

картини, музика, різнокольорові картки, зображення, що відображають спектр емоцій.

Рефлексія є необхідною складовою сучасного уроку предметів природознавчої освітньої галузі. Її застосування в освітньому процесі допомагає його учасникам проаналізувати свою діяльність на уроці й зробити висновок про його результативність. В шкільній практиці є чималий арсенал методичних прийомів для здійснення усіх видів рефлексії. Проте у їхньому виборі необхідно враховувати вікові особливості школярів та їхню індивідуальну психологічну готовність до виконання певних видів роботи.

Список літератури:

1. Степанов С. Ю., Семенов Н. И. Психология рефлексии: проблемы и исследования. *Вопросы психологии*. 1985. № 3. С. 31–40.
2. Липман М. Рефлексивная модель образования, Електронний ресурс URL: <http://padaread.com/?book=103816&pg=99> (Дата звернення 12.09.2021)
3. Ковальова К. І., Богадьорова Л. М. Рефлексія як структурна одиниця уроку. *Збірник наукових праць Херсонського державного університету. Педагогічні науки*. Вип. LXXXII. Т. 1. 2018. С. 45–48.

**УДК 547.915:639.215.2**

**РОЛЬ ЛІПІДІВ МЕМБРАН ЕРИТРОЦИТІВ У АДАПТАЦІЇ  
КОРОПА ДО ДІЇ ЙОНІВ ЦИНКУ**

**<sup>2</sup>Сеник Ю.І., <sup>1</sup>Хоменчук В.О., <sup>1</sup>Мацелюх Ю.О., <sup>1</sup>Курант В.З.**

<sup>1</sup>Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка

<sup>2</sup>ПрАТ «Молокія»

E-mail: jurasenyk08@gmail.com

Індустріалізація та інтенсифікація виробництва зумовлюють перебування важких металів серед ключових полютантів водних екосистем, що обумовлено, перш за все,

їхньою стійкістю в середовищі та включенням в колообіг речовин.

Функціонально низка металів, входячи до складу живого, є регуляторами багатьох фізіологічних та біохімічних процесів, а тому відіграють важливу роль у життєдіяльності всіх організмів, у тому числі і водних тварин. Разом з тим, деякі метали, що потрапляють у гідроєкосистеми з природних та антропогенних джерел є вкрай токсичними для гідробіонтів. Проте представники обох груп металів володіють вираженою шкодочинністю в дозах, що перевищують мінімальні.

Організм гідробіонтів має здатність адаптуватись до дії іонів металів та регулювати кількість їх надходження. Одним із важливих механізмів лімітування надходження даних токсикантів до організму риб є структурна перебудова клітинних мембран [4]. Тому нами було досліджено ліпідний склад мембран еритроцитів коропа за дії іонів цинку.

Дослідження проведено на дворічках коропа (*Cyprinus caprio* L.), масою 250 – 300 г., яких утримували в акваріумах об'ємом 200 л з відстояною водопровідною водою, яку змінювали щодобово, за наступних умов: вміст  $O_2$  –  $7,5 \pm 0,5$  мг/л;  $CO_2$  –  $2,5 \pm 0,3$  мг/л; рН –  $7,8 \pm 0,1$ . У кожному акваріумі утримувалось по 5 риб. Риб під час аклімації не годували.

Вивчали вплив 0,5 та 2 рибогосподарських граничнодопустимих концентрації (ГДК) іонів цинку. Період аклімації риб становив 14 днів, що є достатнім для формування адаптивної відповіді на дію стрес-чинника.

Для дослідження вмісту ліпідів та їх окремих фракцій були використані мембрани еритроцитів коропа. «Тіні» еритроцитів одержували шляхом осмотичного гемолізу в 0,01 М розчині хлориду натрію. Для екстрагування загальних ліпідів до одержаних мембран додавали хлороформ-метанолу суміш у відношенні 2:1.

Розділення ліпідів на окремі фракції проводили методом висхідної одномірної тонкошарової хроматографії в герметичних камерах на пластинках “Silufol UV-154” Рухомою фазою для визначення фракцій фосфоліпідів пластинки елюювали у суміші хлороформ-метанол-льодяна оцтова кислота-дистильована вода у співвідношенні 60:30:7:3. Одержані хроматограми проявляли в

камері, насиченій парами йоду, для ідентифікації окремих фракцій ліпідів використовували специфічні реагенти і очищені стандарти. Кількість фосфоліпідів визначали за методом Васьковського. Всі одержані дані оброблено статистично з використанням t-критерію Стьюдента.

