

*Степова О. В., д. т. н, професор, Тягній Л. М., аспірантка
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВОДОЙМ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Із часу першої світової війни, під час ведення бойових дій вперше застосовувались в великих кількостях різноманітна хімічна зброя, що сприяло до загрози забруднення та знищення всього навколишнього середовища.

Під час воєнного стану Російські загарбники використали на території північно-західної України заборонені міжнародними угодами фосфорні бомби та снаряди. Фото цього зафіксовано та оприлюднено в новинах Приірпіння ІТV [1 з посиланням на кореспондента Олега Гриба].

Під терміном хімічна зброя під час бойових дій мається на увазі хімічні речовини, як у газоподібному, так і в рідкому або твердому стані, які можуть бути застосовані через їх прямий токсичний вплив на людину, тварин і рослини. Тому не можливо захистити водні об'єкти, ґрунти, рослини, тварин та основні сільськогосподарські культури від короткострокового та довгострокового впливу дії шкідливих речовин. Для водойм небезпечною сполукою є іпірит, якій є в багатьох складах сучасної хімічної зброї.

Із часів Другої світової війни внаслідок затоплення хімічної зброї іпіритом забруднено багато водних екосистем, у тому числі Балтійське та Адріатичне море, прибережні води Японії, США, Великобританії, Австралії. Потрапляючи в довкілля, іпірит і продукти його гідролізу негативно впливають на гідробіонтів, у тому числі на мікробіоту.

Метою даної роботи є аналіз впливу продуктів гідролізу іпіриту на ріст, фотосинтетичну активність та синтез вторинних метаболітів ціанобактеріями – основними збудниками цвітіння води.

Показано, що продукти гідролізу іпіриту мають інгібуючу дію на ріст та утворення хлорофілу, а ціанобактеріями, індукують виділення в середу екзополісахаридів. У присутності низьких концентрацій продуктів гідролізу іпіриту, що стимулюють зростання токсигенної ціанобактерії *Microcystis aeruginosa*, спостерігається збільшення вмісту мікроцистину-LR.

Іпірит – отруйна речовина шкірно-наривної дії, має багатосторонню вражаючу дію на всі живі організми, і насамперед на макроорганізми. Під дією іпіриту спостерігаються значні патологічні зміни в дихальних шляхах, шлунково-кишковому тракті, ураження органів зору та ін. При попаданні іпіриту в організм розвиваються симптоми загальної інтоксикації, що свідчать про універсальний характер дії, що ушкоджує, іпіриту.

Провідними є зміни з боку системи крові, нервової системи, серцево-судинної системи та обміну речовин. Крім того, виявлено мутагенну, канцерогенну та тератогенну дію іпіриту [1, 2, 5].

Хлорорганічні сполуки належать до широко поширених забруднювачів екосистем. Багато хто з них хімічно стабільні, токсичні, внаслідок чого накопичуються і тривалий час зберігаються в навколишньому середовищі, чинячи на нього негативний вплив. До таких стійких хлорорганічних сполук з підвищеною токсичністю і широким спектром дії відносяться отруйна речовина іприт – 2,2'-дихлоретилсульфід та продукти його гідролізу (ПГІ), основним з яких є тіодигліколь – 2,2'-тіодіетанол.

У водному середовищі іприт піддається гідролізу (рис. 1). Процес гідролізу відбувається повільно, тому що лімітується низькою розчинністю іпіриту.

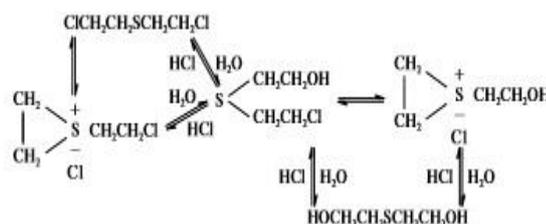


Рис. 1. Схема гідролізу іпіриту

Швидкість реакції гідролізу іпіриту сповільнюється у присутності іонів хлору, тому в морській воді швидкість гідролізу знижується в 2,5-4 рази порівняно з прісною водою [3, 7]. У середовищі, що містить галогени, гідроліз іпіриту йде з утворенням продуктів, не тільки перешкоджають його подальшому розчиненню, але й вступають у взаємодію з іпіритом і між собою, утворюючи ряд токсичних сульфонієвих сполук, що в кілька разів перевищують за токсичністю сам іприт [5].

