

UDC 597.551.214:582.28-026.86

DOI: 10.58407/bht.3.24.5



Copyright (c) 2024 Serhii Matiushko, Olha Mekhed

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Сергій Матюшко, Ольга Мехед

ЗМІНИ ВМІСТУ АДЕНІЛАТІВ В ТКАНИНАХ КОРОПА ЗА ДІЇ МІКОТОКСИНУ T2



Serhii Matiushko, Olha Mekhed

CHANGES IN THE CONTENT OF ADENYLATES IN CARP TISSUES UNDER THE ACTION OF MYCOTOXIN T2

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження впливу мікотоксину T2 на вміст аденілатів в тканинах білих м'язів, печінки та мозку коропа.

Методологія. Визначення вмісту АТФ, АДФ та АМФ у тканинах відповідних органів риб проводили методом висхідної одновимірної тонкошарової хроматографії на силікагелевих пластинках «Sorbfil» з використанням системи розчинників: 1,4- діоксан, ізопропанол, аміак, вода у співвідношенні (4:2:1:4). Крім того, для більш повної оцінки стану аденілатної системи різних тканин коропа в умовах навантаження мікотоксином T2 були розраховані такі характеристики енергетичного стану клітини: аденілатний енергетичний заряд (АЕЗ) та відношення мас аденілаткіназної реакції (DM_{AK}). Також розраховували відсоткове співвідношення аденілових нуклеотидів у тканинах риб. Кількість неорганічного фосфору визначали за методом Фіске–Субароу.

Наукова новизна. Дослідження розкриває специфічні зміни у вмісті аденілатів під впливом мікотоксину T2 в тканинах коропа, що дозволяє глибше зрозуміти тканинну специфічність енергетичного обміну у риб. Встановлено, що досліджуваний мікотоксин значно знижує концентрацію АТФ, АДП та АМФ в білих м'язах і печінці. Ці результати сприяють розумінню впливу мікотоксинів на водні організми та їхню енергетичну регуляцію.

Висновки. Вплив мікотоксину T2 на аденілатний профіль тканин коропа вказує на його тканинну специфічність. Присутність його в кормах призводить до значного зниження концентрацій макроергічних сполук, особливо в білих м'язах, що негативно впливає на енергетичний баланс клітин.

Під дією мікотоксину, внесеному безпосередньо у воду акваріумів, в печінці та мозку спостерігається підтримка рівня АТФ, що свідчить про активізацію енергетичного обміну. Отримані результати підтверджують необхідність контролю вмісту мікотоксинів у кормах риб у сільському господарстві.

Ключові слова: аденілати, енергетичний обмін, короп, мікотоксин T2

ABSTRACT

The purpose of the work. Study of the effect of mycotoxin T2 on the content of adenylates in the tissues of white muscles, liver and brain of carp.

Methodology. Determination of the content of ATP, ADP and AMP in the tissues of the relevant organs of fish was carried out by the method of ascending one-dimensional thin-layer chromatography on silica gel plates «Sorbfil» using the solvent system: 1,4-dioxane, isopropanol, ammonia, water in the ratio (4:2:1:4). In addition, for a more complete assessment of the state of the adenylate system of different carp tissues under pesticide load, the following characteristics of the energy state of the cell were calculated: adenylate energy charge (AEC) and the ratio of the active masses of the adenylate kinase reaction (AAR). The percentage ratio of adenyl nucleotides in fish tissues was also calculated. The amount of inorganic phosphorus was determined by the Fiske-Subarow method.

Scientific novelty. The study reveals specific changes in the content of adenylates under the influence of mycotoxin T2 in carp tissues, which allows a deeper understanding of the tissue specificity of energy metabolism in fish. It was established that the studied mycotoxin significantly reduces the concentration of ATP, ADP and AMP in white muscles. These results contribute to further understanding of the environmental impact of pesticides on aquatic organisms and their energy regulation.

Conclusions. The effect of mycotoxin T2 on the adenylate profile of carp tissues indicates its tissue specificity. Its use in feed leads to a significant decrease in the concentrations of macroergic compounds, especially in white muscles,

which negatively affects the energy balance of cells. Under the mycotoxin introduced directly into the water of the aquariums, the stability of the level of ATP is observed in the liver and brain, which indicates the activation of energy metabolism. The obtained results confirm the need to control the content of mycotoxins in fish feed in agriculture in order to preserve the ecological balance of aquatic ecosystems.

