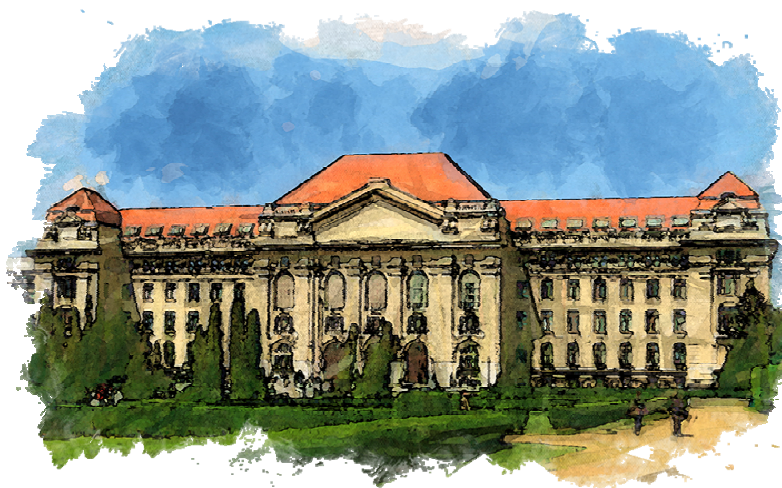


DEBRECENI EGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI KAR
HIDROBIOLÓGIAI TANSZÉK

XXXII. OTDK BIOLÓGIA SZEKCIÓ

**Fémakkumuláció vizsgálata a Szamos hazai szakaszán élő
különböző táplálkozású halfajok egynyaras (0+) egyedeiben**



Készítette:

Nyeste Krisztián József, I. Hidrobiológus MSc

Dobrocsi Patrik András, II. Biomérnök BSc

Témavezetők:

Dr. Antal László egyetemi adjunktus, DE TTK Hidrobiológiai Tanszék

Dr. Simon Edina egyetemi adjunktus, DE TTK Ökológiai Tanszék

**Debrecen
2014**

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	2
1.1. Bevezetés, irodalmi áttekintés	2
1.2. Célkitűzés.....	6
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	7
2.1. Mintavétel	7
2.2. Laboratóriumi feldolgozás	8
2.3. Statisztikai módszerek	8
3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	10
3.1. A mintacsoportok fémkoncentrációinak összehasonlítása.....	10
3.2. A fajok és a szervek elemenkénti összehasonlítása	13
3.3. Az elemenkénti összehasonlítás eredményei	14
3.3.1. Makroelemek.....	15
3.3.2. Mikroelemek	19
4. ÖSSZEFOGLALÁS	26
5. IRODALOMJEGYZÉK	28
6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	33
7. FÜGGELÉK	34

1. BEVEZETÉS

1.1. Bevezetés, irodalmi áttekintés

A növekvő népesség, a fokozott városiasodás, illetve a folyamatosan fejlődő ipari és mezőgazdasági tevékenységek jelentős hatással vannak a Föld vízkészletére (FÖRSTNER & WITTMAN 1979, SAAD ET AL. 1994). A kémiai eredetű környezetterhelés nemcsak a vizek fizikai és kémiai paramétereit érinti, hanem az egész élővilágot (KÁDÁR 1995, 2001, MACDONALD ET AL. 2000). A különböző szennyezők közül kiemelt fontosságúak a nem biodegradábilis, vagyis az élő szervezet által le nem bontható nehézfémek, melyek a bioakkumuláció és a biomagnifikáció révén toxikus koncentrációkban is feldúsulhatnak a táplálékhálózatokban (JEFFERIES & FIRESTONE 1984). Ebből adódóan az akkumulálódó elemek leginkább a táplálékhálózatok felsőbb szintjein elhelyezkedő szervezetekre vannak hatással, így például a madarakra és a halakra, közvetítésükkel pedig az emberekre is (WRIGHT & MASON 1999). Annak ellenére azonban, hogy mind ökológiai, mind természetvédelmi, mind pedig élelmiszerbiztonsági szempontból a nehézfémek jelentős hatással bírnak, a táplálékhálózatokban történő magnifikációs sajátosságaikról hiányosak az ismereteink.

A halhús az emberiség számára ősidők óta az egyik legfontosabb teljes értékű fehérjeforrás, számos országban mindennapi tápláléknak számít. Ebből következően a halfogyasztás az egyik legjelentősebb nehézfém-expozíciós útvonalat jelenti, nemcsak az emberiség, hanem számos öket fogyasztó ragadozó számára is. Az ökoszisztémákban lejátszódó nehézfém-felhalmozódás tekintetében a halak sok esetben központi szerepet játszanak (CHALMERS ET AL. 2011, VALOVÁ ET AL. 2013). Emellett, mivel életük minden periódusát a vízben töltik, kiválóan indikálják a vízminőség változásait, így vizsgálatuk több okból is kiemelt fontosságú (CHOVANEC ET AL. 2003, LAMAS ET AL. 2007).

A halak számára a nehézfémek fő forrásai a táplálékhálózat alsóbb szintjein elhelyezkedő táplálékszervezetek, illetve éltető közegük, a víz (FARKAS ET AL. 2003). Ezek három fő úton juthatnak a testükbe: az emésztőszervrendszeren, a kopolyúkon, illetve a testfelszínen keresztül (DALLINGER ET AL. 1987, POURANG 1995). A nehézfémek a keringésbe bejutva, az ott lévő plazmaproteinekhez és a hemoglobinhoz kapcsolódva elszállítódnak a sejtekhez, és a sejtmembránok ioncsatornáin kompetíció révén bekerülnek a citoplazmába (KOVÁCS & KISS 2010). Az egyes szervezetekben eltérő koncentrációban halmozódnak fel (HERMESZ ET AL. 2001). A különböző halfajok nehézfém-tartalma jelentős eltéréseket

mutathat, ugyanis függ az adott faj ökológiai igényeitől, az életmenet-sajátságaitól, a táplálkozási jellemzőitől (CANPOLAT & ÇALTA 2003), az egyed korától és méretétől (NEWMAN & DOUBET 1989), továbbá a különböző környezeti tényezőktől (pl. az évszaktól, a víz fiziko-kémiai paramétereitől) (ZHONG & WHONG 2007).

Vizsgálatunk alapjául három, eltérő táplálkozási guildbe tartozó halfajt (HALASI-KOVÁCS & TÓTHMÉRÉSZ 2011), a paducot [*Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758)], a márnát [*Barbus barbus* (Linnaeus, 1758)] és a domolykót [*Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)] választottuk. Ezek mindegyike áramláskedvelő, reofil halfaj, Európa-szerte széles körben elterjedtek, a Szamos teljes hazai szakaszán jellemzőek (HARKA 1995, BĂNĂRESCU ET AL. 1999, HARKA & SALLAI 2004). ANTAL ÉS MUNKATÁRSAI (2013) a 2000. évi cianid- és nehézfémzennyezést követően 2004 és 2009 között évi három alkalommal vizsgálták a Szamos halfaunáját. Felméréseikben a paduc 0,25–2,89%, a márna és domolykó minden esetben viszonylag nagy egyedszámmal, 0,48–22,82%, illetve 3,82–17,43% között változó relatív gyakorisággal fordult elő.

A paduc (1. kép) a róla elnevezett szinttájban az egyik leggyakoribb halfaj, de a márnazónában is előfordulhat nagyobb egyedszámban. Magyarország egyetlen halfaja, melynek fő tápláléka a víz alatti köveken és tárgyakon kialakuló, nagyrészt különböző fonalas és kovaalgákból álló élőbevonat (biotekton) (HARKA & SALLAI 2004, CZEGLÉDI & ERŐS 2013). Ezen táplálkozási módhoz kitűnően alkalmazkodott a vésőszerűen éles alsó ajka, melynek segítségével képes az élőbevonat lefejtésére.



1. kép. A herbivor táplálkozású paduc

A márna (2. kép) a róla elnevezett márnaszinttájban fordul elő legnagyobb gyakorisággal, azonban a pérzónától a dévérzónáig megtalálható. A folyóvizekből származó

halzsákmány egyik igen jelentős összetevője, halászati és horgászati módszerekkel egyaránt jól fogható. A mederfenéken keresi táplálékát, melyet zömmel férgek, rovarlárvák, csigák és egyéb gerinctelen állatok alkotnak, de mellettük jelentős mértékben fogyaszt növényi anyagokat és szerves törmelékeket is. Nagyobb példányai alkalmanként halivadékokat is zsákmányolnak (HARKA & SALLAI 2004).



2. kép. Az invertivor/bentivor táplálkozású márna

A domolykó (3. kép) főként a nagyobb vízfolyások márnaszíntjén fordul elő, azonban igen gyakori a dombvidéki vízfolyások róla elnevezett zónájában is. Nemcsak Magyarországon, hanem egész Európa-szerte jelentős részét teszi ki a horgászzsákmánynak (CAFFREY ET AL. 2008). A fiatal ivadékok főleg planktonszervezetekkel, később növényi anyagokkal, valamint vízi és vízre hulló gerinctelenekkel, az idősebb példányok pedig részben halakkal táplálkoznak (HARKA & SALLAI 2004, CZEGLÉDI & ERŐS 2012, 2013).



3. kép. Az omnivor táplálkozású domolykó

Az utóbbi néhány évtizedben több dolgozat is foglalkozott a magyarországi vízfolyások és állóvizek nehézfém tartalmának vizsgálatával (WAIJANDT & BANCSEI 1989, KISS & SIPOS 2001, CSÉPES ET AL. 2001, SZLEPÁK 2002, HUM & MATSCHULLAT 2005, SZÍTÓ & ARANYNÉ RÓZSAVÁRI 2005). Ezek alapján kijelenthető, hogy a Tisza vízrendszerét már hosszú ideje érik nehézfém tartalmú szennyezések, ám ezek nem tartalmaztak magas koncentrációban cianidot, mint a 2000. évi szennyezés, így hatásuk nem volt annyira feltűnő (HUM & MATSCHULLAT 2005). A halak nehézfém tartalmára irányuló vizsgálatok a 2000. évi tiszai cianid- és nehézfém szennyezést követően gyakoribbá váltak (NAGY ET AL. 2001, 2002, 2003, KOVÁCS & KISS 2010), de ezek mindegyike az adott víztér jellemzését tűzte ki célul.

A paduc fémakkumulációját több szerző is vizsgálta (KÖHLER ET AL. 2007, JIRSKA ET AL. 2008, KOCA ET AL. 2008, TRIEBESKORN ET AL. 2008). Mivel a paduc elsősorban algafogyasztó, érdemes számba venni az édesvízi algák olykor jelentős fémakkumulációs sajátosságait is (DOSHI ET AL. 2008, THANG ET AL. 2014). A szakirodalmi adatok alapján a nehézfémek adott víztesten belül általában nagyobb mértékben akkumulálódnak az aljzaton táplálkozó, az üledéket folyamatosan felkeverő halfajokban, mint pl. a márnában (BAJC ET AL. 2005, KÖHLER ET AL. 2007, TRIEBESKORN ET AL. 2008, KOVÁCS & KISS 2010). A domolykó számos vízfolyás táplálkozási hálózatának a csúcsán helyezkedik el, továbbá az európai halász- és horgászszákmány jelentős részét teszi ki. Részben ez is magyarázata annak, hogy a domolykó fémakkumulációjával számos külföldi dolgozat foglalkozik (pl.: DRAGUN ET AL. 2007, 2009, TRIEBESKORN ET AL. 2007, YILMAZ ET AL. 2007, HARKABUSOVÁ ET AL. 2012, SAYGI & YIĞIT 2012, KRASNIČI ET AL. 2013).

1.2. Célkitűzés

Fő célunk volt, hogy a főleg ipari és bányászati eredetű fémszennyezéseknek folyamatosan kitett Szamosban élő paduc, márna és domolykó egynyaras egyedeit tíz makro- és mikroelem-tartalomra (esszenciális és nem esszenciális nehézfémekre is) kiterjedően vizsgáljuk, mikrohullámú plazma atomemisziós spektrometriai (MP-AES) eljárás segítségével.