За дії допорогових та сублетальних концентрацій іонів цинку виявлено статистично достовірні зміни у відносному вмісті фосфатидилхоліну, найбільш масивного фосфоліпиду біліпідного шару еритроцитів, що у цифровому значенні виражається у зниженні вмісту даної фракції, відповідно, у 1,27 та 1,56 рази. Зниження вмісту фосфатидилхоліну у фосфоліпідній фракції мембран еритроцитів можна пов'язати із його деградацією, внаслідок підвищення активності лізосомальної фосфоліпази  $A_2$ , яка присутня у плазмі тварин [1]. Цей процес супроводжується накопиченням лізо-фосфатидилхоліну, кількість якого зростає, відповідно, у 1,9 та 2,42 рази ( $p < 0,05$ ) та вільних жирних кислот [3]. Зростання вмісту аніонних ФЛ та ліполіз ФХ сприяє подальшій активації фосфоліпази  $A_2$ .

Відомо, що фосфатидилетаноламін є попередником в синтезі фосфатидилхоліну в реакції метилювання. Ймовірно, підвищені концентрації іонів цинку інгібують активність метилтрансфераз, зменшуючи, тим самим, продуктивність реакції синтезу фосфатидилхоліну. Підтвердженням даного припущення є факт накопичення фосфатидилетаноламіну в мембранах еритроцитів риб після 14-денної інтоксикації іонами цинку. Так, за дії токсиканту в концентрації, що відповідає 0,5 та 2 ГДК, вміст ФЕА збільшився, відповідно, у 1,38 і 1,56 рази ( $p < 0,05$ ).

Відсоткове зростання вмісту СМ у 1,12 та 1,36 рази, при цьому кількісний вміст даної фракції у складі мембрани змінюється у межах норми, відповідно, за впливу допорогової та сублетальної концентрацій токсиканту, вказує на перерозподіл фракцій ліпідів зовнішнього шару біомембрани еритроцитів [2].

Схожий характер змін кількісного вмісту спостерігається і для фосфатидилінозитулу. Так, за впливу 0,5 ГДК іонів цинку відмічається відсоткове зростання даної фракції у 1,19 рази, тоді як кількісні зміни даної фракції знаходяться в межах норми. Очевидно, такі показники можна пояснити зміною кількісного вмісту загальних ліпідів у біомембрані еритроцитів дослідних

риб. За дії 2 ГДК іонів металу відсотковий вміст даної фракції зріс у 1,27 раза, тоді як кількість фосфатидилінозитулу знизилася у 1,22 раза. Одержані результати, очевидно, можна пояснити зростанням активності фосфоліпази  $A_2$ , адже відомо, що ФІ є неспецифічним субстратом цього ферменту. Зниження вмісту ФІ у мембрані еритроцитів аклімованих до дії 2 ГДК токсиканту риб може виступати компенсаторною реакцією на зростання кількості токсиканту у середовищі, адже відомо, що іони  $Zn^{2+}$  взаємодіють з  $Ca^{2+}$ -рецепторами фосфатидилінозитидної сигнальної системи [5], внаслідок чого відкриваються  $Ca^{2+}$ -канали і іони металів поступають всередину клітини.

Отже, відмічено, що за дії іонів  $Zn^{2+}$  відбувається перерозподіл фракцій фосфоліпідів на зовнішній стороні біомембрани еритроцитів. Такі зміни холін-вмісних ліпідів сприяють зростанню в'язкості біліпідного шару клітин крові. Таким чином, адаптація ліпідів еритроцитів коропа до дії іонів металу полягає у мобілізації пулу відповідних фосфоліпідів з метою структурної та функціональної модуляції ліпідного бішару в напрямку протидії впливу токсичного стрес-чинника.

Список літератури:

1. Akira Abe, Kelly R., Shaymana J.A. The measurement of lysosomal phospholipase  $A_2$  activity in plasma. *Journal of Lipid Research*. 2010. Vol. 51, P. 2464-2470
2. Devi B., Radhakrishnaiah K. Changes in total lipids in the osmoregulatory organs of the fresh concentrations of mercury. *Z. Angew. Zool.* 1990. Vol. 77, № 1, P. 121-126.
3. Exton J.H. Phosphatidylcholine breakdown and signal transduction. *Biochim. et Biophys. Acta*. 1994. Vol. 1212, № 1, P. 26 – 42.]
4. Henderson R.J., Tocher D.R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.* 1997, P. 281-347.
5. Бурлакова Е.Б. Роль липидов в процес се передачі інформації в клетке. *Биохимиялипидов и их роль в обменевеществ.* М.: Наука, 1981, С. 23-24.