

РОЗДІЛ 4

БІОХІМІЯ І МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ

УДК [502/504:582.232]:615

**ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ
ТЕРБУТИЛАЗИНУ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА
ПРИКЛАДІ СМУГАСТОГО ДАНІЮ**

Горин О. І., Осипенко І. О., Боднар О. І.

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

E-mail: horynoi@tnpu.edu.ua

Важливим аспектом сучасного сільського господарства з високими урожаєми та значними монокультурними площами є інтенсивне застосування хімічних регуляторів вегетативного росту та засобів захисту рослин від шкідників і хвороб. Серед цих чинників чільне місце займають пестициди, які володіють тією рушійною силою, яка здатна змінювати не лише цільові об'єкти, а й супутньо впливати на нецільові компоненти агробіоценозів, гідроекосистем та біосфери загалом. Масове використання пестицидів у сільському господарстві призводить до значного забруднення навколишнього середовища, включно з водними екосистемами. Так, за даними Європейської фітосанітарної адміністрації тербутилазин був присутній приблизно в 65% проб води, відібраних у 2012-2017 роках, концентрації сягали від 0,1 мкг/л до 2,8 мкг/л [1, 4, 5].

Тербутилазин – триазиновий селективний системний гербіцид, що діє як інгібітор фотосинтезу, замінив атразин у більшості країн через підвищену небезпеку розвитку ендокринних порушень за дії останнього. Використовується в агрохімії кукурудзи, сорго, винограду, цитрусових, кави, картоплі, бобових і лісовому господарстві [2, 4]. Він поглинається корінням і листям та розподіляється по всій рослині, що дозволяє використовувати його як для досходової, так і для післясходової обробки. Водночас це підвищує ризик надмірного і нерегламентованого його використання, а відтак суттєвого забруднення агробіоценозів та суміжних екосистем.

Зазначимо, що офіційна інформація щодо триазинових гербіцидів вказує на їх відносну нетоксичність для водних тварин за час гострого впливу і доволі добру переносимість за тривалої дії. Вони не вважаються токсинами, які впливають на розвиток та репродукцію, а також мутагенними чи канцерогенними чинниками [1, 3]. На противагу попередній інформації, чимало досліджень впливу тербутилазину вказують про суттєві порушення у процесах розвитку, репродуктивній та ендокринній системах та підвищеній частоті онкогенезу [4, 5].

Аналіз наукових літературних джерел засвідчує несприятливі фізіологічні або біологічні ефекти за дії пестицидів з різноманітними біохімічними змінами на молекулярному, клітинному чи тканинному рівнях у водних організмах [1, 3]. Виявлення та дослідження цих біохімічних змін можна використовувати як біологічні маркери у токсикологічних дослідженнях на цільових та нецільових об'єктах. Відмітимо, що найпоширеніші біомаркери, які використовуються для оцінки негативних ефектів ксенобіотиків, пов'язані з проявами гено- і цитотоксичності, і, передусім, з окисним стресом. Хоча механізми, що лежать в основі порушень, здебільшого до кінця не з'ясовані, сукупність отриманих даних вказує на те, що пестициди, зокрема фосфо- і хлорорганічні сполуки, здатні викликати окисний стрес за дії високих, так і за дії низьких концентрацій.

З огляду на зазначене, метою нашої роботи було вивчити особливості впливу тербутилазину на прояви окисного стресу у коропоної риби *Danio rerio*. Так, дорослі риби данію піддавалися впливу відповідно низької, екологічно реальної, (ТЛ, 2,5 мкг/дм³) та високої, субтоксичної, (ТН, 25 мкг/дм³) концентрації гербіциду впродовж 14 днів.

У клітинах печінки риб були досліджені класичні біохімічні маркери окисного стресу, які відображають зміну балансу антиоксидантних та прооксидантних, а також детоксикаційних процесів: активність ензимів каталази, глутатіон-S-трансферази, глутатіонредуктази, а також кількість глутатіону та ТБК-активних продуктів.

Так, згідно отриманих даних рівень рівень продуктів перекисного окислення у тканині печінки данію пропорційно

збільшувався до кількості внесеного токсиканта у середовище, порівняно з контролем кількість ТБК-АП зросла у 2,6 рази ($p < 0,05$) за дії нижчої концентрації тербутилазину та у 5,3 рази ($p < 0,05$) за дії вищої концентрації. Варто зазначити, що одночасно спостерігалось обернено концентраційне підвищення активності каталази ($p < 0,05$) в обох дослідних групах порівняно з контролем. Це підтверджує доволі високі адаптаційно-компенсаторні клітинні механізми у гепатоцитах за дії нижчих концентрацій токсикантів, тоді як вищий вміст тербутилазину у середовищі інкубування обумовлював зниження каталазної активності порівняно з першою дослідною групою, і як наслідок спостерігалось накопичення продуктів перекисного окислення. .

