

Herman Petra - Harangi Sándor - Simon Edina - Baranyai Edina

Zooplankton szervezetek nehézfém terhelésének vizsgálata atomspektroszkópai módszerekkel

Petra Herman - Sándor Harangi - Edina Simon - Edina Baranyai

The Investigation of Zooplankton Organisms Polluted with Heavy Metal with Atomic Spectroscopic Methods

Abstract

Nowadays metal contamination in the aquatic environment has attracted global attention. According to previous research some backwaters in our country have got contaminated classification, and this encouraged us to do research in this theme. Artemia nauplii is a species of brine shrimp, and these animals are ideal indicators of heavy metal pollution in aquatic systems. The main aim of this study is to investigate the accumulation of manganese and iron in these zooplankton organisms. We applied five treatments with different concentrations of these trace minerals, and after the 24 hours enrichment period the accumulation of the elements was analysed. The concentration of manganese increased in parallel with the dose of supplementations. Treatments with a maximum manganese concentration had significant effect on the manganese level of Artemia, compared with the other groups. On the contrary, examining the iron concentrations in the five treatments there was no significant difference. Also no significant difference occurred in the dry matter content of Artemia among all treatments. Even the highest dose of the elements had no influence on the vitality and mobility of the zooplankton.

Keywords: zooplankton, heavy metal, atomic spectroscopy

Összefoglaló

Manapság a felszíni és felszín alatti vizeink egyre nagyobb figyelmet kapnak, mivel a víz véges erőforrás és csak korlátozottan áll a rendelkezésünkre, viszont a Földön mindenféle élet szempontjából nélkülözhetetlen.

A kísérletünk során vas és mangán akkumulálódását tanulmányoztuk egy sósvízi rákfajban, az Artemia naupliiban. A vizsgálat során megállapítottuk, hogy a tiszai holtágban mért koncentrációk - melyek alapján azt szennyezett és erősen szennyezett kategóriába sorolták - nem okoztak jelentős változást a sórákok vas és mangán szintjében. Az ehhez képest tízszeresére beállított dózis viszont már szemmel látható koncentrációnövekedést eredményezett az Artemiákban. A vas szintjének emelkedését statisztikailag nem tudtuk igazolni, a mangán szintje ezzel szemben a koncentráció növelésével arányosan változott az élőlényekben, ami statisztikailag is igazolható volt.

A megemelt nehézfém koncentráció tízszeres dózisban sem okozott elhullást a sósvízi rákfajnál, az élőlényeknek sem vitalitásuk, sem pedig mozgékonyaságuk nem csökkent a kezelések hatására.

Kulcsszavak: zooplankton, nehézfém, atomspektroszkópia

Bevezetés

Az utóbbi években a vízi környezet fémszennyezettsége magára vonta a világ figyelmét. Nagy mennyiségben jelentek meg veszélyes vegyi anyagok a vízi ökoszisztémákban világszerte, a világnépszerűség gyors, globális növekedésének és a bővülő mezőgazdasági, illetve ipari tevékenységeknek köszönhetően, és ezek közül kiemelkednek a nehézfémek. A nehézfémek felhalmozódhatnak a vízi állatok szöveteiben, és ha a koncentrációjuk elér egy bizonyos toxicitási küszöbértéket – ami eltérő az egyes fém fajták, taxonómiai fajok és életszakaszok esetében –, mérgezővé válhatnak. A nehézfémek összefüggésbe hozhatók számos testi deformitással a vízi szervezeteket illetően, mind a természetes populációkban, mind a laboratóriumi in situ vizsgálatok esetében. Ezek az elváltozások befolyásolhatják a túlélést, a növekedés ütemét és a morfológiai megjelenést is. A halak elsősorban a kopoltyújukon, az emésztő rendszerükön és kisebb mértékben a bőrükön keresztül veszik fel a fémeket (Sfakianakis és mts-i, 2014; Saiful Islam és mts-i, 2014).