Key words: adenylates, energy metabolism, carp, mycotoxin T2

Постановка проблеми

В умовах розвитку рибного господарства, особливу небезпеку для гідробіонтів становлять мікотоксини, зокрема токсин T2. Цей мікотоксин є одним із найбільш токсичних представників групи трихотеценів, який негативно впливає на організми різних видів, включаючи рибу. Короп (*Cyprinus carpio* L.) як популярний об'єкт аквакультури та модельний вид для екотоксикологічних досліджень є особливо вразливим до таких речовин (Nikolaenko et al., 2023). Одним із ключових біохімічних маркерів, що відображають енергетичний стан організму риби, є вміст аденілатів у тканинах, проте зміни якісних та кількісних показників аденілатів у відповідь на дію токсину T2 залишаються мало дослідженими.

Підвищення продуктивності риб у природних та штучних умовах аквакультури є надзвичайно важливим завданням, яке потребує дослідження впливу забруднювачів на біохімічні та фізіологічні процеси в їх організмах. У попередніх дослідженнях розглядалися різні аспекти впливу забруднювачів на біохімічні показники тканин коропа, що відображають енергетичний стан організму риби. Наприклад, було вивчено особливості енергетичного обміну у тканинах коропа за дії токсичних речовин, що дало змогу оцінити вплив ксенобіотиків на структуру мембранних ліпідів риб (Yachna et al., 2019) та наслідкам токсичного впливу на обмін ліпідів (Symonova et al., 2018). Інше дослідження було присвячено вивченню впливу токсичних речовин на вміст метаболітів в тканинах коропа при різних температурах, що дозволило виявити термозалежні метаболічні зміни під впливом хімічних забруднювачів (Mekhed et al., 2004; Martseniuk et al., 2018). Також вивчались адаптивні зміни показників крові коропа як відповідь на забруднення води мікотоксином, що надало дані про імунну відповідь організму (Nikolaenko et al., 2023). Окрему увагу було приділено накопиченню мікотоксинів в тканинах риб (Polotnyanko &

Mekhed, 2023). Однак, зміни якісних та кількісних показників аденілатів, які відображають стан енергетичного обміну в тканинах коропа під впливом токсину T2, не були предметом детального вивчення.

Отже, дане дослідження є першим, що має на меті аналіз впливу токсину T2 на вміст аденілатів у тканинах коропа. Оцінка змін в енергетичному обміні у відповідь на дію токсичних речовин дозволить краще зрозуміти механізми адаптації риб до екологічного стресу і потенційно розробити заходи щодо зменшення негативного впливу токсичних речовин у аквакультурі (Grubinko, 2005). Вивчення змін аденілатного енергетичного профілю коропа під дією мікотоксину T2 є важливим внеском у галузь екотоксикології та аквакультури, який допоможе сформуванню нових підходів до управління якістю водного середовища та продуктивністю риб.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводилися впродовж червня – грудня 2023 року та травня – вересня 2024 року на базі проблемної науково-дослідної лабораторії екологічної біохімії, іхтіології та біокорозії природничо-математичного факультету Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка. Роботи із стандартами токсину проводились на базі акредитованої лабораторії Держпродспоживслужби. Досліди по вивченню впливу мікотоксину проводили у 200-літрових акваріумах з відстояною водопровідною водою, в якій рибу розміщували з розрахунку 1 екземпляр на 40 дм³ води. В усіх випадках здійснювався контроль та підтримувався постійний гідрохімічний режим води. Концентрацію мікотоксину, що відповідала 2 ГДК досягалася шляхом внесення розрахункових кількостей розчину мікотоксину. Визначення вмісту АТФ, АДФ та АМФ у тканинах відповідних органів риб проводили методом висхідної одномірної тонкошарової хроматографії на силікагелевих пластинках «Sorbfil» з використанням системи розчинників: 1,4-діоксан, ізопропанол,

аміак, вода у співвідношенні (4:2:1:4), описаній в роботі Martsenyuk, 2019. Наважку кожного органу ($0,50 \pm 0,05$ г) змішували з $0,5 \text{ см}^3$ 0,6 Н тетрахлоороцтової кислоти. Далі суміш центрифугували при 4000 об./хв протягом 10 хв і відбирали 0,5 мл супернатанту. Останній нейтралізували змішуванням з 0,06 мл 2М розчину K_2CO_3 . Прозорий надосадовий розчин наносили в кількості 0,03 мл на пластинку для хроматографії. Хроматографію проводили протягом 60–90 хв. Плями нуклеотидів детектували під ультрафіолетовим світлом та елюювали їх із пластин 3 мл 0,1Н хлоридної кислоти протягом 30 хв. Елюат спектрофотометрували при $\lambda=260$ нм. Крім того, для більш

повної оцінки стану аденілатної системи різних тканин коропа в умовах токсичного навантаження були розраховані такі характеристики енергетичного стану клітини: аденілатний енергетичний заряд (АЕЗ) та відношення мас аденілаткиназної реакції (ДМАК). Також розраховували відсоткове співвідношення аденілових нуклеотидів у тканинах риб. Кількість неорганічного фосфору визначали за методом Фіске-Субароу згідно опису методики в роботі (Mekhed et al, 2005).