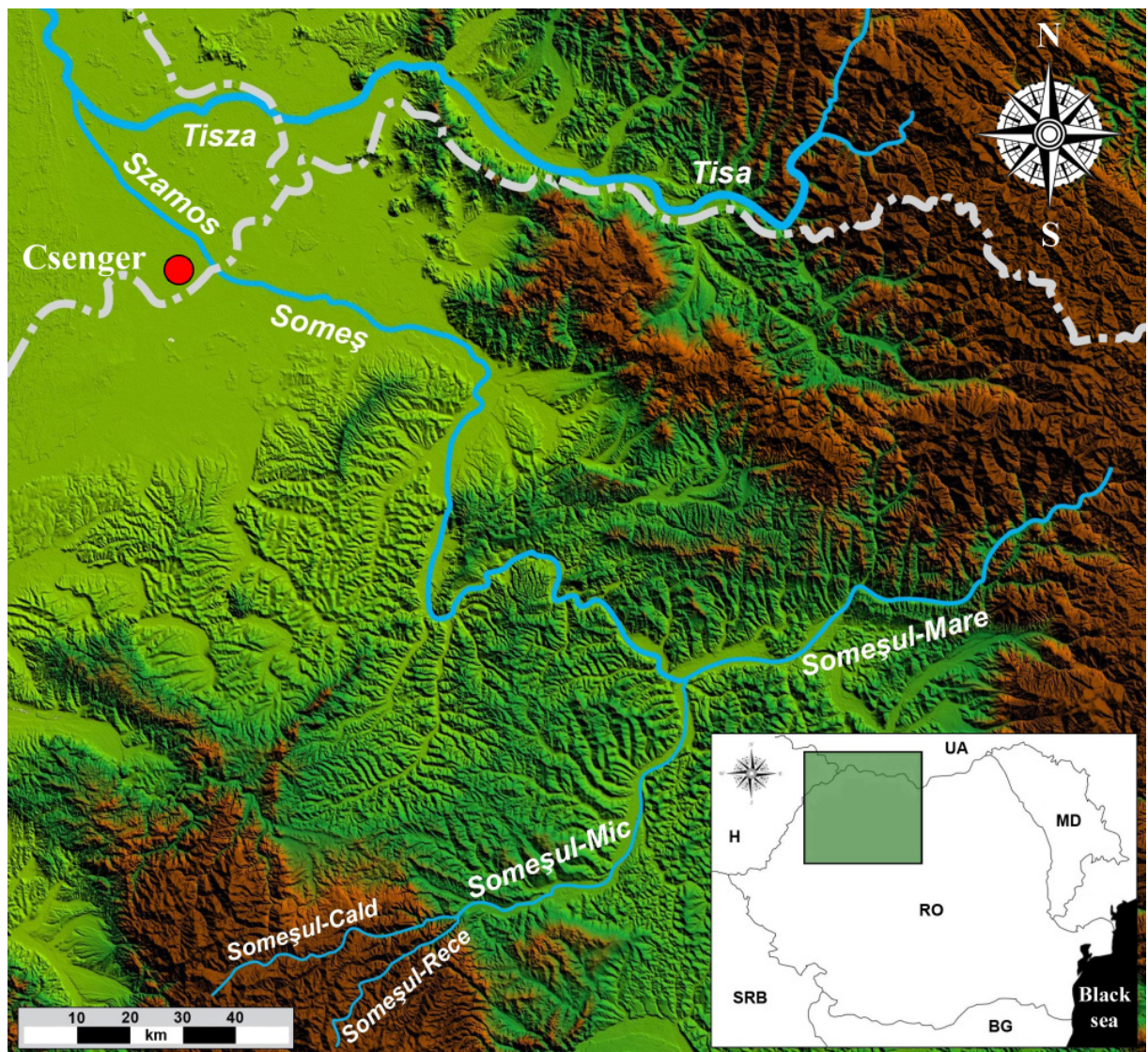
Munkánk során az alábbi kérdésekre kerestük a válaszokat:

- 1.) A fajokon belül milyen az egyes makro- és mikroelemek eloszlása a vázizomszövetben, a kopoltyúban, illetve a májban, továbbá jellemző-e bármelyik fém szervspecifikus feldúsulása?
- 2.) A makro- és mikroelemek tekintetében tapasztalható-e bármilyen különbség a különböző táplálkozású halfajok esetén?
- 3.) Az egyes fémek fajonkénti, illetve szervenkénti eloszlásában tapasztalható-e bármilyen tendencia, s ha igen, azok hogyan magyarázhatók?

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Mintavétel

Előzetesen fajonként mindössze öt-öt egynyaras egyed begyűjtésére kaptunk engedélyt a halászati hasznosítótól, melyeket 2013 novemberében a Szamos csengeri szakaszán (1. ábra), a magyar-román határ közelében gyűjtöttük. A lelőhely GPS koordinátái: 47°50'N, 22°41'E. Az egyedek standard (SL), illetve teljes testhosszát (TL) századmilliméteres pontosságú, digitális tolómérővel a helyszínen határoztuk meg. Az egyedek életkorát a szakirodalomban talált növekedésvizsgálati eredmények segítségével becsültük meg (GYÖRE 1995, VLACH ET AL. 2005, EPLER ET AL. 2009).



1. ábra: A Szamos vízgyűjtője és a mintavétel helye

A mintavétel során egy pulzáló egyenárammal működő német gyártmányú Hans Grassl IG200/2B típusú, akkumulátoros kutatói halászgépet használtunk. A víz mélysége miatt a gyűjtés csónakból történt. A kifogott egyedeket a laboratóriumi feldolgozásig mélyhűtőben, -18°C hőmérsékleten tároltuk.

2.2. Laboratóriumi feldolgozás

A laboratóriumi feldolgozást megelőzően az egyes egyedek testtömegét (W) századgramm pontosságú digitális táramérlegen határoztuk meg. Az egyes szövetek szennyezésének megelőzése érdekében a boncolás során minden esetben steril műanyag eszközöket használtunk. Elsőként az egyedek háti részéről eltávolítottuk a pikkelyeket, illetve a teljes bőrszövetet, majd innen preparáltuk ki a vizsgálathoz szükséges vázizomszöveti mintákat. Ezt követően előbb a kopolyúfedele (operculum) távolítottuk el, hogy hozzáférhessünk a kopolyúlemezekhez. Végezetül a hasüreg feltárását követően a májat is kipreparáltuk. A nedves mintákat 18 órán keresztül 105°C -on tömegállandóságig szárítottuk. A nedves és a száraz minták tömegét századmiligrammos pontosságú digitális táramérleggel határoztuk meg.

A feltárás során 4 ml cc. HNO_3 -oldatot adtunk a száraz mintákhoz, melyeket ezután főzőlapon 100°C -os hőmérsékleten szárazra pároltuk. Ezt követően 2 ml desztillált vizet és 0,5 ml H_2O_2 -oldatot hozzáadva, a maradék részek teljes mértékű bepárlását is elvégeztük 100°C -on. A kellő mértékben lehűlt mintát 1 V/V%-os HNO_3 -oldat segítségével, ultrahangos vízfürdőben oldatba vittük, majd műanyag kémcsövekben 1 V/V%-os HNO_3 -oldattal 10 ml-ig egészítettük ki. Az ilyen módon oldatban tárolt, feltárt minta makro- és mikroelem-tartalmát Agilent Technologies 4100 típusú, mikrohullámú plazma atomemisziós spektrométer (MP-AES) segítségével határoztuk meg. Az eljárás segítségével szinte bármilyen, előzetesen oldat formájába vitt minta elemösszetétele vizsgálható (DAHLQUIST & KNOLL 1978).

2.3. Statisztikai módszerek

Adatelemzéseinkhez az egyes elemek mért koncentrációit a szervek száraztömegére határoztuk meg mg/kg mértékegységben. A varianciák homogenitását a Levene-tesztel vizsgáltuk. A mintacsoportok fémkoncentrációit kanonikus diszkriminancia-analízis (CDA)

segítségével elemeztük és ábrázoltuk (DAVIES & FEARN 2008), amihez az IBM SPSS 22.0 verziójú programcsomagot használtuk (IBM CORP. RELEASED 2013). Az egyes fajok, illetve a szervek fémtartalmának elemenkénti viszonyát általánosított lineáris modellel (GLZ) vizsgáltuk (McCULLAGH & NELDER 1989), amit a STATISTICA 12.0 program segítségével végeztünk el (STATSOFT 2013). Az egyes szervek fajonkénti fémtartalma közötti különbségek vizsgálatához Kruskal–Wallis-tesztet alkalmaztunk, a páronkénti szignifikanciaszintet pedig a Mann–Whitney-féle többszörös összehasonlító tesztel vizsgáltuk, melyekhez a Past 3.03 programcsomagot használtuk (HAMMER ET AL. 2001). Az egyes fajok szerveinek fémtartalmát a STATISTICA 12.0 program 2D Box Plots ábrázolásmódjával szemléltettük (STATSOFT 2013). Egyéb adatelemzéshez a Microsoft Excel 2003 programot használtuk.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

3.1. A mintacsoportok fémkoncentrációinak összehasonlítása

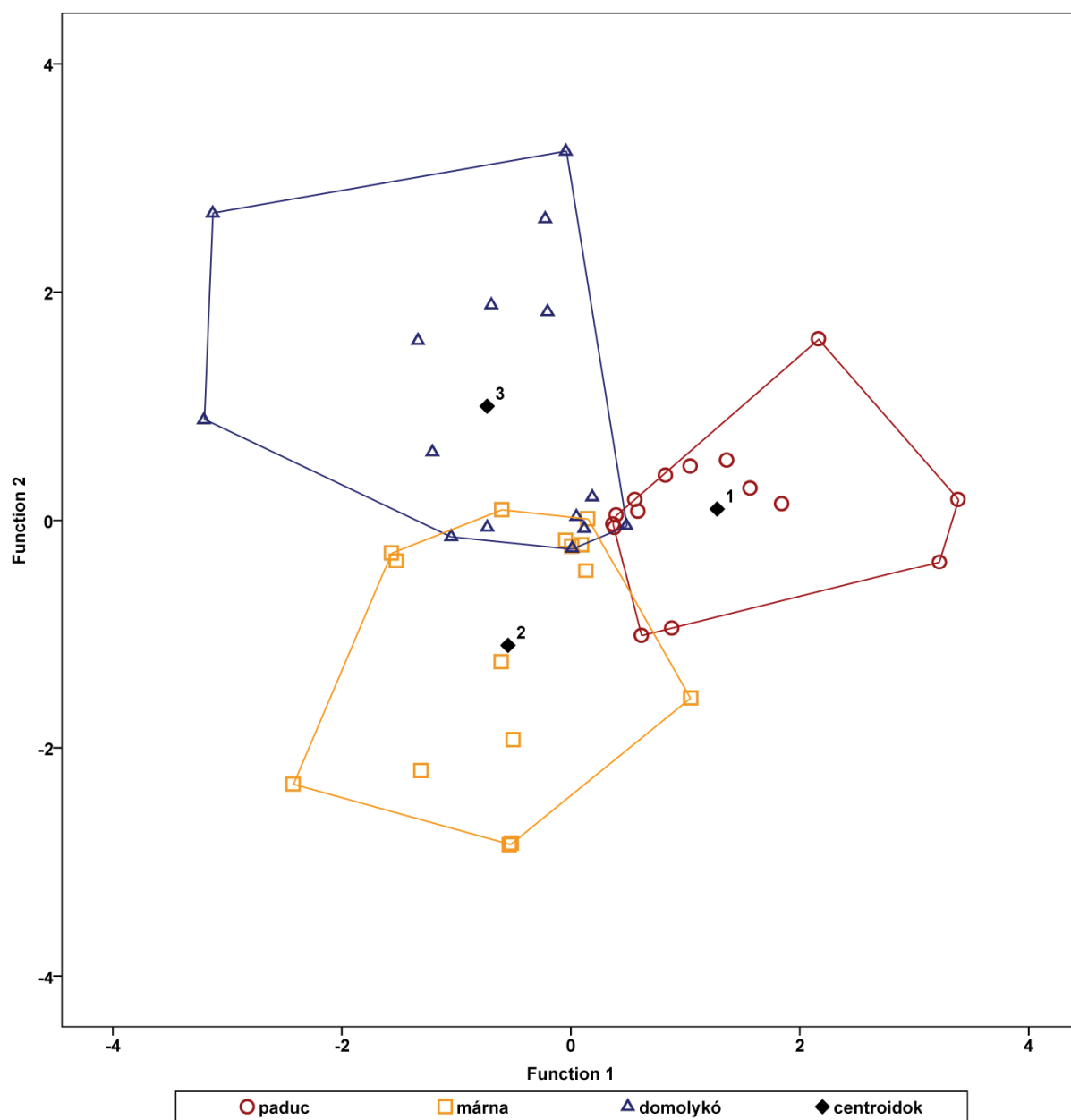
Az MP-AES eljárás során meghatározott szervenkénti elemkoncentrációk átlag- és szórásértékeit az *1. függelék* táblázata foglalja össze. A három halfaj fémkoncentrációi alapján végzett diszkriminancia-elemzés során kapott eredményeket az *1. táblázat*, míg az ez alapján készített ordinációs diagramot az *2. ábra* mutatja be.

1. táblázat. A fajok esetén jellemző fémtartalom diszkriminancia-elemzésének összefoglalása és a diszperziós mátrix bemutatása. A diszkriminancia függvény és a változók közötti korrelációs értékek közül a félkövér számmal jelzettek voltak szignifikánsak.

