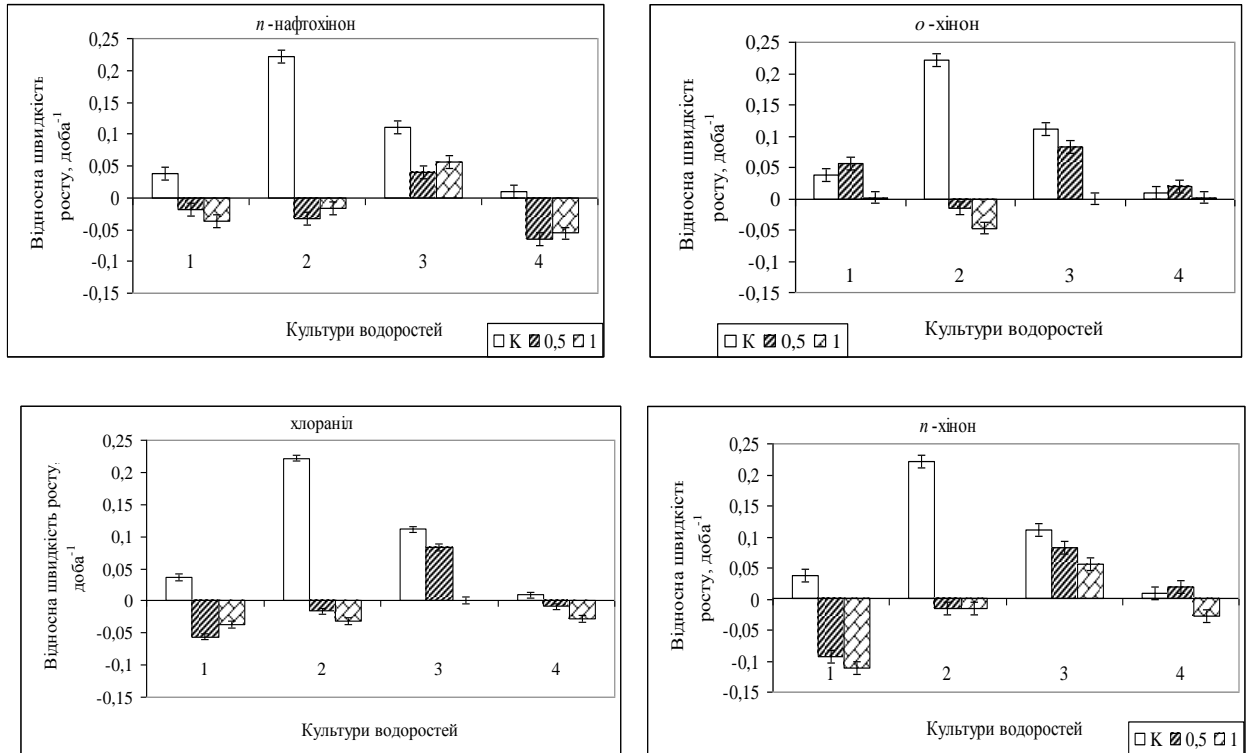


Рис. 3. Вплив екзогенних п-нафтохінону, п- і о-бензохінону й хлоранілу при концентраціях 0,5 і 1,0 мг/дм³ на ріст деяких видів синьозелених и зелених водоростей: 1 – *Microcystis aeruginosa*; 2 – *Anabaena sp.*; 3 – *Chlorella vulgaris*; 4 – *Acutodesmus dimorphus*

Проведені експериментальні дослідження на прикладі культур водоростей, що відносяться до різних систематичних груп, показали, що їхня резистентність до хінонів не однакова у представників різних таксономічних й екологічних груп.

Отримані результати показали, що найбільше пригнічення при концентрації п-бензохінону 1,0 мг/дм³ було у культур *Microcystis aeruginosa* й *Anabaena sp.*, що приводило до відмирання клітин. Інгибування росту біомаси культур зелених водоростей спостерігалось тільки в *Acutodesmus dimorphus* при концентрації п-бензохінону 1,0 мг/дм³, тому що при 0,5 мг/дм³ була стимуляція. Збільшення концентрації в середовищі 0,5–1,0 мг/дм³ п-бензохінону найменше пригнічувало ріст біомаси зеленої водорості *Chlorella vulgaris* і становило 0,083 й 0,056 добу⁻¹ відповідно.

Додавання в культуральне середовище п-нафтохінону і хлоранілу призводило до відмирання не тільки планктонних синьозелених водоростей *Microcystis aeruginosa* і *Anabaena sp.*, але й зеленої водорості *Acutodesmus dimorphus*. При цьому пригнічення п-нафтохіноном зеленої водорості *Chlorella vulgaris* було не таке істотне й становило 0,039 й 0,056 добу⁻¹ відповідно. Крім того при концентрації 1,0 мг/дм³ хлоранілу спостерігалось відмирання не тільки *Acutodesmus dimorphus*, а й *Chlorella vulgaris*. Найменше пригнічення спостерігалось у о-бензохінону, коли концентрація 0,5 мг/дм³ призводила навіть до стимулювання синьозеленої водорості *Microcystis aeruginosa*.