A különböző nehézfémek többféle úton kerülhetnek be a természetes vizekbe. A földkéregben előforduló nagy mennyiségűnek köszönhetően többségük megtalálható minden édesvízi környezetben. Ez egy természetes szint, melyet a geológiai adottságok határoznak meg. Emellett az antropogén úton bekerülő hányaduk is jelentős, és legtöbb esetben ez okozza a megengedett határérték fölé emelkedését az elemeknek. Ide tartozik az ipari termelés, a mezőgazdasági művelés, a közlekedés, a kommunális hulladékok és szennyvizek, melyek mind hozzájárulhatnak a fémek vizekbe kerüléséhez, valamint a savas esők is okozhatják a nehézfémek talajból vizekbe mosódását.

A zooplankton szervezetek nagymértékben hozzájárulhatnak egy vízi rendszert érő nehézfém szennyezés terjedéséhez. A vízi ökoszisztémák esetében is megtalálhatóak a szárazföldihez hasonlóan felépülő táplálkozási láncok, és a zooplankton szervezetek ennek alapját képezik. Azért fontos a szennyezés

hatásának vizsgálatát velük kezdeni, mivel ezek az élőlények egyszerű testfelépítésüknek köszönhetően még nem szenvednek jelentős mértékű károsodást, viszont képesek a különböző nyomelemeket felhalmozni szervezetükben. Így az ezekben a szervezetekben akkumulálódott szennyező anyagok a bioakkumuláció révén a tápláléklánc többi tagjában is feldúsulhatnak, bizonyos élőlények akár nagyobb koncentrációt is létrehozhatnak sejtjeikben, szöveteikben, mint ami a kiindulási elemekben volt. Ezáltal közvetve az élővilág többi tagját, akár az embereket is veszélyeztethetik.

A különböző elemek felvehetőségét számos tényező befolyásolja, többek között az elemek eltérő kémiai formája és koncentrációja, valamint más elemekkel kialakuló kölcsönhatásaik (Watanabe és mts-i, 1997). Emiatt fontos, hogy a nehézfémek hatásainak vizsgálatánál az elemek között előforduló szinergista/antagonista kapcsolatot is figyelembe vegyünk.

Kutatásunk során két esszenciális nehézfém, a vas és a mangán akkumulálódását vizsgáltuk sórákokban (*Artemia nauplii*), illetve tanulmányoztuk, hogy ezek a nehézfémek hogyan befolyásolják egymás felvételét.

Mivel a Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszékén végzett korábbi kutatások több tiszai holtmedret is szennyezett, illetve erősen szennyezett kategóriába soroltak a vas és a mangán tekintetében az MSZ:12749 szabvány alapján, így a hazai környezetvédelem és természetvédelem szempontjából is nagy jelentősége van a témának.

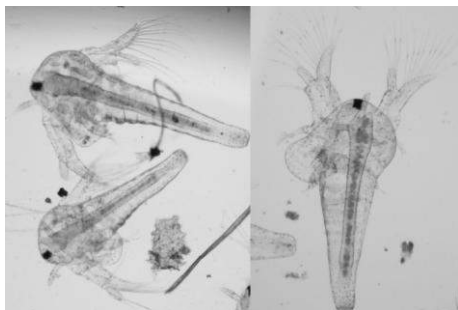
Anyag és módszer

Kísérleti beállítás

Az *Artemia nauplii* sósvízi rákfaj számos jellegzetes tulajdonsággal rendelkezik, melyek megkönnyítik a különböző nevelési, fejlődési, biokémiai és toxikológiai vizsgálatokban való alkalmazását. Ezen tulajdonságok egyike, hogy alvó petéket rak, így nagy mennyiségben állnak rendelkezésre a kereskedelmi forgalomban ilyen állapotban, ezek pedig kísérletileg könnyen kezelhetőek. A fejlődésük korai

embrionális és lárvai szakasza egyértelműen meghatározható, az 1. ábrán 24 órás keltetést követően leszűrt példányok láthatók. Az *Artemia* lárvák közvetlenül kikelésük után saját tartalék tápanyagaikat hasznosítják, nem táplálkoznak, majd a következő fejlődési szakaszukban már csökken a szabad aminosav, száraanyag és energia tartalmuk, így a halak számára is nehezebben emészthetővé válnak. Az elő eleségként való használatuk mellett széles körben alkalmazzák a sórákokat a normális biológiai funkciókat megzavaró mérgező anyagok kimutatására, a biológiai toxicitás tesztelésére is (Sarabia és mts-i, 1997; Benijts és mts-i, 1976; Sorgeloos és mts-i, 2001).