Відомо, що глутатіон S-трансферази – група ензимів, які каталізують нуклеофільне приєднання непротеїнового тіолу глутатіону до електрофільних молекул ксенобіотиків, включно гербіцидів та продуктів їх трансформації. Утворення глутатіонових кон'югатів здебільшого веде до зниження токсичності чужорідних сполук і полегшує виведення їх із клітин транспортними системами [2, 5]. Завдяки активності глутатіон-S-трансферази підвищується здатність клітин до детоксикації різноманітних сполук та зниження їх негативної дії на внутрішньоклітинні метаболічні та сигнальні шляхи. Результати наших досліджень показали, що активність глутатіон-S-трансферази у печінці *D. rerio* знижувалася в групі з вищою концентрацією тербутилазину на 26,5% порівняно з контролем, тоді як за дії нижчої концентрації – функціональна активність ензиму була на рівні контрольних показників. Це вказує чутливість клітин печінки та відповідно на високий ризик порушення триазиновими гербіцидами другої фази знешкодження ксенобіотиків у гепатоцитах *D. rerio*. Водночас, за дії обох варіантів впливу гербіциду порівняно з контролем спостерігали збільшення вмісту відновленого глутатіону, який корелював з активністю глутатіонредуктази. При цьому, вміст трипептиду і відповідно активність ензиму були вищими за дії вищої концентрації тербутилазину, що свідчить про включення і використання клітинами різноспрямованих захисних детоксикаційних механізмів.

Загалом, результати цього дослідження показують, що за

дії у водному середовищі як екологічно релевантних так і субтоксичних концентрацій тербутилазину, мають місце негативні ефекти щодо зміни антиоксидантного статусу в організмі *D. rerio*: зниження первинних антиокисних захисних реакцій, порушення як першої, так і другої фази знешкодження ксенобіотиків, а також ризик накопичення продуктів ПОЛ, що у свою чергу провокуватиме поглиблення окисного стресу, цито- і генотоксичні процеси. Таким чином, гербіциди несуть суттєві ризики токсичного впливу на рибу як нецільових організмів, є небезпечними джерелами забруднення навколишнього середовища і зумовлюють суттєвий пошкоджувальний вплив на живі компоненти водних екосистем, а відтак на здоров'я людини, як кінцевого споживача.

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

Список літератури:

1. Khatib I., Rychter P., Falfushynska H. Pesticide pollution: detrimental outcomes and possible mechanisms of fish exposure to common organophosphates and triazines. *J Xenobiot.* 2022. Vol. 12(3):236-265. <https://doi.org/10.3390/jox12030018>
2. Semren T. Z., Zunec S., Pizent A. Oxidative stress in triazine pesticide toxicity: A review of the main biomarker findings. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology.* 2018. Vol. 69 (2). 109–125. doi: 10.2478/aiht-2018-69-3118
3. Stepanova S., Plhalova L., Dolezelova P., et al. The effects of subchronic exposure to Terbutylazine on early developmental stages of common Carp. *The Scientific World Journal.* 2012. Vol. 212. Article ID 615920. <https://doi.org/10.1100/2012/615920>
4. Tang F. M., Lenzen M., McBratney A., Maggi F. Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nat. Geosci.* 2021. 14, 206–210 <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00712-5>
5. Velisek J., Stara A., Zuskova E. Effect of single and combination of three triazine metabolites at environmental concentrations on early life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016. Vol.

УДК [502/504:582.232]:615

**ПІДБІР І ВИКОРИСТАННЯ МОЛЕКУЛЯРНИХ МАРКЕРІВ
ДЛЯ ОЦІНКИ БІОБЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ВОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА**

Горин О. І., Сорока О. В., Ковальська Г. Б., Боднар О. І.

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

E-mail: horynoi@tnpu.edu.ua

Впродовж останніх років рівень фармацевтичних препаратів та їх похідних у навколишньому середовищі невпинно зростає, що викликає стурбованість науковців та громадськості. Так, одне з європейських агентств з навколишнього середовища (UBA), оприлюднило дані, що у Європейському водному просторі понад 156 лікарських засобів присутні у небезпечних для живих організмів, у тому числі людини, мікромолярних концентраціях: 0,1–10,0 мкг/л. Аналогічна ситуація характерна і для ціанотоксинів та пестицидів. Особливості сучасного антропогенного пресу та комплексна дія численних чинників, що реалізується на тлі змін клімату, вимагають нових підходів у виявленні та встановленні біобезпеки новітніх забруднювачів, оскільки традиційні хімічні методи не забезпечують об'єктивного бачення [<https://www.fao.org/3/cb3411en/cb3411en.pdf>].

З погляду постійних адаптивних процесів біоти до умов існування в антропогенно-трансформованих водоймах важливим є встановлення діапазону резистентності організму, а також розвиток стратегії цих компенсаторних процесів. В Україні зазначені питання є малодослідженими, тому важливими є результати, які доповнюють цю проблему актуальними даними і дозволяють оцінити як екологічну небезпеку окремих забруднювачів, так екотоксикологічну ситуацію загалом. Результати нашого комплексного дослідження забезпечили важливий крок у розумінні фізіолого-біохімічних процесів, а