Таким чином, внесення в середовище 1,0 мг/дм³ *п*-бензохінону, *п*-нафтохінону і хлоранілу сприяло збільшенню відмирання планктонних синьозелених водоростей більш інтенсивно, ніж у контрольних варіантах. При цьому можна зробити висновок, що найбільш активним із цих речовин є хлораніл і *п*-нафтохінон, які здатні впливати не тільки на планктонні синьозелені водорості, але й зелені.

Найбільш чутливими до цих окислених фенолів виявилися культури планктонних синьозелених водоростей *Microcystis aeruginosa* й *Anabaena* sp. Більш стійкі до цієї речовини зелені водорості *Acutodesmus dimorphus* й *Chlorella vulgaris*. Де крім слизових речовин, здатних захищати клітини водоростей від впливу несприятливих зовнішніх умов, цю функцію можуть виконувати речовини, що концентруються на поверхні клітинних мембран [9].

Кількість хінонів у рослинах збільшується і за рахунок попадання їх з водного середовища в залежності від активної реакції середовища. Тому в залежності від кількості заростей вищої водної рослинності збільшується і вміст хінонів у воді, який напряду залежить від виду рослини, а також захисних властивостей в результаті механічних пошкоджень [7].

Вивчення складних взаємовідношень між вищими водними рослинами і водоростями при їх спільному зростанні притягує все більшу увагу дослідників, що найкраще характеризує наукову і практичну актуальність цієї проблеми. Розкриття невідомих ще сторінок взаємодії цих груп рослин стає новим резервом підвищення продуктивності природних ценозів і покращення якості води.

Висновки. Біологічне та хімічне окислення фенолів до хінонів характерне не лише для вищих водних рослин і водоростей, воно має місце і в природних водоймах, де вода здебільшого має лужну реакцію. При цьому концентрації фенолів, що впливають на функціональну активність водоростей можуть бути порівняно низькими, але в комплексі із хінонами вони здатні гальмувати або стимулювати фізіологічні процеси окремих груп фітопланктону. В свою чергу найбільш активними хінонами по відношенню до водоростей являються хлораніл і *п*-нафтохінон, які при концентрації більше 0,5 мг/дм³ можуть пригнічувати не тільки синьозелені, а й зелені водорості. До того ж, залежно від величини рН, спостерігається не лише окислення фенолів до хінонів, а й зворотна реакція – відновлення хінонів до фенолів.

Список літератури

1. Гродзинський А. М. Накопичення фенолів в ґрунті польового ценозу / А. М. Гродзинський, Л. С. Середюк, Л. І. Крупа // Доп. АН УРСР. – 1981. – Сер. Б, № 10. – С. 64–67.
2. Коренман И. М. Фотометрический анализ. Методы определения органических соединений. / И. М. Коренман – М.: Химия, 1975. – 360 с.
3. Кретович В. Л. Биохимия растений. / В. Л. Кретович – М.: Высшая школа, 1980. – 447 с.
4. Сиренко Л. А. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л. А. Сиренко, А. И. Сакевич, Л. Ф. Осипов и др. – Киев: Наук. думка, 1975. – 247 с.
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. / М. М. Мусієнко – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 392с.
6. Романенко В. Д. Метаболические механизмы взаимодействия высших водных растений и цианобактерий – возбудителей "цветение" воды / В. Д. Романенко, Сакевич А. И., Усенко О. М. // Гидробиол. журн. – 2005. – 41, № 3. – С. 45–57.
7. Сакевич О.Й. Апелопатія в гідроекосистемах / О. Й. Сакевич, О. М. Усенко– Київ: Логос, 2008. – 344 с.
8. Стом Д.И. Роль харовых водорослей и других водных растений в процессах деструкции фенольных соединений / Д. И. Стом, С. С. Тимофеева, Л. И. Белых и др. // Водные ресурсы. – 1978. – № 4. – С. 105–111.
9. Усенко О. М. Резистентність водоростей до біологічно активних речовин. / О. М. Усенко, О. Й. Сакевич, О. В. Баланда – Київ: Логос. 2010. – 192 с.
10. Усенко О. М. Сравнительное изучение содержания фенолов и хинонов в фитомассе

высших водных растений и среде их обитания / О. М. Усенко // Гидробиол. журн. – 2012. – 48, № 4. – С. 77–84.

Хінони вищих водяних рослин як регулятор росту планктонних водоростей

Усенко О.М.

У статті представлені дослідження вмісту хінонів у вищих водяних рослин та водному середовищі, а також їх вплив на планктонні водорості. Встановлена залежність росту водоростей від концентрації досліджених хінонів.

Ключові слова: вищі водяні рослини, культури водоростей, відносна швидкість росту, хінони.

Хиноны высших водных растений как регулятор роста планктонных водорослей

Усенко О.М.

В статье приведены исследования по содержанию хинонов у высших водных растений и водной среде, а также их влияние на планктонные водоросли. Установлена зависимость роста водорослей от концентрации исследованных хинонов.

Ключевые слова: высшие водные растения, культуры водорослей, относительная скорость роста, хиноны.

Quinones of higher aquatic plants as a regulator of planktonic algae growth

Usenko O.M.

Investigations concerning quinones content in higher aquatic plants and water as well as effect of quinones on planktonic algae are presented. Relation between algae growth and concentration of investigated quinones.

Keywords: higher aquatic plants, algal cultures, relative growth rate, quinones.

Надійшла до редколегії 02.12.2014