8. ábra: *Artemia nauplii* mikroszkópos felvétele



A kísérletben vizsgált *Artemia nauplii* (Sera, Germany) petéket laboratóriumi körülmények között keltettük és neveltük, a számukra megfelelő körülmények beállításával.

A sórákok keltetése három darab 1,5 literes műanyag edényben történt, 4 g pete/liter-es egyedsűrűségben. Az edényeket csapvízzel töltöttük meg, a vizet 24 óráig levegőztettük, és beállítottuk a számukra ideális 20 g/l-es sókoncentrációt. A víz hőmérsékletét 27 °C-ra állítottuk be, a kikelésükhöz szükséges 2000 lux-os megvilágítást pedig asztali lámpák segítségével biztosítottuk. Ilyen körülmények között 24 órán át keltettük az *Artemiá*kat, majd a frissen kelt egyedeket egy 150 µm-es planktonháló segítségével leszűrtük és elválasztottuk a kikelt sórákokat a ki nem kelt petétől és a felúszó ptehéjaktól.

A következő periódusban vas-kloriddal és mangán-kloriddal dúsítottuk az *Artemia* lárvákat. A dúsítást 5 literes ballonokban végeztük, melyekben szintén biztosítottuk a már említett körülményeket (20 g/l-es sókoncentráció, megvilágítás, folyamatos levegőztetés), és egyenlően osztottuk el bennük a leszűrt *Artemiá*kat. A ballonokban eltérő vas és mangán koncentrációkat állítottunk be, a legmegfelelőbb koncentrációk kiválasztásához pedig több előkísérletet is végeztünk, annak érdekében, hogy megtaláljuk azt a dózist, melyet már felvesznek a sórákok, viszont nagymértékű elhullást még nem eredményez. Elsőként azokat a koncentrációkat állítottuk be a dúsító ballonokban, amiket a tiszai holtágakban mértek, és amelyek alapján azokat szennyezett vagy erősen szennyezett kategóriába soroltak. Mivel ezek a beállítások nem eredményeztek szignifikáns változást az *Artemia* lárvák nyomelem akkumulációjában, ezért megpróbáltuk egy tízszeres és egy százszoros dózis alkalmazását. A tízszeres dózis esetében már számottevő koncentráció változást tapasztaltunk a sórákok vas és mangán felvételében, a százszoros koncentráció viszont az *Artemia* lárvák jelentős mértékű elhullását eredményezte. Ennek következtében úgy döntöttünk, hogy a tiszai értékekhez képest tízszeres dózisban alkalmazzuk a nyomelemeket a dúsítás során, mivel ez volt az a koncentráció, amely esetében megfelelően tudtuk vizsgálni azok akkumulálódását az *Artemia* lárvákban, valamint az elemek közti kölcsönhatásokat. Az előkísérletek alapján alkalmazott koncentrációk:

- CC (Fe: 5,7 mg/l, Mn: 2,9 mg/l)
- CM (Fe: 5,7 mg/l, Mn: 6,25 mg/l)
- MC (Fe: 15 mg/l, Mn: 2,9 mg/l)
- MM (Fe: 15 mg/l, Mn: 6,25 mg/l)
- Kontroll

Minden beállítást öt ismétlésben végeztünk el. A koncentrációk beállításához használt törzsoldatokat szilárd beméréssel készítettük el (~10000 mg/l FeCl₃, ~10000 mg/l MnCl₂), majd

az oldatok pontos koncentrációját MP-AES készülékkel állapítottuk meg.

