

Список літератури:

1. Крижановська М. А. Генетичний аналіз на *Drosophila melanogaster*. Зошит для лабораторних робіт: методичні рекомендації. Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2016. 41 с.
2. Моссэ И., Плотникова С., Сушко С. Исследование комбинированного действия нитратов, нитритов и ионизирующей радиации на мутационный процесс у дрозофилы и мышей. *Объем и методы генотоксичной оценки и побочных эффектов биол. активн. веществ*: Тр. Всес. симп. Л., 2009. С. 67-68.
3. Arking R., Dudas S., Baker G. Genetics and environmental factors regulating the expression of an extended longevity phenotype in a long lived strains of *Drosophila*. *Genetica*, 2013. Vol. 91. P. 127-142.
4. [Bushey D., Hughes K., Tononi G., Cirelli C.](#) Sleep, aging, and lifespan in *Drosophila* *MC Neuroscience*. 2010. V. 11, is. 1. P. 56.
5. Lin Y.-J., Seroude L., Benzer S. Extended life-span and stress resistance in the *Drosophila* mutant methuselah. *Science*. 2008. Vol. 282. P. 943-946.

УДК: 597.551.2:632.95

МУЛЬТИБИОМАРКЕРНА ОЦІНКА СТРЕСОРНИХ СИСТЕМ, ЦИТОТОКСИЧНОСТІ ТА МЕТАБОЛІЧНОГО АРЕШТУ У ТКАНИНАХ ДАНІО ЗА ВПЛИВУ МАЛАТІОНУ

Сорока О.В., Німко Х. І., Сенько С.В., Бабишен Н. М., Ковальська Г. Б., Горин О.І., Фальфушинська Г.І.

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

Органофосфати належать до найбільш часто вживаних пестицидів у всьому світі. Прогнозується, що кількість пестицидів та їх метаболітів у поверхневих водах у найближчому майбутньому збільшиться через зростання обсягів їх використання, а відтак – надходження з водними стоками з

сільськогосподарських земель. Це обумовлює необхідність подальших досліджень з метою глибшого розуміння молекулярних механізмів пошкоджуючих впливів органофосфатів на нецільові організми.

У світлі потенційної здатності пестицидів викликати порушення клітинних функцій у нецільових організмів, метою пропонованої роботи стало вивчення впливу екологічно ревалентних концентрацій малатіону на системи стрес-відповідей риб. Тому у якості об'єкта дослідження було обрано смугастого данію (*Danio rerio*), як традиційну модель для експериментального дослідження ефектів, викликаних як органічними, так і неорганічними забруднювачами. Для визначення типів та ступеня проявів важкості ураження у данію за дії пестицидів, проаналізовано параметри окисного, карбонільного та нітрозативного стресів та визначені маркери порушень мітохондрій та лізосом.

Отримані результати свідчать про здатність досліджуваного фосфорорганічного пестициду обумовлювати зростання рівня набрякання мітохондрій та зменшення стійкості лізосомальних мембран у порівнянні з контролем. У випадку мітохондрій спостерігається концентраційна залежність впливу пестициду, проте суттєва різниця у стабільності лізосомальних мембран серед дослідних груп була відсутня. Припускається, що при перебуванні тварин у забрудненому органофосфатами навколишньому середовищі малатіон активує механізми, що спричиняють пошкодження лізосом у поєднанні з активацією катепсину D ($r = -0,6$, $p < 0,001$) та дестабілізацію зовнішніх мембран мітохондрій ($r = 0,45$, $p = 0,013$), що, в свою чергу, викликає загибель гепатоцитів *D. rerio*.

Дослідження ключових ензимів енергозабезпечення клітин ілюструє суттєве інгібування активності сукцинатдегідрогенази за дії малатіону (до 87,5 %) у порівнянні з контрольною групою. Активність лактатдегідрогенази у крові данію зростала залежно від концентрації. У порівнянні з відповідним контролем рівень метилгліоксалу, відновленої похідної піровиноградної кислоти, збільшувався порівняно з контролем у всіх досліджуваних групах у режимі, близькому до ЛДГ ($r = 0,57$, $p = 0,001$).

Водночас, малатіон практично не впливав на рівень

активних форм кисню у печінці *D. rerio*, проте його вища концентрація зумовлювала збільшення кількості реакційноздатних форм нітрогену у порівнянні з контролем. Примітно, що загальна антиоксидантна активність зростала лише у групі, яка піддавалася дії вищої концентрації малатіону, тоді коли в іншій цей показник був нижчим за контроль. Також, у ході дослідження показано, що малатіон у екологічно значущих концентраціях здійснює вплив на мітохондрії та лізосоми печінки данію, що обумовлено активацією апоптичних процесів та зниженням активності транспортного ланцюга електронів (зокрема комплексу II).