	Diszkriminancia funkció	
	I.	II.
Sajátérték	0,9	0,8
Variancia%	52,6	47,4
Kummulatív%	52,6	100
Kanonikus%	0,69	0,67
Wilks' lambda	0,30	0,56
Chi ²	45,6	21,9
df	20	9
p érték	0,001	0,009
<i>Elem mátrix</i>		
Sr	-0,346	-0,081
K	0,282	-0,068
Zn	0,240	-0,232
Ca	0,144	-0,102
Na	-0,138	-0,039
Mn	0,009	0,208
Pb	0,011	-0,186
Fe	-0,002	-0,178
Cu	0,134	-0,144
Mg	-0,075	-0,141

A fémtartalom adataival végzett diszkriminancia-analízis eredményei rámutatnak, hogy az egyes fajok jól elkülönülnek, azonban kisebb átfedések is tapasztalhatók. A paduc és a másik két faj között kisebb, a márna és a domolykó között nagyobb átfedések mutatkoznak. Az első tengely a teljes variancia 52,6, míg a második a 47,4 százalékát magyarázza. Az *1. táblázat* alapján látható, hogy a csoportok első tengelyen való elválását a stroncium (Sr), a kálium (K), a cink (Zn), a kalcium (Ca) és a nátrium (Na), míg a második tengely esetén a

mangán (Mn), az ólom (Pb), a vas (Fe), a réz (Cu) és a magnézium (Mg) mért koncentrációi magyarázzák.



2. ábra. A három halfaj fémtartalmának diszkriminancia-elemzéséből kapott ordinációs diagram

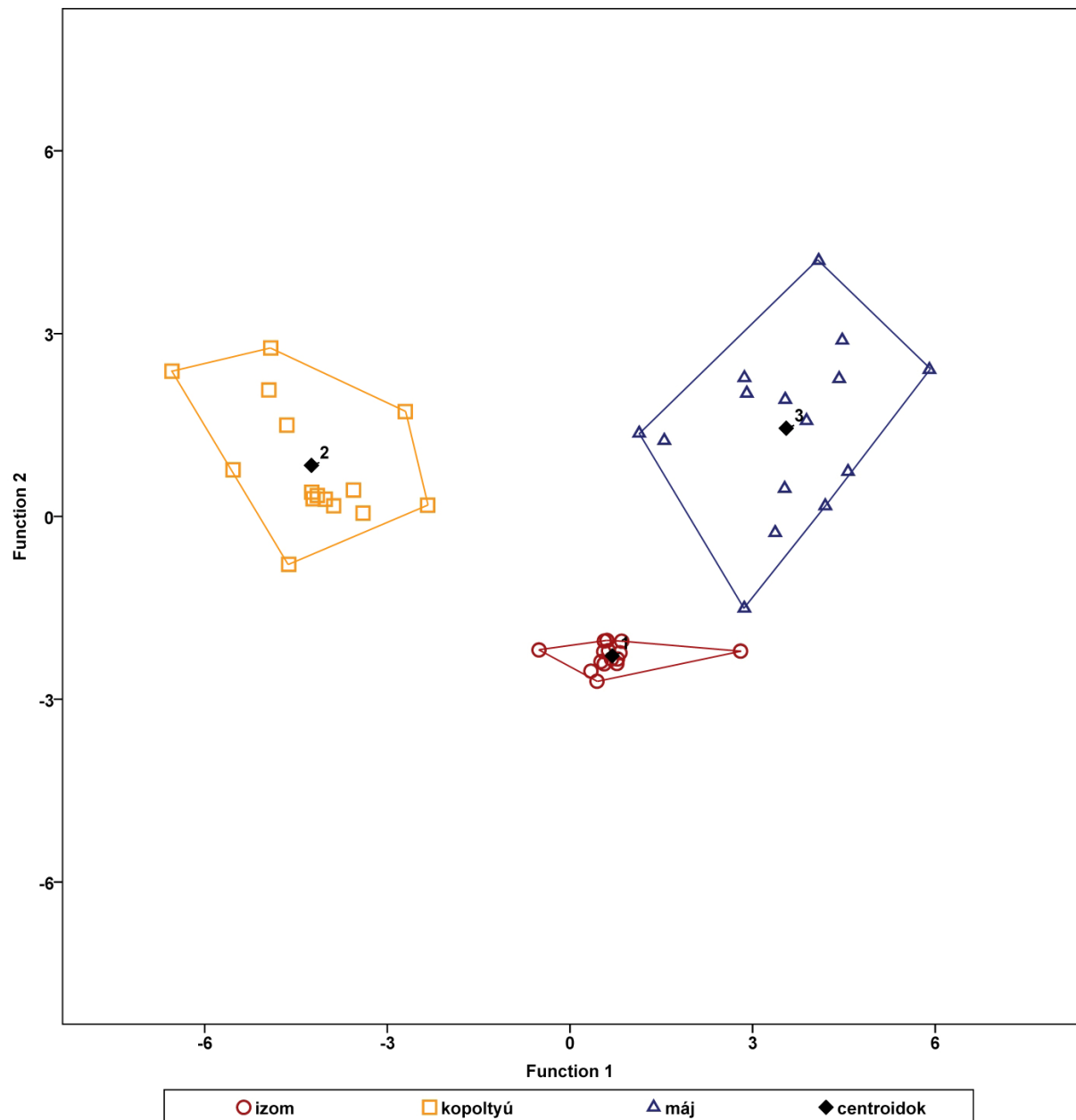
A szervek diszkriminancia-analíziséből kapott eredményeket a 2. táblázat, az ezek alapján kapott ordinációs diagramot pedig a 3. ábra mutatja be.

2. táblázat. A szervekben lévő fémtartalom diszkriminancia-elemzésének összefoglalása és a diszperziós mátrix bemutatása. A diszkriminancia-függvény és a változók közötti korrelációs értékek közül a félkövér számmal jelzettek voltak szignifikánsak.

	Diszkriminancia funkció	
	I.	II.
Saját érték	11,1	2,9
Variancia %	79,5	20,5
Kummulatív %	79,5	100
Kanonikus %	0,96	0,86
Wilks' lambda	0,021	0,258
Chi ²	144,3	50,8
df	20	9
p érték	<0,001	<0,001
<i>Elem mátrix</i>		
Sr	-0,387	0,363
K	0,223	0,074
Zn	0,161	0,554
Ca	-0,252	0,479
Na	0,264	0,454
Mn	-0,086	0,422
Pb	0,191	0,418
Fe	0,137	0,412
Cu	0,171	0,327
Mg	-0,054	0,313

A diszkriminancia-elemzés alapján szembetűnő, hogy az egyes szervek markánsan elkülönülnek egymástól fémtartalom szempontjából, átfedés egyik esetben sem tapasztalható. A csoportok közötti variancia nagyrészt az első tengely magyarázza (79,5 %), azonban ezzel a tengellyel erősebb korrelációt mindössze a stroncium- és a káliumtartalom mutat. Ezzel szemben a második tengely a variancia 20,5 százalékát magyarázza, de vele a cink, a kalcium, a nátrium, a mangán, az ólom, a vas, a réz és a magnézium koncentrációi is szorosabb kapcsolatot mutatnak. A varianciák ilyen módon történő magyarázata a 2. ábrán is jól látható, az egyes szervek az első tengely mentén különülnek el legnagyobb mértékben. Emellett jól látszik, hogy míg a máj és a kopolytú a második tengely mentén kevésbé, addig az izom mindkét szervtől elkülönül. Ennek magyarázata lehet egyrészt az, hogy elsőnyaras egyedek esetén a vizsgált fémek nagyrészt inkább a fő méregtelenítő szervben, a májban, illetve számos elem számára elsődleges felszívódási teret nyújtó kopolytúban koncentrálnak,

másrészről az, hogy a fiatal egyedek esetén relatíve kevés idő áll rendelkezésre ahhoz, hogy ezen elemek az izomszövetbe nagyobb mennyiségben is átjussanak.



3. ábra. Az egyes szervek fémtartalmának diszkriminancia-elemzéséből kapott ordinációs diagram

3.2. A fajok és a szervek elemenkénti összehasonlítása

Az egyes fajok és a szervek fémtartalmának elemenkénti viszonyát leíró általánosított lineáris modell (GLZ) eredményeit a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. Az egyes fajok és szervek fémtartalom szerinti viszonyának vizsgálata általános lineáris modell (GLZ) eljárás segítségével. A táblázatban az eljárás során kapott indikátor értékek (p) vannak feltüntetve. Félkövérrrel szedett $p < 0.05$ esetén a vizsgált csoporton belül az adott fémtartalom alapján szignifikáns eltérés található.

Elemek	Intercept	Faj	Szerv	Faj*szer
Ca	<0,001	0,914	0,021	0,978
K	<0,001	0,976	0,793	0,999
Na	<0,001	0,996	0,531	0,999
Mg	<0,001	0,926	0,789	0,999
Fe	<0,001	0,868	0,013	0,962
Cu	<0,001	0,872	0,046	0,661
Pb	<0,001	0,854	0,034	0,985
Mn	<0,001	0,573	<0,001	0,970
Sr	<0,001	0,971	<0,001	0,981
Zn	<0,001	0,583	0,028	0,999

A modell szerint faj és a faj*szer interakció esetén egyetlen elemre nézve sincsenek szignifikáns különbségek. Ez alátámasztja az előzetesen a fajokra elvégzett CDA ordinációs diagramján látható gyengébb elkülönülést, illetve az egyes csoportok közötti átfedéseket (2. ábra).

A vizsgált makroelemek tekintetében az egyes szervek között mindössze a kalcium esetén mutatkozott szignifikáns eltérés. Ezzel szemben az esszenciális és nem esszenciális nehézfémek szervenkénti mennyiségei között minden esetben szignifikáns eltérést tapasztaltunk ($p < 0,05$). A modell ez esetben is alátámasztja az előzetesen elvégzett diszkriminancia-elemzés eredményeit, a szervek fémtartalom tekintetében az ordinációs diagramon éles elválást mutattak (3. ábra).

3.3. Az elemenkénti összehasonlítás eredményei

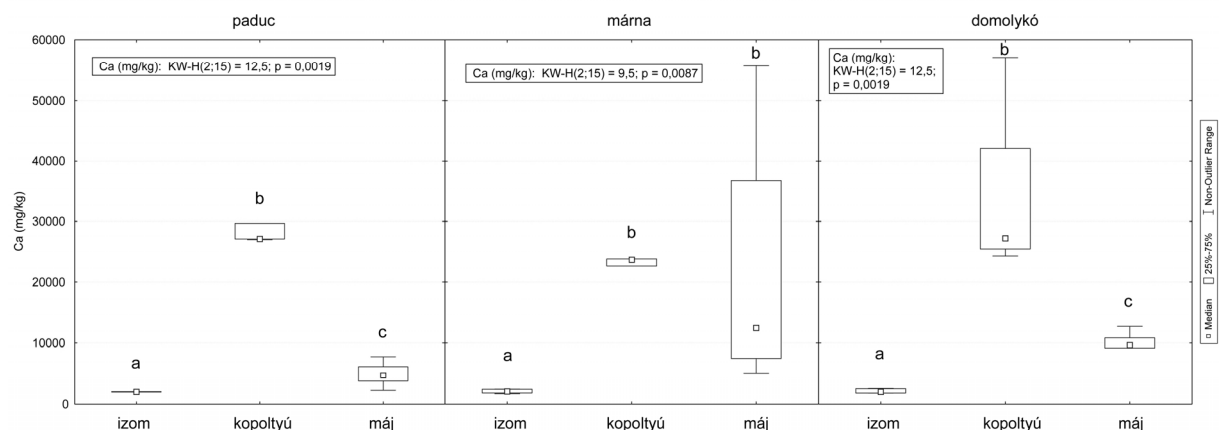
A fémionok mennyiségi mintázatának értékelése során érdemes szem előtt tartani azt, hogy az egyes fémek más és más szerepet töltenek be az élő szervezetben. Az élőlények számára nélkülözhetetlen, ún. biogén elemek egyik csoportja a makroelemek, melyek viszonylag nagyobb mennyiségben fordulnak elő a szervezetben. Vizsgálati elemeink közül ezen csoportba tartozik a nátrium, a kálium, a kalcium és a magnézium. A biogén elemek egy másik csoportja a mikroelemek és a nyomelemek, melyek ugyan kisebb mennyiségben, de esszenciálisak az élő szervezet számára. Ezen csoportba tartozik az általunk vizsgált nehézfémek közül a vas, a mangán, a cink és a réz. A stroncium normális viszonyok között is előfordul kisebb mennyiségben a szervezetben, azonban szerepe – mint biogén elem –

kérdéses. Végezetül vannak olyan ún. nem esszenciális elemek, melyek az élő szervezet számára szükségtelenek, kisebb koncentrációban is képesek toxikus hatást kifejteni, vizsgált elemeink közül ilyen az ólom.