A minták feltárása

A dúsítás szintén 24 óráig tartott a ballonokban, majd planktonháló segítségével leszűrtük azok tartalmát, desztillált vízzel átmostuk és főzőpoharakban helyeztük el a sórákokat. Az így kapott mintákat 105 °C-on szárításképernyőben kiszárítottuk, ezt követően pedig atmoszférikus roncsolással elektromos főzőlapon feltártuk azokat (4. ábra). A roncsoláshoz mintánként 4 ml 65%-os tömény salétromsavat (MERCK), 0,5 ml kétszer ioncserélt vizet és 0,5 ml 30%-os tömény hidrogén-peroxidot (SPEKTRUM 3D) használtunk. Az atmoszférikus roncsolást követően kémcsövekbe kétszer ioncserélt vízből készült 0,1 M salétromsavval 10 ml-re töltöttük fel a mintákat (Fehér és mts-i, 2013). A minták mérését mikrohullámú plazma atom emissziós spektrométerrel (Agilent MP-AES 4100), illetve induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (Agilent ICP-OES 5100 SVDV) végeztük. (Nguyen és mts-i, 2008)

Elemanalízis

A minták elemanalízisét Agilent Technologies 4100 típusú mikrohullámú plazma atom emissziós spektrométerrel (MP-AES) végeztük. A készülék nagy előnye, hogy gyúlékony és drága gázok helyett nitrogént használ plazmagázként, melyet sűrített levegőből állít elő egy nitrogéngenerátor segítségével, ami jelentősen csökkenti az üzemeltetési

költségeket. A készülék egy mágnesesen gerjesztett mikrohullámú plazmaforrást használ. Egy torroid alakú plazma alakul ki, alacsonyabb hőmérsékletű központi résszel, mely alkalmas a folyékony minták stabil bevezetésére (Kamala, 2014). A plazma magas hőmérsékletének hatására az aeroszol víztartalma elpárolog, ezt követően pedig a minta atomizálódik, illetve ionizálódik. A gerjesztett állapotú atomok specifikus, rájuk jellemző hullámhosszúságú fényt bocsátanak ki, ami az azonosításukhoz szükséges információt hordozza. Minden egyes gerjesztett atom által kibocsátott vonal intenzitása egyenesen arányos az egyes elemek koncentrációjával, így történik a mennyiségi azonosítás, a színképvonalak hullámhossza pedig a minőségi azonosítást teszi lehetővé.

Mivel a MP-AES új technológiának számít, ezért hogy a módszer alkalmazhatóságát ellenőrizzük, a méréseket Agilent Technologies 5100 (SVDV) típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) is elvégeztük. Az induktív csatolású argon plazma az atom emisszió hatékony forrása, melyet alapvetően az argontól különböző elemek meghatározására használnak. A készülék a kimutatási határ tekintetében is a legjobbak közé sorolható, a legtöbb elem esetében 1-100 µg/l közötti tartományban van ez az érték (Thompson, 1983). Az egyes elemek minőségi és mennyiségi azonosításának elve megegyezik a MP-AES készüléknél megismertekkel.