Потрапляючи в навколишнє середовище, іприт і ПГІ негативно впливає на гідробіонтів. Введення у воду спиртово-водного розчину іпіриту в концентраціях від 1.73 до 26.2 мг/л призводить до загибелі 50% ікри тритонів, жаби зеленої та жаби озерної [6]. Китайські вчені встановили, що контамінація морської води іпіритом у концентрації 50-750 мг/л за 1 годину призводить до загибелі досліджених риб, а колір представників зелених та бурих водоростей змінюється через кілька хвилин після контакту з іпіритом [5, 6]. За дослідженнями багатьох відомих дослідників щодо впливу ПГІ на гідробіоніку показали, що 50% загибелі молюсків настає при вмісті ксенобіотиків 4,42-40,47 г/л за 96-102 години. Аналогічний ефект досягається за 80-92 години при впливі ПГІ у концентраціях 1,81 та 4,4 г/л на земноводних – жабу озерну та жабу зелену відповідно. Найбільша чутливість відмічена у раку річкового – 50%, загибель особин спостерігалася менш як за 2 години при концентрації 0,2 г ПГІ/л [5].

Іспирит і продукти його гідролізу викликають морфологічні та ультраструктурні зміни в клітинах мікроорганізмів, збільшують проникність їх клітинних оболонок, а також, володіючи шкідливою дією на дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК), негативно впливають на генетичний апарат [1, 3]. Забруднення річкової води іспиритом та його похідними викликає суттєві зміни бактеріоценозів, що виявляється у збільшенні показників домінування видів, зниженні показників подібності, видової різноманітності та вирівняності бактеріального співтовариства. Зниження рівня видової різноманітності річкового бактеріопланктону свідчить про зниження стійкості біосистеми загалом [6, 7]. Продукти гідролізу іспириту надають інгібуючу дію на утворення водних мікроорганізмів. При цьому представники фітопланктону – ціанобактерії – більш чутливі до продуктів гідролізу іспириту порівняно з бактеріальними культурами. Однак інформація про вплив ППГ на фізіолого-біохімічні властивості ціанобактерій, що є первинними продуцентами водних екосистем і мають унікальні здібності протистояти різного роду стресовим впливам як природного, так і антропогенного походження, у доступній літературі відсутня.

Методом дослідження вибрана ціанобактерія в рідкому середовищі BG-11, що містить ППГ у кількості (за хлорорганічними сполуками (ХОС)) від 0,3 до 20 мг/л [8].

За результатом аналізу у разі стресу, викликаного дією ППГ, у ціанобактерій поруч із інгібуванням зросту знижується вміст хлорофілу а. Слід зазначити, що процес утворення хлорофілу а ціанобактеріями *Aphanizomenon flos-aquae*, *Nodularia sputigena*, *Microcystis aeruginosa* відрізняється більшою чутливістю до дії суміші ППГ, ніж зростання культур. Концентрації, відповідні NOEC і EC50 для хлорофілу а, були нижчими за такі для зростання в 1,8-3 та 1,8-2,4 рази. У випадку ж ціанобактерії *Trichormus variabilis* не виявлено суттєвих відмінностей у токсичності суміші ППГ для зростання та утворення хлорофілу. Продуктивність біомаси ціанобактерій за екзополісахаридами та концентрація екзополісахаридів у середовищі (мг глю/л) в умовах інгібування зростання на 50% зростають на 148-180% та 27-36% відповідно в порівнянні з контрольними значеннями залежно від виду ціанобактерій.

За ступенем чутливості утворення хлорофілу до ППГ ціанобактерії можна розташувати в порядку: *Microcystis aeruginosa* > *Nodularia sputigena* > *Aphanizomenon flos-aquae* > *Trichormus variabilis*. Різна чутливість синтезу хлорофілу а залежно від виду ціанобактерій раніше спостерігалася і щодо інших полютантів як неорганічної, так і органічної природи [8].