A könnyebb átláthatóság érdekében a makro- és mikroelemek koncentrációinak prezentálására a BOX-PLOT ábrázolási módot választottuk (4-12. ábra). A mérési adatokból minden egyes elem esetében Kruskal–Wallis-tesztet végeztünk, hogy megállapítsuk, fajonként van-e kimutatható szignifikáns különbség a szervek között a különböző fémek koncentrációjának vonatkozásában (4-12. ábra). Ezt követően mindhárom faj esetén az egyes szervek közötti páronkénti szignifikanciaszintet Mann–Whitney-féle többszörös összehasonlító teszttel vizsgáltuk (4-12. ábra). A páronkénti összehasonlítás során kapott szignifikáns különbségek meglétét a grafikonokon minden elem esetén az egyes szervekhez tartozó eltérő betű jelzi, fajonkénti bontásban (4-12. ábra).

3.3.1. Makroelemek

Kalcium (Ca)



4. ábra. Fajonként és szervenként mért kalciumkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

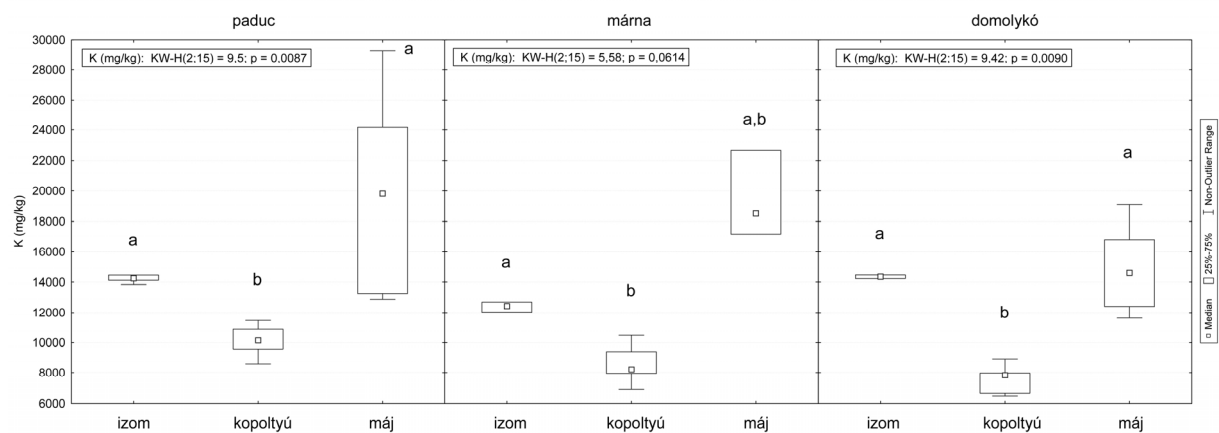
A kalcium minden élő szervezet számára nélkülözhetetlen biogén elem, elsősorban a halak vázában található meg nagy mennyiségben, de mint másodlagos hírvivő, minden élő sejtben előfordul.

A különböző szervekben mért kalciumkoncentrációk felhasználásával elvégzett Kruskal–Wallis-teszt minden egyes faj esetén szignifikáns elkülönülést mutatott ($p < 0,01$). A

Mann–Whitney-féle többszörös összehasonlító teszt alapján a paduc és a domolykó esetén mindhárom, míg a márna esetén az izom mutatott szignifikáns eltérést.

A 4. ábra alapján látszik, hogy a kalcium minden faj esetén a kopoltyúban található meg a legnagyobb mennyiségben. Ennek magyarázata alapvetően az, hogy maguk a kopoltyúlemezek, illetve az azokat támasztó kopoltyúívek nagy mennyiségben tartalmaznak kalciumot, továbbá a kalcium nagy része közvetlenül képes a kopoltyún keresztül felszívódni (FLIK & VERBOST 1993). A kopoltyú mellett a máj is nagyobb mennyiségben tartalmazott kalciumot, ugyanis a tápcsatornán keresztül is nagy mennyiségben juthat be a szervezetbe (FLIK & VERBOST 1993). A márna májában lévő nagyobb kalciumkoncentráció elsősorban a táplálkozási módjával magyarázható. A faj táplálékának jelentős hányadát az aljzaton élő ízeltlábúak (melyek egy részére kalciumtartalmú exoskeleton jellemző) és meszes vázú puhatestűek adják (VEREP ET AL. 2012). A domolykó esetén tapasztalt viszonylag magasabb kalciumkoncentráció magyarázhatja a faj 2. ábrán látható, második tengelyen való elkülönülését.

Kálium (K)



5. ábra. Fajonként és szervenként mért káliumkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

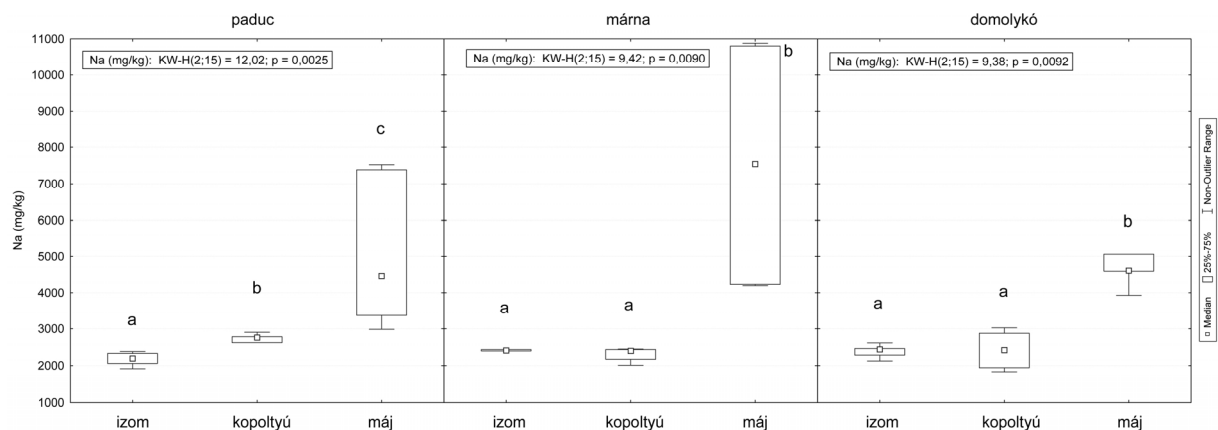
A kálium a szervezetben az egyik legnagyobb mennyiségben előforduló intracelluláris kation, minden szövetben jelen van. Mint elektrolit fontos szerepet játszik az ingerületátvitelben, az élő szervezetben lejátszódó elemi idegi jelenségek egyik fő felelős molekulája.

A káliumkoncentrációk Kruskal–Wallis-analízise alapján a paduc és a domolykó esetében szignifikáns különbség tapasztalható ($p < 0,01$). Az izomban és a májban mért

káliumkoncentrációk a Mann–Whitney-teszt alapján nem különböztek jelentős mértékben, azonban a kopoltyú mindhárom faj esetén szignifikáns eltérést mutatott ($p < 0,05$). A márna esetén a látszólagos ellentmondást, tehát a kétféle próba közötti különbséget (ami több elem esetén is előfordult) minden esetben az okozta, hogy a jobb átláthatóság kedvéért a BOX-PLOT ábrák elkészítésekor a jelentősebben kiugró értékektől eltekintettünk.

Az 5. ábrán tendenciaként mutatkozott, hogy a kopoltyú káliumtartalma a másik két szervhez képest alacsonyabb. Az izomban lévő nagyobb mennyiségű kálium elsősorban az izomműködésben betöltött fontos szerepével magyarázható (VENUGOPAL & SHAHIDI 1996). A máj, illetve az abban lévő nagyszámú mitokondrium nagy koncentrációban képes a kálium felvételére és raktározására (HARRIS ET AL. 1965), ez magyarázhatja, hogy mindhárom fajnál itt mértük a legnagyobb mennyiséget. A paduc esetén tapasztalt szervenkénti nagyobb káliumkoncentráció magyarázatot adhat a faj 2. ábrán látható, első tengelyen való elkülönülésére.

Nátrium (Na)



6. ábra. Fajonként és szervenként mért nátriumkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

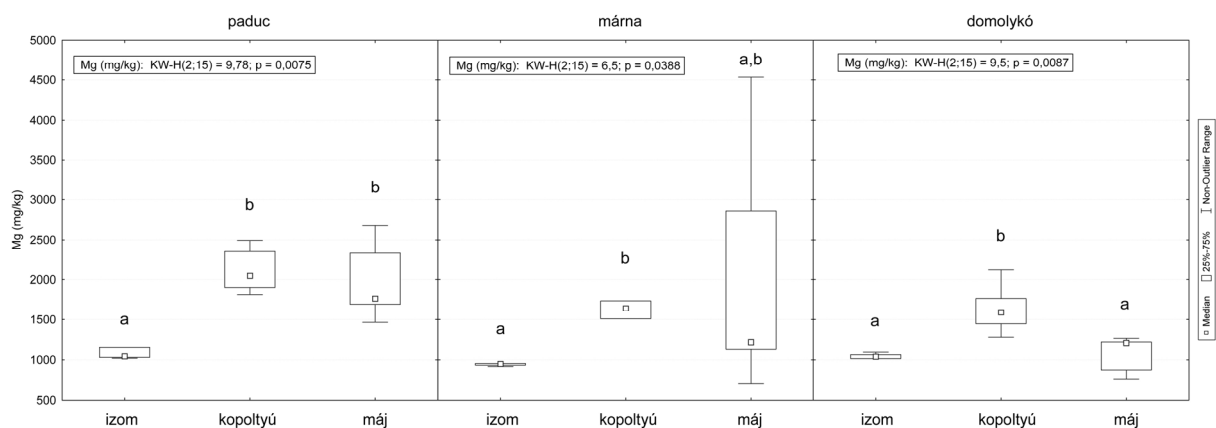
A nátrium a kálium mellett az egyik legfontosabb ozmotikum, elsősorban intracellulárisan, a testfolyadékban fordul elő nagyobb koncentrációkban. Az elemi idegjelenségek lejátszódásában, az ingerületvezetésben fontos elem.

A nátriumkoncentrációkon elvégzett Kruskal–Wallis-teszt alapján mindhárom faj esetén szignifikáns különbség mutatkozott ($p < 0,01$). A páronként elvégzett összehasonlítások alapján a paducnál mindhárom szerv elkülönült, a márna és a domolykó esetén azonban csak a

máj mutatott szignifikáns eltérést az izomhoz és a kopoltyúhoz képest. A legnagyobb átlagos nátriumkoncentráció mindhárom fajnál a májban volt.

A 6. ábrán jól látható, hogy minden faj esetén a máj tartalmazta a legtöbb nátriumot, ugyanis a májban lévő, elsősorban a mitokondriumhoz kötődő anyagcsere-folyamatokban nagy szerepe van a nátriumnak (MARJORIE ET AL. 1953). Az izomban tapasztalt viszonylag nagyobb mennyiséget a nátrium izomműködésben való részvétele, a kopoltyú esetén pedig az azon keresztül történő felvétel magyarázza. JEFFRE ÉS MUNKATÁRSAI (2014) szerint a májban lévő magasabb nátriumkoncentráció inhibálja a rézfelvételt.

Magnézium (Mg)



7. ábra. Fajonként és szervenként mért magnéziumkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

Az élő szervezetben a makroelemek közül alapvetően a magnézium fordul elő legkisebb koncentrációban. Fontos az idegrendszer és az izmok működésében, részt vesz a csontok felépítésében, továbbá számos enzim kofaktora.

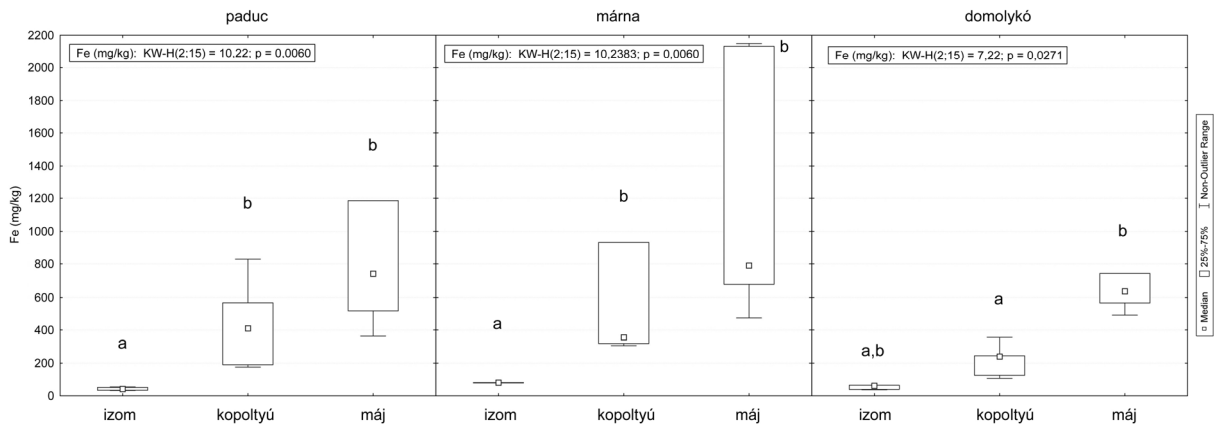
A magnéziumkoncentrációk felhasználásával elvégzett Kruskal–Wallis-analízis mindhárom fajnál szignifikáns eltérést mutatott ($p < 0,05$) (7. ábra). A paduc esetén az izom tért el szignifikánsan a másik két szervtől. A domolykónál a kopoltyú különbözött szignifikánsan az izomtól és a májtól. A márnánál az izom és a kopoltyú között mutatkozott eltérés.