2. ábra: A méréseimhez alkalmazott ICP-OES és MP-AES készülékek



Statistikai elemzés

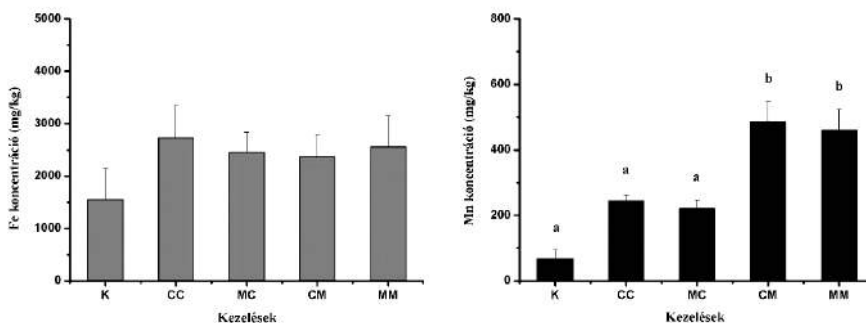
A statisztikai elemzés elvégzéséhez az IBM SPSS Statistics Data Editor programban végeztünk kétutas variancia analízist (GLM ANOVA). A varianciaanalízis (ANOVA; Analysis of Variance) egy olyan statisztikai módszer, mely több csoportból álló adathalmaz középértékeinek összevetésére szolgál. Segítségével megállapíthatjuk, hogy van-e olyan faktor, mely a valószínűségi változó értékének kialakításában szerepet játszik és hatására a csoportok különböznek egymástól. A változó varianciája két komponensre bontható: a csoportok közötti és a csoporton belüli

varianciára. A csoportok közötti eltérések a kezelések különbségeinek tudhatók be (vagyis a mesterségesen alkalmazott szisztematikusan hatásokról), míg a csoporton belüli variancia a véletlen hibákkal magyarázható.

Eredmények

A 24 órán át, különböző koncentrációjú elemösszetételekkel végzett dúsítást követően a vas és a mangán akkumulálódása mellett, hét másik elem koncentrációjának a változását mértük a sórákokban (Ca, Cu, K, Mg, Na, Pb, Zn), minden kezelés esetében.

3. ábra: Fe és Mn dúsulása Artemiákban (mg/kg, átlag±SE, n=5)



A minták vas tartalmának vizsgálata során nem mutattunk ki statisztikai különbséget az egyes kezelések között ($p > 0,05$), bár a kontroll minta közel 1500 mg/kg-os nyomelem tartalmához képest a többi kezelés esetében megfigyelhető koncentráció növekedés. A legnagyobb mértékű változást a CC kezelés esetében mértük (2732 mg/kg), de még ez sem haladta meg a kétszeres koncentráció növekedést. Az MC, CM és MM kezelések esetében ennél alacsonyabb koncentrációt mértünk, a három beállítás értékei között nem volt jelentős eltérés. A minták mangán tartalma az alkalmazott koncentrációval arányosan változott. A kontroll mintákban viszonylag kis, de mérhető koncentrációban volt jelen a mangán (67 mg/kg), ehhez képest viszont mind a közepes, mind a maximum koncentrációk esetében szemmel látható növekedés

tapasztalható a minták mangán koncentrációjában. A közepes dózisú mangánnal dúsított *Artemiák* esetében több, mint háromszoros, míg a maximum koncentrációban alkalmazott mangán dúsítás közel hétszeres koncentráció növekedést eredményezett. Ez utóbbi különbségek statisztikailag is igazolhatók. A K kezelés a CM és az MM kezeléstől ($p < 0,001$), a CC kezelés a CM ($p = 0,007$) és az MM ($p = 0,018$) kezeléstől, és az MC kezelés szintén a CM ($p = 0,030$) és MM kezeléstől ($p = 0,007$) különbözik szignifikánsan. A CM kezelésnél a K ($p < 0,001$), a CC ($p = 0,007$) és az MC ($p = 0,003$), az MM kezelésnél szintén a K ($p < 0,001$), a CC ($p = 0,018$) és az MC kezeléstől figyelhető meg szignifikáns eltérés (3. ábra). A Ca, Cu, K, Mg, Na, Pb és Zn esetében nincs statisztikailag igazolható szignifikáns különbség a kezelések között ($p > 0,05$), valamint

szinergista vagy antagonisták hatások sem voltak megfigyelhetőek.