Вважається, що першою мішенню токсичного впливу пестицидів є мітохондрії. Очевидно що зміни функціональної активності мітохондрій, за умов токсичної дії пестицидів, пов'язані з більш високими потребами в енергії, оскільки клітини вимагають підвищених енергетичних ресурсів для адаптаційних перебудов. Морфологічні зміни мітохондрій у данію (визначені як мітохондріальний набряк) узгоджуються з виснаженням активності сукцинатдегідрогенази – складової мітохондріального електронно-транспортного ланцюга. Таким чином, фосфорорганічні пестициди викликають не тільки морфологічні, а й функціональні зміни в мітохондріях. Більш того, інгібування СДГ може сприяти генерації АФО, що спостерігалось у риб *D. rerio*, які піддавалися впливу хлорпірифосу, з подальшими порушеннями інших мітохондріальних ензимів, задіяних в електронно-транспортному ланцюзі мітохондрій [2, 4].

У процесі проведення дослідження було показано, що досліджуваній інсектицид вже в наномольному діапазоні провокує дестабілізацію лізосомальних мембран у данію без концентраційної залежності. Це підтверджує попередні висновки про несприятливий вплив деяких фосфорорганічних пестицидів на лізосоми, екстраговані клітин з безхребетних тварин та людини. Індукована апоптичною загибеллю клітин лізосомальна та мітохондріальна дисфункція може бути актуальним маркером цитотоксичності для малатіону.

Активність лактатдегідрогенази та Ca^{2+} -залежний набряк мітохондрій демонструють концентраційну залежну реакцію досліджуваного пестициду, що є необхідним критерієм для

характеристики та визначення біомаркерів. Підвищена активація ЛДГ у даному дослідженні підтверджує попередні дані стосовно зміни активності ензиму за дії фосфорорганічних пестицидів, зокрема, у зябрах *Oreochromis mossambicus*, а також у зябрах, печінці та м'язах *Clarias batrachus* [3, 5].

У підсумку ж, рівень ЛДГ у сироватці крові, у порівнянні з іншими досліджуваними показниками, найкраще відображає прямі токсичні ефекти впливу пестициду на данію. Тому оцінка цього ензиму у риб є рекомендованою для відображення ранніх змін та попередніх несприятливих наслідків дії на організми та популяції пошкоджуючих чинників.

Разом з цим, ЛДГ є традиційним маркером пошкодження тканин [2], високий рівень активності якого свідчить про серйозне пошкодження клітинних мембран, яке, у даному випадку, корелює з пошкодженням лізосом та мітохондрій. З іншого боку, доведено, що індукція ЛДГ у тканинах є верифікованим показником гліколізу, коли лактат накопичується в тканинах за умов гіпоксії [1]. У проведеному дослідженні збільшення ЛДГ відбувається на тлі реакцій, пов'язаних із процесами гіпоксії та гліколізу (зменшенням СДГ, накопиченням АФО та збільшенням рівня метилглюксалу, як побічного продукту гліколізу) у тканинах печінки *D. rerio* [1, 2].

Інші параметри, включаючи стабільність лізосомальних мембран, активність катепсину D, загальну антиоксидантну активність, кількість метилглюксалу та активних форм кисню, мають деякі обмеження у використанні в якості біомаркерів, через відсутність концентраційної залежності рівня цих показників від діючої концентрації пестицидів. Очевидно, це може бути пов'язано з процесами адаптації, які є наслідком впливу ксенобіотиків в екологічно реальних для природнього середовища концентраціях.

Подяка

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України (№ 2020.02/0270) та Міністерства освіти і науки (0120U101544).

Список літератури:

1. Falfushynska H.I., Phan T., Sokolova I.M. Long-term acclimation to different thermal regimes affects molecular responses to heat stress in a freshwater clam *Corbicula fluminea*. *Sci. Rep.* 2016. 6: 39476.
2. Farhana A., Lappin S.L. Biochemistry, Lactate Dehydrogenase. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2020. Доступ 20.08. 2021 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557536/>
3. Hamilton P.B., Rolshausen G., Webster U.M., Tyler C.R. Adaptive capabilities and fitness consequences associated with pollution exposure in fish. *Phil. Trans. R Soc. B.* 2017. 372, 1712: 20160042.
4. Turton N., Heaton R.A., Ismail F. et al. The effect of organophosphate exposure on neuronal cell coenzyme Q₁₀ status. *Neurochem. Res.* 2021. 46. P. 131–136.
5. Venkateswara R.J. Sublethal effects of an organophosphorus insecticide (RPR-II) on biochemical parameters of tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 2006. 143, 4. P. 492–498.

УДК 378.147.227

**ДО ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ
ГАЛУЗІ ПРИРОДНИЧИХ НАУК ДО ВИКОРИСТАННЯ
ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ**

Степанюк А. В., Бузько Т. В., Переймибіда Л. С.

Тернопільський національний педагогічний університет імені
Володимира Гнатюка

E-mail: alstep@tnpu.edu.ua, tania@chem-bio.com.ua, lilia@chem-bio.com.ua

Реформування освіти ХХІ ст. висуває нові вимоги до педагогічних кадрів. Вільно і активно мислячий педагог, який прогнозує результати своєї діяльності і відповідно моделює освітній процес є гарантом вирішення завдань, поставлених перед Новою українською школою. Якість педагогічних кадрів –