A kopoltyúban mért nagyobb magnéziumkoncentráció magyarázata az, hogy a magnézium felszívódása elsősorban itt történik, továbbá a kopoltyúlemezek és a kopoltyúívek felépítésében a magnéziumnak fontos szerepe van (UYSAL ET AL. 2008). Az izomban mért nagyobb mennyiség a magnézium izomműködésben betöltött nélkülözhetetlen szerepével

indokolható. ADHIKARI (2004) szerint halakban jelenlévő magasabb magnéziumkoncentráció gátolja a cink kopoltyún, illetve tápcsatornán keresztüli felvételét.

3.3.2. Mikroelemek

Vas (Fe)



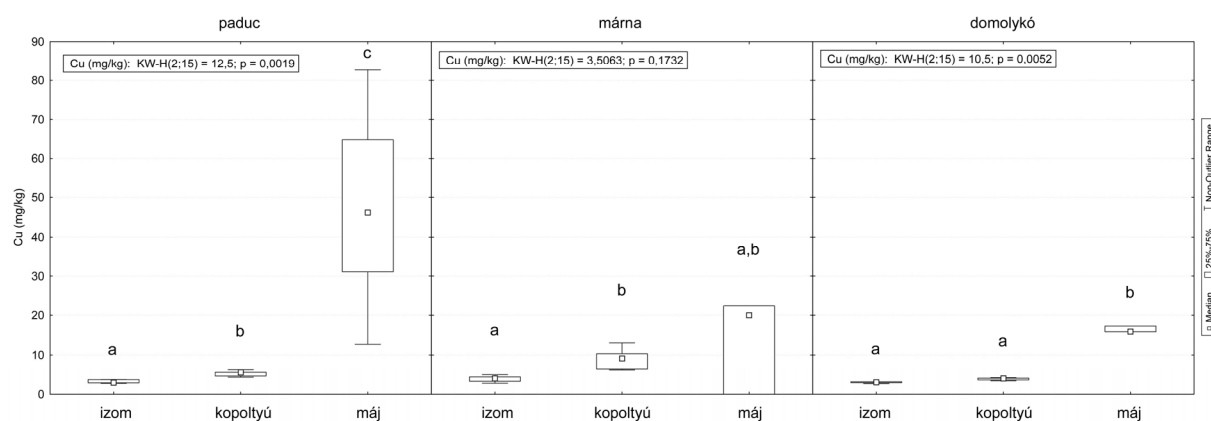
8. ábra. Fajonként és szervenként mért vaskoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

A vas az élő szervezet számára igen fontos nyomelem, elsősorban mint a hemoglobin porfirinvázának központi eleme, de a különböző enzimek felépítésében és működésében is nélkülözhetetlen (GLENN & RUSSO 1978).

A Kruskal–Wallis-elemzések rámutattak, hogy a vaskoncentrációk alapján mindhárom fajnál szignifikáns eltérések vannak ($p < 0,05$). Páronkénti összehasonlítások alapján a paduc és a márna esetében az izom mindkét másik szervtől elkülönül, a domolykónál azonban mindössze a kopoltyú-máj esetén tapasztaltunk eltérést.

Az elemzéseink során kapott tendenciát jól mutatja a 8. ábra, a vas minden fajnál a májban volt jelen a legnagyobb koncentrációban. Hasonló eredményekről számol be több vizsgálat is (BAJC ET AL. 2005, YILMAZ ET AL. 2007, JOVANOVIĆ ET AL. 2011). A vas a májban vasraktározó fehérjékhez kapcsolódva (ferritin) lizoszómákba kerül (szideroszómák), de nem emésztődik meg, ezért felhalmozódik (GLENN & RUSSO 1978). Az ábrán az is jól látszik, hogy a márna és a paduc kopoltyújában jelentősebb mennyiségű vas halmozódott fel. Ezt magyarázza az, hogy az aljzat közelében táplálkozóak az üledék folyamatos felkeverésével a kopoltyún keresztül több vasat vesznek fel. (EL-NAGGAR ET AL. 2009). Bár a paduc nem bentikus élőlényekkel táplálkozik elsősorban, az élőbevonatot alkotó algák „legelésével” az üledéket folyamatosan felkeveri maga körül.

Réz (Cu)

9. ábra. Fajonként és szervenként mért rézkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

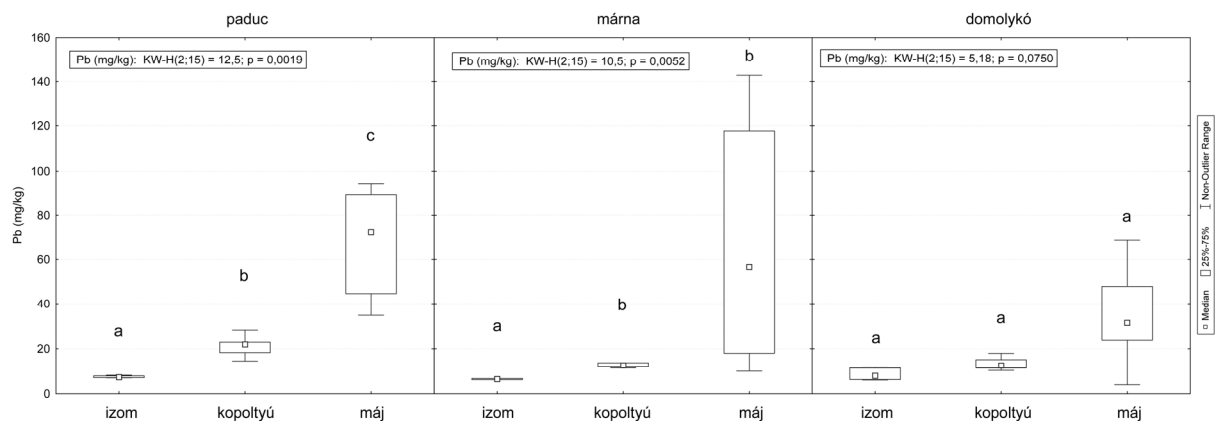
A réz alapvető mikroelem minden élőlény számára, fontos szerepe van különböző enzimek szerkezetének kialakításában (BOWER 1979), sőt az állati szervezetek mindenféle következmények nélkül nagyobb mennyiségben is felvehetik (PÁL 2003). A halak testébe elsősorban a kopoltyún keresztül jut be, így annak réztartalma a víztérben megjelenő szennyezéseknek jó indikátora (GLENN & RUSSO 1978).

A mért rézkoncentrációk alapján elvégezett Kruskal–Wallis-teszt a paduc és a domolykó esetén jelzett szignifikáns elkülönülést ($p < 0,01$). A páronkénti Mann–Whitney-féle összehasonlítás alapján a paducnál mindegyik vizsgált szerv között, a márnánál az izom-kopoltyú között, a domolykónál pedig a máj-izom és a máj-kopoltyú viszonylatában mutatkoztak szignifikáns eltérések.

A 9. ábra alapján jól látható tendencia, hogy a legnagyobb rézmennyiség minden faj esetén a májban volt. Több vizsgálat is alátámasztja ezen eredményünket (TRIEBSKORN ET AL. 2008, HARKABUSOVÁ ET AL. 2012, SAYGI & YİĞİT 2012), ugyanis a máj specifikusan képes a réz visszatartására (YACOUB & ABDEL-SATAR 2003). A 9. ábrán az is jól látszik, hogy a kopoltyú réztartalma tekintetében a márna jelentősen meghaladja a többi fajt. Ez a márna sajátos táplálkozásával kapcsolatos, ugyanis a táplálék keresése közben felkavarja az üledéket, így onnan több nehézfém kerül a kopoltyúlemezeire, mint a többi faj esetén (KOVÁCS & KISS 2010). BALASUBRAMANIAN ÉS MUNKATÁRSAI (1995) szerint a táplálkozási hálózatban betöltött szerepnek megfelelően az egyes fajok rézakkumulációja eltérő, méghozzá az alábbi sorrendben: mindenevők > fitoplankton-fogyasztók > zooplankton-fogyasztók > ragadozók > növényevők. A máj réztartalmának alakulását ez jól magyarázza, ugyanis a

fitoplankton-fogyasztó paducnál nagyobb koncentrációt mértünk, mint az egynyarasként elsősorban zooplankton-fogyasztónak számító domolykó, illetve az aljzaton táplálkozó márna esetében. A paducnál tapasztalt kiugróan magas rézmennyiséget ugyanakkor az is magyarázza, hogy – az utóbbi évtizedek kutatásai bizonyítják – a táplálékául szolgáló algák sokszor igen jelentős mennyiségben képesek a réz akkumulációjára (GONZÁLEZ-DÁVILA ET AL. 2000, PÁL 2003, PERALES-VELA ET AL. 2006). A márna és a paduc esetén tapasztaltakat alátámasztják JEFFRE ÉS MUNKATÁRSAINAK (2014) eredményei, miszerint a májban lévő magasabb nátriumkoncentráció inhibálja a rézfelvételt. A márnában a paduchoz képest nagyobb volt a nátrium mennyisége, a réz viszont jelentősen kevesebb volt.

Ólom (Pb)



10. ábra. Fajonként és szervenként mért ólomkoncentrációk

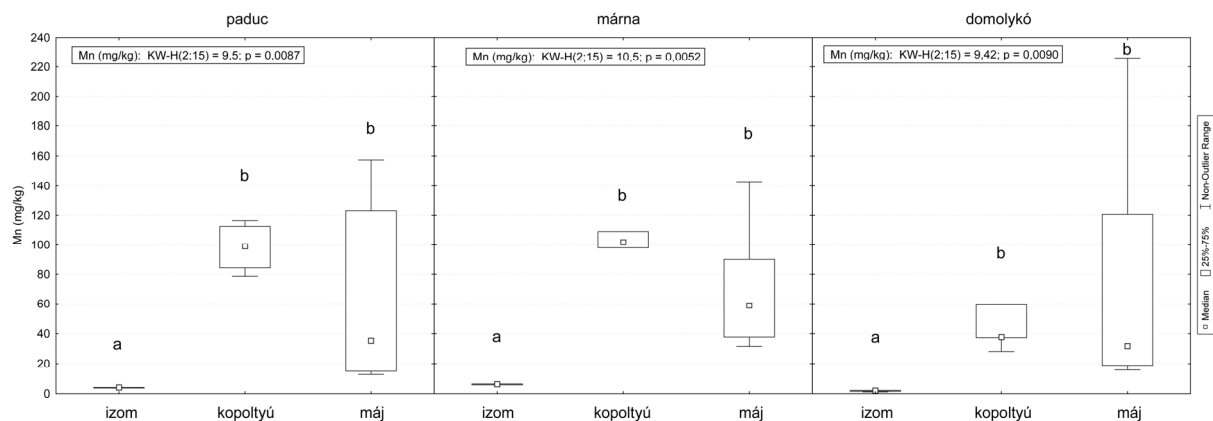
(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

A vizsgált elemek közül az ólom az egyedüli, mely az élő szervezet számára nem esszenciális, tehát kis mennyiségben sem szükséges. Az ólom a szervezetbe kerülve nagyon lassan és csak csekély mennyiségben képes ürülni. Elsődlegesen a májba és a vesébe kerül, de hamar beépül a csontokba, ahonnan a kalciumot kiszoríthatja. Súlyos problémákat okozhat az izmokban, az emésztő szervrendszerben és az idegrendszerben is. Sejtszinten inhibálja az aktív transzportfolyamatokat, a proteinszintézist, negatívan befolyásolja a redoxireakciókat (YACIOUB & ABDEL-SATAR 2003).

Az ólomkoncentrációk alapján elvégzett Kruskal–Wallis-tesztek a paducnál és a márnánál jeleztek szignifikáns eltérést ($p < 0,01$). A páronkénti összehasonlításokban a paduc esetén mindhárom, a márna esetén az izom különül el szignifikánsan a többihez képest.