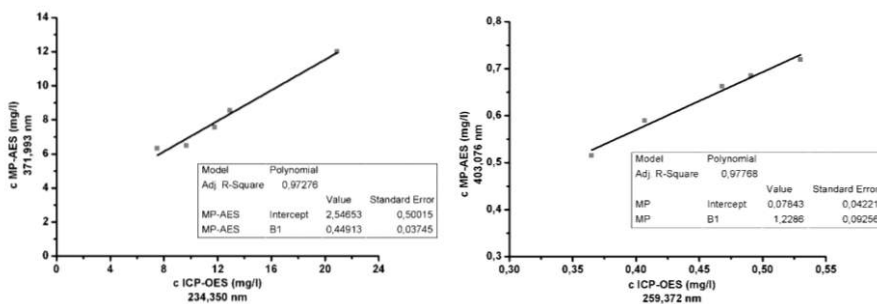
Vizsgálati módszer

A minták elemanalízisét mikrohullámú plazma atom emissziós spektrométerrel (MP-AES) és induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) is elvégeztük, így összehasonlítva a két elemanalitikai módszert. A MP-AES viszonylag új technológiának tekinthető. Az ICP-OES argon plazmájához viszonyítva, itt alacsonyabb hőmérsékletű nitrogén plazmát alkalmazunk, ami a kis koncentrációban, kevés mintamennyiségből

történő meghatározás esetén gondot jelenthet egyes elemek kimutatását illetően. A két különböző műszerrel végrehajtott mérés alapján azonban a kapott eredményekben nem tapasztaltunk eltérést, ami azt bizonyítja, hogy a mikrohullámú plazma atom emissziós spektrométer is alkalmas a vizsgált elemek környezeti mintákból történő meghatározására, így az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel szemben egy költségkímélőbb módszerrel is elvégezhető a nyomelem analízis.

A két vizsgálati módszer összehasonlítása a Fe és a Mn példáján az 4. ábrán látható.

4. ábra: Fe és Mn mérési adatok MP-AES és ICP-OES készülékkel



Artemiák lemosása

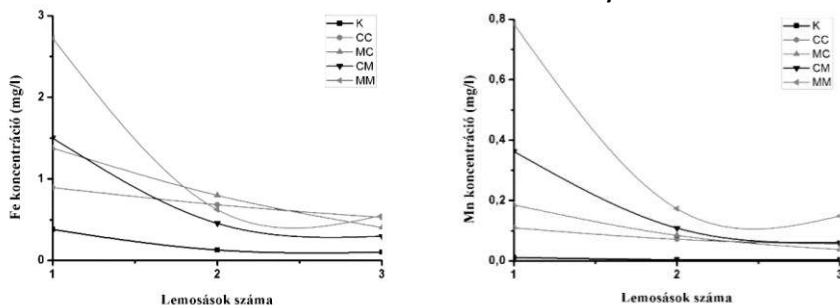
Az *Artemiák* dúsítást követő, desztillált vízzel való átmosása vitatott kérdés, egyesek szerint ugyanis a desztillált vízzel való lemosással az ozmózis jelenségének hatására kioldhatjuk az élőlényekből a dúsított nyomelemeket, másrészt viszont, ha egyáltalán nem mossuk át az *Artemiákat*, akkor a felületükön maradt, nyomelemeket tartalmazó víz koncentrációját hozzámérhetjük a tényleges, *Artemiákban* dúsult nyomelem koncentrációhoz (Fehér és mts-i, 2013).

Ennek a kérdésnek a vizsgálatát úgy próbáltuk megoldani, hogy a lemosás során használt desztillált vizet három körben felfogtuk centrifuga csövekben, majd MP-AES készülék segítségével megmértük a mosófolyadékokban a dúsításra használt nehézfémek koncentrációját.

A vártak megfelelően a nyomelemek koncentrációja fokozatosan csökkent a lemosó vízben, bár a három átmosás hatására még teljes mértékben nem csökkent le, tehát több öblítés szükséges a dúsító folyadék maradéktalan eltávolításához. Az első átmosást követően felfogott mosófolyadékban viszonylag nagy dózisban volt jelen mindkét dúsított nyomelem, amiből arra következtettünk, hogy ez a koncentráció nem lehetett az *Artemiákból* való kioldás eredménye.