Результати та їх обговорення

Результати дослідження представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники енергетичного обміну в тканинах коропа за умов токсичного навантаження мікотоксином Т2, мкмоль/г тканини ($M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Показник	Контроль	Т2 у воді акваріуму	Р	Т2 в кормі	Р
Білі м'язи						
1	АТФ	$1,75 \pm 0,36$	$0,78 \pm 0,12$	<0,1	$0,93 \pm 0,414$	
2	АДФ	$2,15 \pm 0,13$	$0,91 \pm 0,30^*$	<0,01	$0,33 \pm 0,01^*$	<0,01
3	АМФ	$2,46 \pm 0,34$	$2,12 \pm 0,33$		$1,24 \pm 0,22^*$	<0,05
4	АТФ/АДФ	0,77	0,86		3,01	
5	Сума аденілатів	6,26	3,81	-	2,50	-
6	АЕЗ	0,45	0,32	-	0,44	-
7	ДМАК	0,88	1,88	-	12,64	-
Печінка						
1	АТФ	$3,54 \pm 0,24$	$3,73 \pm 0,21$		$1,15 \pm 0,14^*$	<0,001
2	АДФ	$1,41 \pm 0,21$	$1,19 \pm 0,28$		$0,92 \pm 0,02$	<0,1
3	АМФ	$4,72 \pm 0,48$	$2,56 \pm 0,12^*$	<0,01	$4,48 \pm 0,24$	
4	АТФ/АДФ	2,51	3,13		1,25	
5	Сума аденілатів	9,67	7,48	-	6,55	-
6	АЕЗ	0,44	0,58	-	0,25	-
7	ДМАК	7,16	7,24	-	6,08	-
Мозок						
1	АТФ	$1,32 \pm 0,63$	$1,55 \pm 0,20$		$0,89 \pm 0,08$	<0,1
2	АДФ	$1,35 \pm 0,22$	$1,36 \pm 0,16$	<0,1	$1,14 \pm 0,09$	
3	АМФ	$1,70 \pm 0,45$	$0,78 \pm 0,04$	<0,01	$2,17 \pm 0,27$	<0,1
4	АТФ/АДФ	0,98	1,14	-	0,78	-
5	Сума аденілатів	4,37	3,69	-	4,20	-
6	АЕЗ	0,46	0,60	-	0,35	-
7	ДМАК	1,20	0,88		0,75	

Результати дослідження, представлені в таблиці, свідчать, що при потраплянні мікотоксину Т2 з кормом у тканинах коропа спостерігалися суттєві зміни в енергетичному обміні. У білих м'язах концентрація АТФ знизилася приблизно на 47 % (з 1,75 мкмоль/г до 0,93 мкмоль/г у порівнянні з контролем), тоді як рівень АДФ впав більш ніж у 6 разів (з 2,15 мкмоль/г до 0,33 мкмоль/г). Рівень АМФ також знизився на 50 % (з 2,46 мкмоль/г до 1,24 мкмоль/г). Сумарна кількість аденілатів зменшилася на 60 % (з 6,26 мкмоль/г до 2,50 мкмоль/г), що свідчить про значне зниження енергетичного резерву. Аденілатний енергетичний заряд залишився майже незмінним, показуючи лише 2 % зниження – з 0,45 до 0,44.

У тканині печінки вміст АТФ зменшився майже в 3 рази (з 3,54 мкмоль/г до 1,15 мкмоль/г), а рівень АДФ знизився на 35 % (з 1,41 мкмоль/г до 0,92 мкмоль/г). Сума аденілатів знизилася на 32 % (з 9,67 мкмоль/г до 6,55 мкмоль/г), що вказує на значне зниження енергетичного потенціалу. АЕЗ також впав на 43 % – з 0,44 до 0,25, що свідчить про суттєве пригнічення енергетичного стану клітин печінки. У мозковій тканині концентрація АТФ знизилася на 33 % (з 1,32 мкмоль/г до 0,89 мкмоль/г), тоді як рівень АМФ зріс на 28 % (з 1,70 мкмоль/г до 2,17 мкмоль/г), що може свідчити про адаптаційний процес у відповідь на токсичний стрес. Сумарний вміст аденілатів залишився майже незмінним, знизившись лише на 4 % (з 4,37 мкмоль/г до 4,20 мкмоль/г). Однак АЕЗ впав на 20 % (з 0,44 до 0,35).