A 10. ábrán szembejövő, hogy minden faj esetén a legnagyobb mennyiség a májban fordult elő. Hasonló eredményről számos más szerző is beszámolt (COETZEE 1996, TRIEBSKORN ET AL. 2008, KOVÁCS & KISS 2010, HARKABUSOVÁ ET AL. 2012), ugyanis az ólom bár a kopoltyúkon keresztül is felszívódik, a májban dúsulhat fel nagy mennyiségben. Jól látszik, hogy a paduc és a márna májában nagyobb mennyiséget mértünk, mint a domolykónál. Ezt magyarázhatja az, hogy táplálkozásuk során az aljzatot folyamatosan felkeverik maguk körül, így a kopoltyún keresztül is nagyobb mennyiség kerülhet be a szervezetükbe. A domolykó 2. ábra második tengelyén látható elkülönülését az alacsonyabb ólomkoncentráció magyarázhatja.

Mangán (Mn)



11. ábra. Fajonként és szervenként mért mangánkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

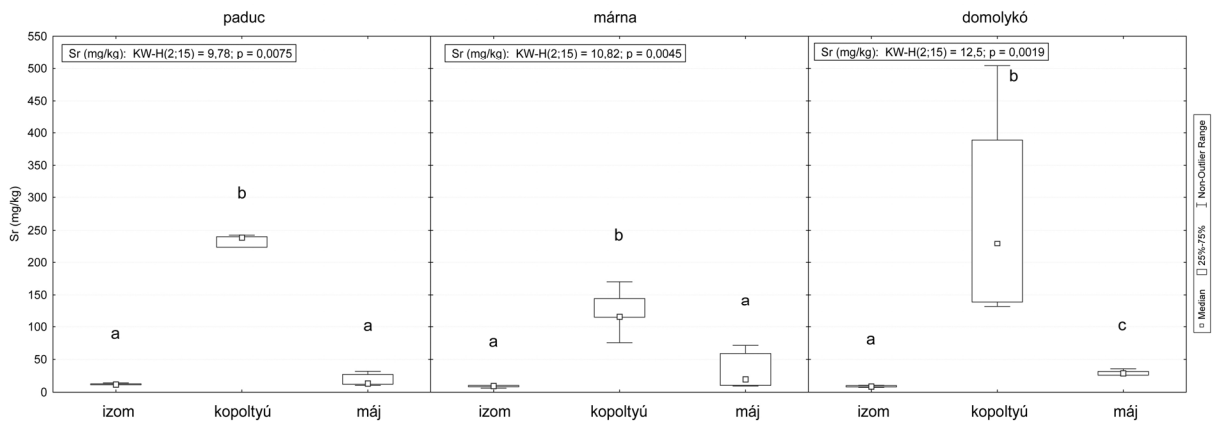
A mangán az élő szervezetek számára nélkülözhetetlen nyomelem. Mivel számos enzim felépítésében részt vesz, a különböző anyagcsere-folyamatokban kulcsfontosságú elemnek tekinthető, de a csontszövetképzésben is nélkülözhetetlen (YACIOUB & ABDEL-SATAR 2003).

A Kruskal–Wallis-eljárás alapján minden fajnál szignifikáns eltérések mutatkoztak ($p < 0.01$). A Mann–Whitney-teszt eredményeként általános tendenciaként mutatkozott, hogy a szervek közül az izom tér el szignifikánsan a többihez képest.

A 11. ábrán látható, hogy a paduc és a márna esetén a legnagyobb átlagos mennyiség a kopoltyú esetén fordult elő. Ezt a mangán csontszövetképzésben betöltött szerepe és elsődlegesen kopoltyún keresztül történő felszívódása egyaránt magyarázza. Az egynyaras korosztálynál a kopoltyúban megjelent nagyobb mangánkoncentráció valószínűsíthetőleg a Szamosban megjelenő szennyezések következménye (a Szamoson az elmúlt évtizedben

többször is előfordult nagyobb terhelés (ANTAL ET AL. 2013)). Feltevésünket az is alátámasztja, hogy leginkább az aljzat közelében táplálkozó, így az üledéket maga körül állandóan felkeverő paduc és márna esetén nagyobb mennyiséget mértünk, mint a vízközt élő domolykónál. NUSSEY ÉS MUNKATÁRSAINAK (2000) eredményei is alátámasztják ezt, szerintük ugyanis a feldúsult mangán mennyisége kopolytú > máj > izom sorrendben csökken. A 2. ábrán a márna második tengelyen való elkülönülését magyarázhatja a nagyobb mangánkoncentráció.

Stroncium (Sr)



12. ábra. Fajonként és szervenként mért stronciumkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

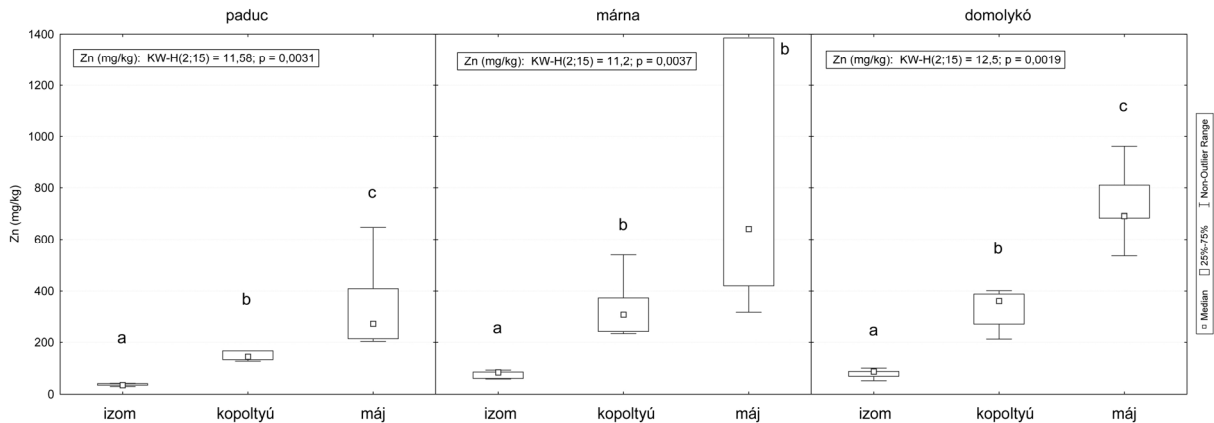
A stroncium nyomokban szinte minden élő szervezetben előfordul, ám esszenciális volta kétséges. Kémiai tulajdonságait és atomszerkezetét tekintve hasonló a kalciumhoz, így a szervezetben annak kompetitoraként viselkedhet (GLENN & RUSSO 1978).

A Kruskal–Wallis-teszt stroncium esetén minden csoporton belül szignifikáns különbséget jelzett ($p < 0,01$). Mindhárom fajnál a kopolytúban mért értékek különülnek el szignifikánsan, a domolykó esetén azonban ez mindhárom szerv kapcsán elmondható. Átlagos értékek alapján a legmagasabb stronciumkoncentráció a kopolytúban, míg a legkisebb az izomban volt.

MÁLNÁS ÉS MUNKATÁRSAI (2014) a Felső-Tisza és a Szamos vízkémiai összehasonlító vizsgálata során azt találták, hogy a Szamos szignifikánsan nagyobb koncentrációban tartalmazott stronciumot, mint a Felső-Tisza Szamos torkolata feletti szakasza. Ezért indokoltá volt a stroncium bevonása a vizsgálati elemeink közé. A 12. ábrán látható tendencia, miszerint minden faj nagyobb mennyiségben akkumulál stronciumot a

kopolytúban, egyrészt azzal magyarázható, hogy a felvétele elsősorban azon keresztül történik, másrészt mivel a kalciumhoz hasonló elem, a kopolytúlemezbe és az azokat tartó kopolytúívekbe nagyobb mennyiségben is beépülhet (ICHIKAWA & OGURI 1961, GLENN & RUSSO 1978).

Cink (Zn)



12. ábra. Fajonként és szervenként mért cinkkoncentrációk

(az ábrán jelölve vannak a mediánok, az adatok 25-75% közé eső része, a még nem kiugró értékek szélső határa, a Kruskal–Wallis-teszt és a páronkénti összehasonlítás eredménye)

A cink minden élő szervezet számára nélkülözhetetlen nyomelem. Számos enzim nélkülözhetetlen alkotója, kofaktora, fontos szerepet játszik az anyagcsere-folyamatokban, a hormonális folyamatokban.

A cinkmennyiségek alapján elvégzett Kruskal–Wallis-teszt minden fajnál szignifikáns eltérést jelzett ($p < 0,01$). A páronkénti összehasonlítások eredményeként a paduc és a domolykó esetén mindhárom szerv, míg a márnánál csak az izom különül el szignifikánsan. Átlagokat tekintve a legnagyobb koncentrációt mindhárom fajnál a májban, a legkevesebbet az izomban mértük.

Habár a cink elsősorban a kopolytún keresztül szívódik fel, a 12. ábrán látható tendenciát, miszerint a májban van a legnagyobb mennyiség, több külföldi szerző eredménye is alátámasztotta (SKIDMORE 1964, KOVÁCS & KISS 2010, KRASNIČI ET AL. 2013). A paduc esetén ezt alátámaszthatja az is, hogy a táplálékául szolgáló algák az utóbbi évek vizsgálatai szerint jelentős mértékben akkumulálhatnak cinket (SZABÓ ET AL. 2011, BÁCSI ET AL. 2014, NOVÁK ET AL. 2014)

A cink a máj után a kopolytúban jelent meg nagyobb mennyiségben, ugyanis főleg a kopolytún keresztül történik a felvétele (SKIDMORE 1964). ADHIKARI (2004) dolgozata szerint

a halakban jelen lévő magasabb magnéziumkoncentráció gátolja a cink kopoltyún, illetve tápcsatornán keresztüli felvételét. Amíg a máj és a kopoltyú tekintetében a paducnál tapasztaltuk a legnagyobb mennyiségű magnézium-felhalmozást, addig cink tekintetében a legkisebbet.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Szamos az Erdélyi-medence ásványkincsekben gazdag északi részének vizeit gyűjti össze, ebből adódóan évtizedek óta folyamatosan érik kisebb-nagyobb ipari és bányászati eredetű szennyezések. A nagyrészt fémes szennyezőanyagok nemcsak az adott vízfolyás fizikai és kémiai sajátosságaira, hanem annak élőlényekre is hatással vannak. A halak mint a vízi ökoszisztémákban magasabb szintet képviselő fogyasztók nemcsak közvetlenül a vízben oldott, hanem a táplálékhálózat alacsonyabb szintjein elhelyezkedő szervezetekben lévő elemeket is felveszik. Ezek az élő szervezetben akkumulációra, tehát feldúsulásra képesek, melynek mértéke függ az adott elem kémiai tulajdonságaitól, illetve az adott halfaj ökológiai igényeitől, táplálkozásbeli és életmenet-sajátságaitól, továbbá az adott egyed korától, méretétől és fiziológiai állapotától.

Vizsgálataink során arra kerestünk választ, hogy a Szamos hazai szakaszán élő eltérő táplálkozású halfajok egynyaras (0+) korosztályában kimutathatók-e különbségek az egyes fémek mennyisége alapján, és amennyiben igen, az mivel magyarázható. Továbbá arra voltunk kíváncsiak, hogy az adott fajok vázizomszövetében, kopoltyújában és májában is meghatározzuk a fémek eloszlásának mintázatát. Ezen célból a Szamos csengeri szakaszán öt-öt egynyaras paduc-, márna- és domolykóegyedet gyűjtöttünk, melyek különböző szerveit mindenféle külső szennyezés kizárása mellett laboratóriumban preparáltuk ki. A kipreparált szerveket 105 °C-os hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk, majd HNO₃- és H₂O₂-oldat segítségével tártuk fel. Ezt követően a fémtartalmukat Agilent Technologies 4100 típusú, mikrohullámú plazma atomemisziós spektrométer (MP-AES) segítségével határoztuk meg.

Az eredmények értékelésére kanonikus diszkriminancia-analízist (CDA), általánosított lineáris modellt (GLZ), Kruskal–Wallis-, illetve Mann–Whitney-teszteket alkalmaztunk. A statisztikai eljárások eredményeként általánosságban megállapítható, hogy a különböző táplálkozású fajok egynyaras ivadécai között lényeges eltérések nem tapasztalhatók. Fajon belül azonban a három szerv fémtartalmában szignifikáns különbségek mutatkoztak.

Az egyes fajok különböző szerveiben a legtöbb fém esetében hasonló eloszlási mintázatot tapasztaltunk. A makroelemek közül a kalcium koncentrációja általában a kopoltyú, máj, izom sorrendjében csökkent. A magnézium eloszlása hasonló tendenciát mutatott, a márnánál azonban a májban mértük a legnagyobb mennyiséget. A kálium akkumulálódásának mértéke a máj, izom, kopoltyú sorrend szerint csökkent. A nátrium koncentrációja mindhárom fajnál a májban volt a legnagyobb, ezt követően a paducnál és a

domolykónál a kopoltyúban, a márnánál pedig az izomban volt még jelentős mennyiségben jelen. A stroncium koncentrációja mindegyik faj esetén a kopoltyú, máj, izom sorrendben csökkent. Nehézfémek tekintetében minden faj esetén elmondható, hogy a réz, a vas, az ólom és a cink legnagyobb koncentrációban a májban fordult elő, ezt követte a kopoltyúban, illetve az izomban mért mennyiség. A mangán koncentrációja a paduc és a márna esetén a kopoltyú, máj, izom sorrendben csökkent, míg a domolykónál a többi nehézfémre jellemző eloszlást tapasztaltuk.