Підвищений синтез мікробних полісахаридів істотно впливає на формування якості води у водоймах, тому що вони впливають на вуглецевий цикл і мікробну різноманітність, служать субстратом для живлення інших

мікроорганізмів, розвиток яких, з одного боку, важливий для процесів самоочищення, з іншого – посилює біологічне та хімічне забруднення води за рахунок клітин мікроорганізмів та їх метаболітів [9].

Зазначимо, що в низькій концентрації 0,3 мг/л (по ХОС) продукти гідролізу іпіриту надавали стимулюючу дію на ріст токсигенного штаму *Microcystis aeruginosa* 973. У присутності низьких доз ППГ приріст біомаси ціанобактерії перевищував контрольні значення на 25%. В умовах стимулювання зростання ціанобактерії *Microcystis aeruginosa* 973 продуктивність біомаси мікроцистином-LR залишалася на рівні контрольних значень, однак загальна кількість токсину в одиниці об'єму культуральної рідини зростала на 39%. Зі збільшенням концентрації ППГ в середовищі (до 5,5 мг ХОС/л) відбувалося інгібування зростання культури на 50%, зниження продуктивності біомаси мікроцистином-LR на 68% і зменшення його концентрації в середовищі на 84%.

Висновок. Іпірит і продукти його гідролізу істотно впливають на масові види ціанобактерій. У ході проведених досліджень виявлено, що продукти гідролізу іпіриту надають токсичну дію на ріст і синтез хлорофілу а всіма дослідженими культурами ціанобактерій. Токсигенний штам ціанобактерій *Microcystis aeruginosa* 973 у разі стимулювання зростання низькими концентраціями ППГ накопичує в середовищі підвищену кількість мікроцистину-LR. Інгібування росту *Microcystis aeruginosa* супроводжувалося зниженням синтезу та екскреції токсину в середу. В умовах стресу, викликаного впливом на ціанобактерії продуктів гідролізу іпіриту, відбувається підвищений синтез та виділення в середу таких протекторних сполук, як полісахариди. Підвищене виділення таких метаболітів, як полісахариди та ціанотоксини є серйозним негативним наслідком забруднення водних об'єктів продуктами гідролізу іпіриту.

Використані інформаційні джерела:

1. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р.С.. *Основи загальної екології*. К. : Либідь, 1993. 303 с.
2. Гончар О. М. *Основи екологічної токсикології*. Чернівці. К. : Рута, 2005. 51 с.
3. *Медичні аспекти хімічної зброї : навчальний посібник для слухачів УВМА та студентів вищих медичних навчальних закладів*. К. : УВМА, 2003. С. 30–36, 78–86.
4. Завьялов Е. В. *Эколого-токсикологическое воздействие кожно-резорбтивных отравляющих веществ на фауну: Автореф. дис. ... канд. биол. наук*. Волгоград, 1995. 18 с.
5. Кузикова И. Л., Медведева Н. Г., Сухаревич В. И., Орлова О. Г., Рыбальченко О. В. *Влияние продуктов гидролиза иприта на микромицеты // Микология и фитопатология*. 2007. Т. 41. Вып. 3. С. 252–260.

6. *Медведева Н. Г., Поляк Ю. М., Зайцева Т. Б., Жариков Г. А. Деструкция продуктов гидролиза иприта морскими и почвенными бактериями // Известия РАН. Серия биологическая. 2012. № 1. С. 91–99.*
7. *Медведева Н. Г., Зайцева Т. Б., Кузикова И. Л., Зиновьева С. В. Оценка токсичности продуктов гидролиза иприта для водных микроорганизмов // Вода: химия и экология. 2016. № 1. С. 76–81.*
8. *Rippka R., Deruelles J., Waterbury J. B., Herdman M., Stanier R. Y. Genetic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria // J. Gen. Microbiol. 1979. Vol. 111. P. 1–61.*
9. *El-Sheekh M. M., Khairy H. M., El Shenody R. A. Algal production of extra and intra-cellular polysaccharides as an adaptive response to the toxin crude extract of *Microcystis aeruginosa* // Iran. J. Environ. Health. Sci. Health. 2012. Vol. 9. № 1. Article number B 10.*