При вмісті мікотоксину Т2 у воді акваріумів також спостерігалися значні зміни в енергетичному обміні коропа, проте реакція тканин була дещо відмінною. У білих м'язах вміст АТФ зменшився до 0,78 мкмоль/г, а рівень АДФ – до 0,91 мкмоль/г, що значно нижче контрольних значень. Сума аденілатів знизилася з 6,26 до 3,81 мкмоль/г, а АЕЗ впав до 0,32. Ці результати вказують на суттєве пригнічення енергетичного обміну в м'язовій тканині під впливом токсину у воді. Тканини печінки виявилися менш чутливими до токсину у воді. Хоча рівні АТФ і АДФ залишалися майже на тому ж рівні, що і в контролі (3,73 та 1,19 мкмоль/г відповідно), рівень АМФ знизився до 2,56 мкмоль/г (у контролі – 4,72 мкмоль/г). Сума аденілатів у печінці зменшилася з 9,67 до 7,48 мкмоль/г, тоді як АЕЗ дещо підвищився до 0,58, що

може свідчити про активацію компенсаторних механізмів. У мозковій тканині при введенні мікотоксину через воду також спостерігалися зміни. Вміст АТФ підвищився до 1,55 мкмоль/г (у контролі – 1,32 мкмоль/г), а рівень АМФ зменшився до 0,78 мкмоль/г (у контролі – 1,70 мкмоль/г). АЕЗ збільшився до 0,60, що може вказувати на адаптаційні процеси, спрямовані на підтримку функціональної активності мозку в умовах токсичного навантаження.

Таким чином, незалежно від шляху потрапляння до організму мікотоксину Т2, у білих м'язах спостерігалось суттєве зниження суми аденілатів та АЕЗ. Це вказує на загальне зниження енергетичного потенціалу і може обмежувати функціональні можливості м'язів, зокрема, в умовах підвищеної фізичної активності. У печінці реакція на мікотоксин відрізнялася залежно від шляху введення. При введенні токсину через корм спостерігалось значне зниження АЕЗ і суми аденілатів, що вказує на енергетичний дисбаланс і можливе пригнічення метаболічних процесів. При токсичному впливі через воду печінка демонструвала ознаки компенсаторної адаптації, що виражалось у збільшенні АЕЗ. Мозкова тканина виявила найбільшу здатність до адаптації за умов токсичного впливу. При введенні мікотоксину через воду спостерігалось зростання АЕЗ, що вказує на активацію адаптаційних механізмів для підтримки енергетичного гомеостазу. Однак при введенні токсину через корм відбувалося зниження АЕЗ, що свідчить про певне енергетичне виснаження.

Висновки

Вплив мікотоксину Т2 на аденілатний профіль тканин коропа вказує на його тканинну специфічність. Наявність його в кормах призводить до значного зниження концентрацій макроергичних сполук, особливо в білих м'язах, що негативно впливає на енергетичний баланс клітин.

Під дією мікотоксину, внесеному безпосередньо у воду акваріумів, в печінці та мозку спостерігається стабільність рівня АТФ, що свідчить про активізацію енергетичного обміну. Отримані результати підтверджують необхідність контролю вмісту мікотоксинів у кормах риб у сільському господарстві з метою збереження екологічного балансу водних екосистем.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

References

Grubinko, V. V. (2005). Integral assessment of toxic damage in biological systems. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology* (3), 111-114. (In Ukrainian).

Грубінко В. В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2005. № 3. С. 111–114.

Grubinko, V. V. (2005). Systemic assessment of metabolic adaptations in hydrobionts. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology* (2), 36-39. (In Ukrainian).

Грубінко В. В. Системна оцінка метаболічних адаптацій у гідробіонтів. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2005. № 2. С. 36–39.

Martseniuk, V. M., Potrokhov, O. S. & Zinkovskiy, O. G. (2018). Energy metabolism in organs and tissues of perch *Perca fluviatilis* under changes of water temperature. *Hydrobiological Journal* 54(4), 85–94.