Habár az előzetesen elvégzett statisztikai analízisek alapján a fajok között szignifikáns különbségeket nem tapasztaltunk, kisebb eltérések már e fiatal korosztálynál is mutatkoztak. Eredményeink alapján megállapítható, hogy a táplálékát az aljzaton keresgélő márna, illetve a különböző kövek és víz alatti tárgyak bevonatát fogyasztó paduc a táplálkozása során az üledéket folyamatosan fölkaivarva nagyobb nehézfém-terhelésnek van kitéve, mint a nagyobb részt vízközt élő domolykó.

A szervek tekintetében a makroelemek általában az élő szervezetben betöltött szerepüknek megfelelő eloszlást mutatták, a nehézfémek azonban nagyrészt a fő méregtelenítő szervben, a májban fordultak elő legnagyobb mennyiségben. Emellett több esetben tapasztaltunk nagyobb nehézfém-koncentrációt a kopoltyúban is, amelynek alapján a folyóban megjelent friss szennyezésekre lehet következtetni.

Munkánk – mely a Tisza hazai vízgyűjtőjére kiterjedő nehézfém-akkumulációs vizsgálatok első lépcsőfoka – rámutat arra, hogy az ipari és bányászati eredetű szennyezések sajnos napjainkban is országhatárokon átnyúló problémát jelentenek. Az információs csatornákon rendszerint csak akkor értesülünk ezekről a szennyezésekről, ha azok toxikusak és látványos hatásúak (pl. a 2000. évi tiszai halpusztulás). Viszont a jelen vizsgálatunk során kapott eredmény, miszerint a Szamosban gyakori halfajok esetén már az egynyaras (0+) egyedekben is mérhetőek olyan nehézfémek, melyek eredete egyértelműen az ipari és a bányászati tevékenységekhez köthető, rávilágít arra a problémára, hogy a halak nehézfém-terheltségével nem csak a tengeri fajok esetén kell számolni.

Messzemenő következtetéseket természetesen nem vonhatunk le a vizsgálatunk alapján, de eredményeink megerősítették korábbi felvetésünket, miszerint a téma kutatása aktuális és közérdek szempontjából is jelentőséggel bír.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- ADHIKARI, S. (2004): Interference of magnesium on zinc adsorption by pond sediment and on zinc accumulation in a freshwater teleost, *Labeo rohita* (Hamilton). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59/2: 228–231.
- ANTAL, L., HALASI-KOVÁCS, B., NAGY, S. A. (2013): Changes in fish assemblage in the Hungarian section of River Szamos/Someş after a massive cyanide and heavy metal pollution. *North-Western Journal of Zoology* 9/1: 131–138.
- AGTAS, S., GEY, H., GUL, S. (2007): Concentration of heavy metals in water and chub, *Leuciscus cephalus* (Linn.) from the river Yildiz, Turkey. *Journal of Environmental Biology* 28/4: 845–849.
- BÁCSI, I., NOVÁK, Z., JÁNÓSZKY, M., B-BÉRES, V., GRIGORSZKY, I., NAGY, S. A. (2014): The sensitivity of two Monoraphidium species to zinc - their possible future role in bioremediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*. DOI 10.1007/s13762-014-0647-3
- BALASUBRAMANIAN, S., PAPPATHI, R., RAJ, S. P. (1995): Bioconcentration of zinc, lead and chromium in serially-connected sewage-fed fish ponds. *Bioresource Technology* 51: 193–197.
- BĂNĂRESCU, P., TELCEAN, I., NALBANT, T., HARKA, Á., CIOBANU, M. (1999): The fish fauna of the River Someş/Szamos basin. p. 249–268. In: Sárkány-Kiss, A., Hamar, J. (eds.): The Someş/Szamos River Valley, *Tiscia monograph series*, Szolnok–Szeged–Târgu Mures.
- BAJC, Z., GAČNIK, K., Š., JENČIČ, V., DOGANOC, D. Z. (2005): The contents of Cu, Zn, Fe, and Mn in Slovenian freshwater fish. *Slovenian Veterinary Research* 42: 15–21.
- BOWER, J. J. M. (1979): *Environmental chemistry of the elements*. Academic press. London.
- CAFFREY, J. M., ACEVEDO, S., GALLAGHER, K., BRITTON, R. (2008): Chub (*Leuciscus cephalus*): a new potentially invasive fish species in Ireland. *Aquatic Invasions* 3/2: 201–209.
- CANPOLAT, Ö., ÇALTA, M. (2003): Heavy metals in some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species relation to body size, age, sex and seasons. *Fresenius Environmental Bulletin* 12/9: 961–966.
- CHALMERS, A. T., AFRUE, D. M., GAY, D. A., BRIGHAM, M. E., SCHMITT, C. J., LORENZ, D. L. (2011): Mercury trends in fish from rivers and lakes in the United States, 1969–2005. *Environmental Monitoring and Assessment* 175: 175–191.
- CHOVANEC, A., HOFER, R., SCHIEMER, F. (2003): Fish as bioindicators. Trace metals and other contaminants in the environment. p. 639–676. In: Markert, B. A., Breure, A. M., Zechmeister, H. G. (eds.): *Bioindicators and Biomonitors*. Elsevier, Amsterdam, Netherland. pp. 997.
- CZEGLÉDI, I., ERŐS, T. (2012): Halak táplálékának összetétele egy középhegységi vízfolyásban. *Hidrológiai Közlöny* 92/5-6: 15–17.
- CZEGLÉDI, I., ERŐS, T. (2013): Characterizing the long-term taxonomic and functional variability of a stream fish assemblage. *Fundamental and Applied Limnology* 183/2: 153–162.
- CSÉPES, E., ARANYNÉ RÓZSAVÁRI, A., TESZÁRNÉ NAGY, M., VÁRINÉ SZÖLLÖSI, I. (2001): A nehézfém szennyezés során végzett keresztshelvény vizsgálatok eredményei. *Hidrológiai Közlöny* 81/5-6: 342–345.
- DAHLQUIST, R. L., KNOLL, J. W. (1978): Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry: analysis of biological materials and soils for major, trace, and ultra-trace Elements. *Applied Spectroscopy* 32: 1–30.

- DALLINGER, R., PROSI, F., SENGER, H., BACK, H. (1987): Contaminated food and uptake of heavy metals by fish (a review and proposal for further research). *Oecologia Berlin* 73: 91–98.
- DAVIES, A. M. C., FEARN, T. (2008): Back to basics: multivariate qualitative analysis, canonical variates analysis. *Spectroscopy Europe* 20/4: 18–20.
- DOSHI, H., SETH, C., RAY, A., KOTHARI, I. (2008): Bioaccumulation of heavy metals by green algae. *Current Microbiology* 56: 246–255.
- DRAGUN, Z., RASPOR, B., PODRUG, M. (2007): The influence of the season and the biotic factors on the cytosolic metal concentrations in the gills of the European chub (*Leuciscus cephalus* L.). *Chemosphere* 69: 911–919.
- DRAGUN, Z., PODRUG, M., RASPOR, B. (2009): The assessment of natural causes of metallothionein variability in the gills of European chub (*Squalius cephalus* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology* 150: 209–217.
- EPLER, P., NOWAK, M., POPEK, W. (2009): Growth rate of the chub (*Squalius cephalus*) and the nase (*Chondrostoma nasus*) from Raba, Dunajec, and Poprad River. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society* 2: 1–8.
- FARKAS, A., SALÁNKI, J., SPECZIÁR, A. (2003): Age and size-specific patterns of heavy metal in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated site. *Water research* 37: 959–964.
- FLIK, G., VERBOST, P., M. (1993): Calcium transport in fish gills and intestine. *The Journal of Experimental Biology* 184: 17–29.
- FÖRSTNER, U., WITTMAN, G. T. W. (1979): *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 486.
- GLENN, R. P., RUSSO, R. C. (1978): *Metal Bioaccumulation in Fishes and Aquatic Invertebrates: A Literature Review*. U.S. Environmental Protection Agency, Minnesota USA. pp. 116.
- GONZÁLEZ-DÁVILA, M. J., SANTANA-CASIANO, M., LAGLERA, L. M. (2000): Copper adsorption in diatom cultures. *Marine Chemistry* 70/1-3: 161–170.
- GYÖRE, K. (1995): *Magyarország természetesvízi halai*. Vízi természet- és környezetvédelem, Budapest. pp. 339.
- HALASI-KOVÁCS, B., TÓTHMÉRÉSZ, B. (2011): A hazai vízfolyások halegyütteseken alapuló és a víz keretirányelv előírásainak megfelelő ökológiai minősítési rendszere. *Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica* 25: 77–100.
- HAMMER, O., HARPER, D. A. T., RYAN, P. D. (2001): PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4/1: 9.
- HARKA, Á. (1995): A Szamos halfaunája. *Halászat* 88/1: 14–18.
- HARKA, Á., SALLAI, Z. (2004): *Magyarország halfaunája*. Nimfea Természetvédelmi Egyesület, Szarvas, pp. 269.
- HARKABUSOVÁ, V., ČELECHOVSKÁ, O., LAVIČKOVÁ, A., SVOBODOVÁ, Z. (2012): Monitoring of risk metals in chub (*Leuciscus cephalus* L.) from the Svitava and Svratka rivers in the urban area of Brno, Czech Republic. *Acta Veterinaria Brno* 81: 69–73.
- HARRIS, B. E., COCKRELL, R., PRESSMAN, B. C. (1966): Induced and Spontaneous Movements of Potassium Ions into Mitochondria. *Biochemical Journal* 99: 200–213.

- HERMESZ, E., ABRAHAM, M., NEMCSOK, J. (2001): Tissue-specific expression of two metallothionein genes in common carp during cadmium exposure and temperature shock. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 128: 457–465.
- HUM, L., MATSCHULLAT, J. (2005): A Tisza üledékeinek nehézfém- és arzéntartalma – a 2000. évi cianidos és nehézfém-tartalmú szennyező hullámainak mérlege. *Hidrológiai Közlöny* 85/5: 41–47.
- IBM CORP. RELEASED (2013): IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- ICHIKAWA, R., OGURI, M. (1961): Metabolism of radionuclides in fish I. Strontium-calcium discrimination in gill absorption. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 27: 351–356.
- JEFFREE, R. A., MARKICH, S. J., TWINING J. R. (2014): Diminished metal accumulation in riverine fishes exposed to acid mine drainage over five decades. *PLOS ONE* 9/3: e91371.
- JEFFERIES, D. J., FIRESTONE, P. (1984): Chemical analysis of some coarse fish from a Suffolk River carried out as part of the preparation for the first release of captive-bred otters. *Journal of Otter Trust* 1/18: 17–22.
- JIRSKA, F., LEODOLTER-DVORAK, M., KRACHLER, R., FRANK, C. (2008): Heavy Metals in the Nase, *Chondrostoma nasus* (L. 1758), and Its Intestinal Parasite *Caryophyllaeus laticeps* (Pallas 1781) from Austrian Rivers: Bioindicative Aspects. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55/4: 619–626.
- JOVANOVIĆ, B., MIHALJEVIĆ, Ž., MALETIN, S., PALIĆ, D. (2011): Assessment of heavy metal load in chub liver (Cyprinidae – *Leuciscus cephalus*) from the Nišava River (Serbia). *Biologica Nyssana* 2/1: 51–58.
- KÁDÁR, I. (1995): *Környezet és természetvédelmi kutatások: A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon*. A Környezet- és Területfejlesztési Minisztérium és az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete kiadványa, Budapest, pp. 388.
- KÁDÁR, I. (2001): A tápláléklánc szennyeződése nehézfémekkel, mikroelemekkel. *Magyar Tudomány* 5: 566–575.
- KISS, T., SIPOS, GY. (2001): A morfológia és a nehézfém-tartalom kapcsolatának vizsgálata a Maros medrében és hullámterén. p. 63–81. In: Ilyés, Z., Keményfi, R. (eds.) (2001): *A táj megértése felé*. Debrecen – Eger.
- KOCA, S., KOCA, Y. B., YILDIZ, S., GURCU, B. (2008): Genotoxic and Histopathological Effects of Water Pollution on Two Fish Species, *Barbus capito pectoralis* and *Chondrostoma nasus* in the Büyük Menderes River, Turkey. *Biological Trace Element Research* 122: 276–291.
- KOTTELAT, M., FREYHOF, J. (2007): *Handbook of European freshwater fishes*. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany, pp. 646.
- KOVÁCS, E., KISS, T. (2010): Nehézfém bioakkumuláció marosi halakban: Potenciális környezeti veszélyforrás a Maros mentén élőkre? *Hidrológiai Közlöny* 90/5: 51–54.
- KÖHLER, H.-R., SANDU, C., SCHEIL, V., NAGY-PETRICĂ, E. M., SEGNER, H., TELCEAN, I., STAN, G., TRIEBSKORN, R. (2007): Monitoring pollution in river Mureș, Romania, Part III: biochemical effect markers in fish and integrative reflection. *Environmental Monitoring and Assessment* 127: 47–54.
- KRASNIČI, N., DRAGUN, Z., ERK, M., RASPOR, B. (2013): Distribution of selected essential (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, and Zn) and nonessential (Cd, Pb) trace elements among protein fractions from hepatic cytosol of European chub (*Squalius cephalus* L.). *Environmental Science and Pollution Research* 20: 2340–2351.
- LAMAS, S., FERNÁNDEZ, J. A., ABOAL, J. R., CARBALLERIS, A. (2007): Testing the use of juvenile *Salmo trutta* L., as biomonitors of heavy metal pollution in freshwater. *Chemosphere* 67: 221–228.