Ezek alapján a lemosás mindenképpen indokoltnak bizonyult, ugyanis kisebb szisztematikus hibát követhetünk el azzal, ha átmosuk az *Artemiákat*, mintha mosás nélkül, a felületükön maradt dúsító víz koncentrációját is hozzámérjük a valós eredményekhez (5. ábra).

5. ábra: Fe és Mn koncentráció csökkenése a lemosó folyadékban az átmosások során

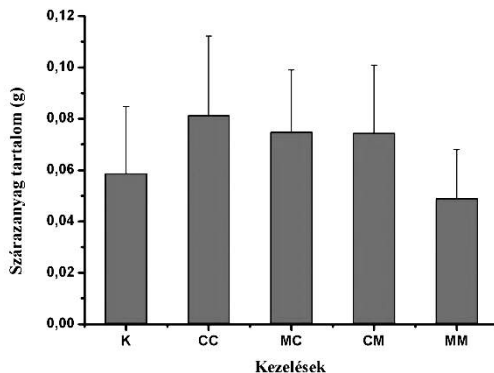


Artemiák szárazanyag tartalma

Ezek mellett tanulmányoztuk a kezeléseket hatását az minták szárazanyag tartalmára. Az *Artemia* minták tömegét gravimetriásan határoztuk meg. Négy tizedes jegy pontossággal, analitikai mérleg segítségével mértük le a nedves tömegüket a szűrést

követően, majd a szárítás után a száraz tömegüket. Bár szemmel látható változás van a kezeléseket szárazanyag tartalma között, ezt statisztikailag nem tudtuk igazolni, mivel a varianciaanalízis nem mutatott szignifikáns eltérést közöttük (6. ábra).

6. ábra: Az *Artemiák* szárazanyag tartalma a kezeléseket hatására (g, átlag±SE, n=5)



Összefoglalás

A kísérletünk során vas és mangán akkumulációját tanulmányoztuk egy sósvízi rákfajban, az *Artemia nauplii*ban.

A Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszéke egy projekt keretében vizsgálta a felső-tiszai holtmedrek fémszennyezettségét. A kísérletünk első szakaszában a kutatócsoport által mért értékek szerint állítottuk be a kezeléseket vas és mangán koncentrációját - melyek alapján a holtmedreket szennyezett és erősen

szennyezett kategóriába sorolták – ezek azonban nem okoztak jelentős változást a sórákok vas és mangán szintjében. Az ehhez képest tízszeresére beállított dózis viszont már szignifikáns koncentrációnövekedést eredményezett az *Artemiák*ban.

A vas szintjének emelkedését statisztikailag nem tudtuk igazolni, ami valószínűleg azzal magyarázható, hogy a vas(III)-klorid vizes oldatban hidrolizál, vörösesbarna színű vas(III)-hidroxid csapadék keletkezik, ami az élőlények

száma nem felvehető. A mangán szintje ezzel szemben a koncentráció növelésével arányosan változott az élőlényekben, ami statisztikailag is igazolható volt, mivel a varianciaanalízis szerint azok a csoportok, melyekben maximális mangán koncentrációt alkalmaztunk, szignifikánsan különböznek a közepes mangán koncentrációt tartalmazó, illetve a kezelés nélküli csoportoktól.

A sórákok mangán felvételét Nguyen és mts-i (2008) is vizsgálták, és az alkalmazott koncentrációval arányos változást tapasztaltak, a kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb mangán tartalmat mértek a kezelt csoportokban. Hét másik elem (Ca, Cu, K, Mg, Na, Pb és Zn) koncentráció szintjének a változását is vizsgáltuk az *Artemiák*ban, az esetleges szinergista vagy antagonistá hatások megállapítására, statisztikailag igazolható különbséget azonban nem találtunk a kezelések között.