Martsenyuk, V. M. (2019). Features of regulation of energy supply for the adaptation of fish to the influence of abiotic and anthropogenic factors. PhD dissertation in ichthyology. Hydrobiology Institute, NAS of Ukraine, Kyiv. 225. (In Ukrainian).

Марценюк В.М. Особливості регуляції енергозабезпечення адаптації риб до дії абіотичних та антропогенних чинників. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.10 «Іхтіологія». Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2019. 225 с.

Mekhed, O. B., Yakovenko, B. V., & Zhidenko, A. O. (2004). The effect of zencore on glucose content and gluconeogenesis enzyme activity in the tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) at different temperatures. *Ukrainian Biochemical Journal* 76(3), 99-103. (In Ukrainian).

Мехед О. Б., Яковенко Б. В., Жиденко А. О. Вплив зенкору на вміст глюкози та активність ферментів глюконеогенезу в тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) при різних температурах. *Український біохімічний журнал*. 2004. 76, №3. С. 99-103.

Mekhed, O. B., Zhidenko, A. O., & Yakovenko, B. V. (2005). Changes in adenylate content in tissues of juvenile and adult carp under the influence of pesticides. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology. Special issue «Hydroecology»* 3(26), 299-302. (In Ukrainian).

Мехед О. Б., Жиденко А. О., Яковенко Б. В. Зміни вмісту аденілатів в тканинах цьоголітки і дволітки коропа при дії пестицидів *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. Спец. випуск «Гідроекологія»*. 2005. №3 (26). С. 299-302.

Nikolaenko, T. M., Ivashchenko, M. O., Ivashchenko, N. V., & Mekhed, O. B. (2023). Biochemical indicators of blood in laboratory animals under the influence of T-2 mycotoxin. *Vin Smart Eco. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (May 18-20, 2023, Vinnytsia, Ukraine)*, 276-277. (In Ukrainian).

Ніколаєнко Т.М., Івашченко М.О., Івашченко Н.В., Мехед О.Б. Біохімічні показники крові лабораторних тварин за дії мікотоксину Т2. *Vin Smart Eco: Збірник матеріалів III Міжн. наук.-практ. конф. (18-20 травня 2023, Вінниця, Україна)*. Вінниця: КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», 2023. С. 276-277.

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) as a response to water pollution. *Natural Resources of Border Territories under Climate Change. VII International Scientific Conference (Ukraine, Chernihiv, September 27–29, 2023)*, 99-100. (In Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Івашченко М., Івашченко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. VII Міжнародна наукова конференція (Україна, Чернігів, 27 – 29 вересня 2023 р.). Чернігів: Десна-Поліграф. 2023. С. 99-100.

Polotnyanko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when feeding contaminated T2 toxin feed. *Natural Resources of Border Territories under Climate Change. VII International Scientific Conference (Ukraine, Chernihiv, September 27–29, 2023)*, 105-106. (In Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. VII Міжнародна наукова конференція (Україна, Чернігів, 27 – 29 вересня 2023 р.). Чернігів: Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106.

Symonova, N. A., Mekhed, O. B., Kupchuk, O. Y., & Tretyak, O. P. (2018). Toxicants in the degradation of lipids in the organism of scaly carp. *Ukrainian Journal of Ecology* 8(4), 6-10.

Mekhed, O. B., Yachna, M. G., Tretyak, O. P., & Yakovenko, B. V. (2019). Phospholipid content in tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) under the influence of sodium lauryl sulfate-containing and phosphate-free synthetic detergents. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology (2-76)*, 48-52. (In Ukrainian).

Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П., Яковенко Б. В. Вміст фосфоліпідів у тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії натрій лаурилсульфатвмісного та безфосфатного синтетичних миючих засобів. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2019. № 2(76). С. 48-52.

Received: 07.11.2024. Accepted: 20.12.2024. Published: 30.12.2024.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Матюшко С., Мехед О. Зміни вмісту аденілатів в тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. №3. С. 78-83.

Cite this article in APA style as:

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Changes in the content of adenylates in carp tissues under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, 3, 78-83.

Information about the authors:

Matiushko S. [in Ukrainian: **Матюшко С.**] ¹, Ph.D. student, email: msn@grandwis.com.ua

ORCID: 0009-0000-8655-3201

Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»

53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Mekhed O. [in Ukrainian: **Мехед О.**] ², Cand. Sc. (Biol.), D. Sc. (Pedagogics), Prof., email: mekhedolga@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9485-9139 Scopus Author ID: 6506181994

ResearcherID: AAC-7333-2021

Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»

53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Study design, manuscript preparation.