- MACDONALD, D. D., INGERSOLL, C. G., BERGER, T. A. (2000): Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 39: 20–31.
- MARJORIE, G., MACFARLANE, G., SPENCER, A. G. (1953): Changes in the Water, Sodium and Potassium Content of Rat-liver Mitochondria during Metabolism. *Biochemical Journal* 54/4: 569–575.
- MÁLNÁS, K., HARANGI, S., BALOGH, ZS., BARANYAI, E., BRAUN, M., DÉVAI, GY., SIMON, E. (2014): Nehézfém analitikai vizsgálatok a Felső-Tisza és a Szamos folyó hazai szakaszán. *Hidrológiai Közlöny* 94/5-6: 62–64.
- MCCULLAGH, P., NELDER, J. A. (1989): *Generalized Linear Models*, Second Edition. Chapman and Hall, London, UK. pp. 532.
- NAGY, S. A., KOVÁCS, P., DÉVAI, GY. TÓTH, L., MALEJKÓ, E., TAKÁCS, D. (2001): A Tisza ökológiai állapotának értékelése hossz-szervényben végzett halfaunisztikai felmérés, ill. nehézfém-tartalom meghatározására történt szövetgyűjtés alapján. *Halászatfejlesztés* 26: 77–86.
- NAGY, S. A., CZÉGÉNY, I., CZÉDLI, H., DÉVAI, GY. (2002): Adatok a tiszai halfajok nehézfém-tartalmának felméréséhez. *Halászatfejlesztés* 27: 55–62.
- NAGY, S. A., DÉVAI, GY., CZÉGÉNY, I., CZÉDLI, H., SOÓS, N. (2003): Adatok a Tisza vízrendszerében élő halfajok nehézfém-tartalmának felméréséhez, hossz-szelvényben végzett mintagyűjtés alapján. *Hidrológiai Közlöny* 83: 105–107.
- NEWMAN, M. C., DOUBET, D. K. (1989): Size-dependence of mercury (II) accumulation kinetics in the mosquitofish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 18/6: 819–825.
- NOVÁK, Z., JÁNÓSZKY, M., B-BÉRES, V., NAGY, S. A., BÁCSI, I. (2014): Zinc Tolerance and Zinc Removal Ability of Living and Dried Biomass of *Desmodesmus communis*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 93: 676–682.
- NUSSEY, G., VAN VUREN, J. H. J., DU PREEZ, H. H. (2000): Bioaccumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissues of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank Dam, Mpumalanga. *Water S. A.* 26: 269–284.
- PÁL, K. (2003): *Réz a környezetben*. Környezetvédelmi füzetek. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár, pp. 79.
- PERALES-VELA, H. V., PEÑA-CASTRO, J. M., CAÑIZARES-VILLANUEVA, R. O. (2006): Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere* 64: 1–10.
- POURANG, N. (1995): Heavy metal bioaccumulation in different tissues of two fish species with regard to their feeding and trophic levels. *Environmental Monitoring and Assessment* 35: 207–219.
- SAAD, M. A. H., AMUZU, A. T., BINEY, C., CALAMAR, D., IMERBORE, A. M., NAEVE OCHUMBA, P. B. O. (1994): Domestic and industrial organic loads. In the review of pollution in the African aquatic environment. *CIFA Technical* 25: 23–31.
- SAYGI, Y., YİĞİT, S., A. (2012): Assessment of Metal Concentrations in Two Cyprinid Fish Species (*Leuciscus cephalus* and *Tinca tinca*) Captured from Yeniçağa Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89: 86–90.

- SKIDMORE, J. J. (1964): Toxicity of zinc compounds to aquatic animals, with special references to fish. *The Quarterly Review of Biology* 39/3: 227–248.
- STATSOFT, INC. (2013): STATISTICA (data analysis software system), version 12.0. www.statsoft.com
- SZABÓ, G., B-BÉRES, V., GÖRGÉNYI, J., VITÁL, Z., KASSAI, S., GONDA, S., NAGY, S. A., TÓTHMÉRÉSZ, B., BÁCSI, I. (2011): A cink hatása a *Monoraphidium pusillum* (Chlorophyta) növekedésére és morfológiájára. *Hidrológiai Közlöny* 91/6: 82–85.
- SZÍTÓ, A., ARANYNÉ RÓZSAVÁRI, A. (2005): Nehézfém felhalmozódás, mint az üledéklakó árvaszúnyog fajok lárváin tapasztalt szervi elváltozások egyik oka a Balatonban. *Hidrológiai Közlöny* 85/6: 131–134.
- SZLEPÁK, E. (2002): Kis vízfolyások szennyezésének kimutatása környezet-analitikai módszerekkel (a Galgapatok példáján). *Hidrológiai Közlöny* 82/6: 341–347.
- THANG, W., CUI, J., SHAN, B., WANG, C., ZHANG, W. (2014): Heavy metal accumulation by periphyton is related to eutrophication in the Hai River Basin, Northern China. *PLOS ONE* 9/1:e86458.
- TRIEBSKORN, R., TELCEAN, I., CASPER, H., FARKAS, A., SANDU, C., STAN, G., COLĂRESCU, O., DORI, T., KÖHLER, H.-R. (2007): Monitoring pollution in River Mureş, Romania, part II: Metal accumulation and histopathology in fish. *Environmental Monitoring and Assessment* 141: 177–188.
- UYSAL, K., EMRE, Y., KÖSE, E. (2008): The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). *Microchemical Journal* 90: 67–70.
- VALOVÁ, Z., HUDCOVÁ, H., ROCHE, K., SVOBODOVÁ, J., BERARDOVÁ, I., JURAIDA, P. (2013): No relationship found between mercury and lead concentrations in muscle and scales of chub *Squalius cephalus* L. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 3359–3368.
- VENUGOPAL, V., SHAHIDI, F. (1993): Structure and composition of fish muscle. *Food Reviews International* 12: 175–197.
- VEREP, B., MUTLU, C., APAYDIN, G., CEVIK, U. (2012): The Trace Element Analysis in Freshwater Fish Species, Water and Sediment in Iyidere Stream (Rize-Tury). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 15: 658–665.
- VLACH, P., DUŠEK J., ŠVÁTORA, M., MORAVEC, P. (2005): Growth analysis of chub, *Leuciscus cephalus* (L.), and dace, *Leuciscus leuciscus* (L.), in the Úpoř stream using growth data of recaptured marked fish. *Czech Journal of Animal Science* 7: 329–339.
- WAIJANDT, J., BANCSI, I. (1989): A Tisza és mellékfolyói vizének nehézfém-tartalma. *Hidrológiai Közlöny* 69/2: 82–87.
- WRIGHT, P., MASON, C. F. (1999): Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries, the Orwell and the Stour, in eastern England. *Science of the Total Environment* 226: 139–156.
- YACOUN, A. M., ABDEL-SATAR A., M. (2003): Heavy metals accumulation and macronutrients in the livers of some fish species of Bardawil lagoon and their histological changes. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 7/4: 403–422.
- YILMAZ, F., ÖZDEMİR, N., DEMIRAK, A., LEVENT, TUNA A. L. (2007): Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry* 100: 830–835.
- ZHONG, I., WONG, M. H. (2007): Environmental mercury contamination in China: Sources and impacts. *Environment International* 33/1: 108–121.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani témavezetőinknek Dr. Antal László és Dr. Simon Edina egyetemi adjunktusoknak, akik minden segítséget megadtak a dolgozat elkészítéséhez. Köszönjük Dr. Nagy Sándor Alex tanszékvezető egyetemi docensnek és a Debreceni Egyetem Hidrobiológiai Tanszék minden dolgozójának, hogy a munkánkhoz szükséges feltételeket biztosították. Köszönettel tartozunk Fehérné Baranyai Edinának és Harangi Sándornak a laboratóriumi feldolgozás, illetve az MP-AES készülékkel végzett elemkoncentráció-meghatározásban nyújtott pótolhatatlan segítségükért. Valamint külön köszönet illeti még Czeglédi Istvánt, a mintavételezések és laboratóriumi feldolgozás során nyújtott segítségéért. Köszönetünket szeretnénk kifejezni még mindazoknak, akik munkánkat bármilyen formában segítették, továbbá a Rákóczi Halászati Szövetkezetnek, hogy engedélyezték a halak begyűjtését.

A műszeres mérések a DE Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Agilent Atomspektroszkópai Partner Laboratóriumában történtek. Az Agilent Technologies 4100 MP-AES készüléket a Novo-Lab Kft. biztosította.

A vizsgálat a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0043 „Célzott kémiai és biológiai alapkutatások környezeti szennyezők felszámolására (ENVIKUT)” című pályázat keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósulhatott meg.

7. FÜGGELÉK

I. függelék. A három halfaj különböző szerveiben mért fémkoncentrációk átlaga és szórása (mg/kg)

	paduc			májna			domolykó		
	izom	kopoltyú	máj	izom	kopoltyú	máj	izom	kopoltyú	máj
Ca	1939,3 ± 120,1	29112,6 ± 3253,0	4919,1 ± 2128,1	2069,2 ± 332,3	24042,4 ± 5852,0	23504,4 ± 21969,7	2117,8 ± 373,6	35220,4 ± 14160,4	9734,6 ± 2349,0
K	14627,9 ± 1074,1	10131,5 ± 1122,7	19881,3 ± 7063,8	11879,4 ± 1990,8	8589,4 ± 1379,5	21263,2 ± 14703,2	14297,2 ± 950,1	7568,5 ± 1006,4	14907,5 ± 3087,4
Mg	1129,7 ± 160,3	2122,5 ± 290,4	1986,8 ± 502,5	965,6 ± 63,5	1836,6 ± 753,6	2087,9 ± 1594,2	1029,9 ± 61,5	1640,4 ± 323,7	1063,4 ± 232,6
Na	2176,8 ± 193,6	2678,1 ± 218,9	5145,1 ± 2179,2	2301,3 ± 349,2	2295,2 ± 195,4	7533 ± 3312,5	2387 ± 186,2	2418,3 ± 536,8	5361,7 ± 1865,9
Cu	3,2 ± 0,5	5,5 ± 0,8	47,5 ± 27,4	3,8 ± 0,8	9,0 ± 2,9	20,3 ± 24,0	3,4 ± 1,1	3,8 ± 0,3	15,6 ± 4,3
Fe	41,8 ± 9,6	434,3 ± 274,0	1057,4 ± 854,6	77,5 ± 7,1	568,8 ± 332,2	1244,9 ± 826,1	260,8 ± 472,5	213,2 ± 102,5	724,9 ± 274,4
Mn	4,1 ± 0,8	98,2 ± 16,7	68,7 ± 67,0	6,1 ± 1,3	135,6 ± 92,8	72,2 ± 45,6	2,9 ± 2,6	54,6 ± 33,1	82,6 ± 91,0
Pb	7,4 ± 0,5	21,2 ± 5,1	67,1 ± 26,4	6,3 ± 1,1	13,4 ± 2,3	69,0 ± 59,3	8,6 ± 2,8	13,4 ± 3,1	35,2 ± 24,6
Sr	11,9 ± 1,1	226,4 ± 23,7	18,2 ± 9,4	9,3 ± 2,7	124,0 ± 35,6	33,6 ± 29,4	8,6 ± 1,2	278,5 ± 163,2	26,7 ± 7,0
Zn	35,5 ± 4,7	160,6 ± 42,2	348,9 ± 185,9	74,1 ± 15,0	338,4 ± 126,0	829,5 ± 521,0	77,1 ± 18,4	326,5 ± 82,0	736,7 ± 159,3