A megemelt nehézfém koncentráció tízszeres dózisban sem okozott elhullást a sósvízi sórákfajnál, az élőlényeknek sem vitalitásuk, sem pedig mozgékonyaságuk nem csökkent a kezelések hatására. Ez igazolja Gajbhiye és Hirota (1990) következtetéseit, mely szerint az *Artemia nauplii* a különböző nehézfémekkel szemben széles koncentráció tartományában ellenálló. A vízi ökoszisztéma többi tagjára nézve ez azért jelenthet kockázatot, mivel ezek

a tápláléklánc legalján álló, egyszerű testfelépítésű élőlények ugyan akkumulálják a szervezetükben a nehézfémeket, de ők maguk nem károsodnak a szennyezés hatására, az őket elfogyasztó fejlettebb, bonyolultabb testfelépítésű élőlények azonban már sokkal érzékenyebben reagálnak a szervezetükbe került nehézfémek hatására.

A kutatómunkánk további céljaként tűztük ki a manapság még új technológiának számító MP-AES alkalmazásának vizsgálatát a környezeti mintákból történő nyomelem meghatározására, mivel ezzel kapcsolatban kevés irodalmi adat áll rendelkezésünkre. A kapott mérési eredményeket az ICP-OES készülékkel mért adatokkal összehasonlítva nem tapasztaltunk eltérést, tehát elmondható, hogy ezzel a költséghatékonyabb módszerrel is meghatározhatók az elemek szerves környezeti mintákból.

Emellett megvizsgáltuk a kezelések hatását az *Artemiák* szárazanyag tartalmára, szignifikáns különbség viszont nem volt a csoportok között, így elmondható, hogy a kezeléseknél nem volt hatása a szárazanyag tartalom változására. Ez az eredmény egyezik a Nguyen és mts-i (2008) által közölt eredményekkel, ugyanis Zn és Mn dúsítás hatására ők sem tapasztaltak jelentős eltérést a különböző kezelések szárazanyag tartalma között.

Felhasznált irodalom

- [1.] Benijts, F., Vanvoorden, E., Sorgeloos, P. (1976). Changes in the biochemical composition of the early larval stages of the brine shrimp, *Artemia salina* L. In: Persoone, G., Jaspers, E., (Eds.), Proceeding of the 10th European Symposium on Marine Biology. Research in Mariculture at Laboratory and Pilot Scale, vol. 1. Universa Press, Wetteren, 1-9.
- [2.] Fehér M., Baranyai E., Simon E., Bársony P., Szűcs I., Posta J., Stündl L. (2013). The interactive effect of cobalt enrichment in *Artemia* on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*, *Aquaculture* 414–415, 92–99.
- [3.] Gajbhiye, S.N., Hirota, R. (1990). Toxicity of heavy metals to brine shrimp *Artemia*, *Journal of the Indian Fisheries Association*, 20, 43-50.
- [4.] Islam, M. S., Ahmed, K., Raknuzzaman, M., Mamun, H., Islam, M. K. (2014). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country, *Ecological Indicators* 48, 282–291.
- [5.] Kamala, C. T., Balam, V., Dharmendra, V., Satyanarayanan, M., Subramanyam, K. S. V., Krishnaiah, A. (2014). Application of Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometry

- (MP-AES) for environmental monitoring of industrially contaminated sites in Hyderabad City, *Environ Monit Assess* 186:7097–7113 DOI 10.1007/s10661-014-3913-4.
- [6.] MSZ 12749:1993
- [7.] Nguyen, V T., Satoh, S., Haga, Y., Fushimi, H., Kotani, T. (2008). Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae, *Aquaculture* 285, 184–192.
- [8.] Sarabia, R., Torreblanca, A., Del Ramo, J., Diaz-Mayans, J. (1997). Effects of low mercury concentration exposure on hatching, growth and survival in the *Artemia* strain La Mata parthenogenetic diploid, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 120, 93–97.
- [9.] Sfakianakis, D. G., Renieri, E., Kentouri, M., Tsatsakis, A. M. (2014). Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review, *Environmental Research* 137, 246–255.
- [10.] Thompson, M. (1983). *A Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry*, Chapman and Hall, New York, 1-2.
- [11.] Watanabe, T., Kiron, V., Satoh, S. (1997). Trace minerals in fish nutrition, *Aquaculture* 151, 185-207.