

A nanoszelén-kiegészítés hatása a vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus*) termelési paramétereire és nyomelem felvételére

Juhász Péter¹ – Fehér Milán¹ – Csorvási Éva¹ – Bársony Péter¹ – Remenyik Judit² – Sztrik Attila³ – Prokisch József³ – Stündl László¹

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,

¹Állattudományi, Biotechnológiai és Természetvédelmi Intézet, Állattenyésztési Tanszék, Debrecen

²Állattudományi, Biotechnológiai és Természetvédelmi Intézet, Takarmány- és Élelmiszer Biotechnológiai Tanszék, Debrecen

³Bio- és Környezetenergetikai Intézet, Debrecen

juhaszp@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A szelén esszenciális, antioxidáns hatású mikroelem. Számos enzim alkotórésze, az állati szervezetek természetes komponense. A takarmányokhoz való adagolása mikroelem kiegészítés formájában általánosan elfogadott. Korábban több állatkísérlet igazolta, hogy a nanoszelén az eddig használt szelénformáknál jobb antioxidáns hatású, azonban halakra gyakorolt szerepéről még kevés információ áll rendelkezésünkre.

Kísérletünkben azt vizsgáltuk, hogy egy gyári táp nanoszelén kiegészítése hogyan befolyásolja a termelési paramétereket, illetve a halak testösszetételét. Statisztikailag elemeztük az összefüggést a kezeléseket, és a halak testében felhalmozódott szelén, illetve a takarmányértékesítés között. Arra is kerestük a választ, hogy a nanoszelén képes-e toxikus hatást kifejteni nagyobb dózisban.

A halakat egy ivadéknevelő recirkulációs rendszerbe helyeztük ki, 12 db 70 literes műanyag medencébe. A víz sótartalma és hőmérséklete a 8 hetes kísérlet alatt végig állandó volt. A takarmányozás étvágy szerint történt, napi 4 alkalommal. A kontroll mellett öt (1; 1,5; 2,5; 5,5; 10,5 mg Se/kg) kezelést állítottunk be, két ismétlésben.

A termelési paraméterek tekintetében csak az FCR és a megmaradás értékeiben tudtunk szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) kimutatni az egyes csoportok között. Azonban igen szoros kapcsolatot találtunk ($r = 0,752 - 0,780$; $p < 0,01$) a kísérleti beállítások és a halak által akkumulált szelén mennyisége között. A szabad zsírsav-tartalmat elemezve azt tapasztaltuk, hogy a szelén felvétele minden csoportban szignifikánsan megemelte azok szintjét. Leglátványosabban az n-3 zsírsavak mennyisége változott.

Megállapítható tehát, hogy a 0,5 mg/kg-nál nagyobb nanoszelén-bevitel nem változtatta meg jelentősen a termelési mutatókat, azonban a gyári tápok szelén tartalmát érdemes lehet 1,5 mg/kg-ig növelni vörös árnyékhal termelésnél.

Kulcsszavak: nanoszelén, vörös árnyékhal, szabad zsírsav, haltakarmányozás, akvakultúra

SUMMARY

The selenium is an essential trace element with antioxidant effect, constituent of many enzymes, natural component of the body of the animals. The addition to the fish feed as micro element supplementation is generally accepted. Numerous animal experiments verified, that the antioxidant effect of the nanoselenium is higher than other selenium forms. But no much information is available of the usage at fish.

In the experiment were investigated the effects of the nanoselenium supplementation of a commercial fish feed were investigated to the production parameters and the body tissue composition. The correlation between the accumulated selenium content of the body and the treatment, and the feed conversion was also statistically analyzed beside the production parameters. Furthermore we were curious, if can be toxic the nanoselenium in higher doses.

The experimental stock was placed into 12 plastic tanks (each 70 l water vol.) in a recirculation system for larval rearing. The salinity and the water temperature was constant during the 8 week long experiment. The feeding was ad libitum, 4 times a day. Beside the control five (1, 1.5, 2.5, 5.5, 10.5 mg Se kg⁻¹) duplicated treatment were set.

According to the results, from the production parameters only at the value of FCR and the survival was found significant difference ($p < 0,05$) between the groups. However strong correlation ($r = 0,752 - 0,780$, $p < 0,01$) was determined between the treatment and the accumulated selenium levels. To analyzed the free fatty acid content of the fish, we realized, that the selenium uptake significantly enhanced this level at all treatments. The greatest change was found in case of the type n-3 fatty acids.

Established by the results, the higher intake than 0.5 mg Se kg⁻¹ was not changed significantly the production parameters, nevertheless to increase the selenium content of commercial feeds to 1.5 mg Se kg⁻¹ could be rewarding on the rearing of red drum.

Keywords: nanoselenium, red drum, free fatty acid, fish feeding, aquaculture

BEVEZETÉS

A szelén fontosságára csak 1973-ban derült fény, amikor felfedezték, hogy a glutation peroxidáz enzim nélkülözhetetlen alkotója (Flohé et al., 1973; Rotruck et al., 1973). Esszenciális, az életfolyamatok normál működéséhez szükséges (Köhrle, 2004).

A szelén etetését vizsgálták szívárványos pisztrángnál (Hilton et al., 1980, 1982; Bell et al., 1985; Vidal et al., 2005), csatornaharcsánál (Gatlin és Wilson, 1984),

atlanti lazacnál (Lorentzen et al., 1994), fűrészes sügérnél (Lin és Shiau, 2005), illetve kárászánál (Wang et al., 2007a).

A szerves szelénformák (szeleno-metionin) könnyebb felvehetőségét a szervesetlen (nátrium-szelenit) formákkal szemben igazolták atlanti lazacnál (Bell és Cowey, 1989; Lorentzen et al., 1994) és csatornaharcsánál is (Wang és Lovell, 1997).

Az újabb kutatások szerint a vörös elemi szelén nanoméretű részecskék formájában a szerves szelénvegyü-

letekhez hasonlóan jó hatásfokkal szívódik fel, miközben potenciális toxicitása alacsonyabb (Wang et al., 2007b). Az elemek nano méretben új tulajdonságokkal rendelkezhetnek, köztük a szelén is, mint például a megnövekedett felület és a magas reaktivitás (Huang et al., 2003), ez tovább segítheti hasznosulását.

A nyomelem antioxidáns szerepe abban áll, hogy kulcsfontosságú szerepet tölt be a glutation peroxidáz enzim működésében (Levander és Burk, 1994). Az elem szeleno-ciszteinként épül be az enzim aktív centrumába. Négy szelén tartalmú glutation peroxidáz ismert, melyek mindegyike különálló szelenoprotein, mégis mindegyik antioxidáns hatású. A szelén tehát antioxidáns hatású enzimek alkotója ellentétben az E- vagy a C-vitaminnal, melyek nem enzimes módon működő antioxidánsok (Burk, 2002).

A gyári haltakarmányok mindegyike tartalmaz szelént, közel azonos mennyiségben. Az egyes halfajok szelénigénye azonban változó, ezért kísérletünkben arra kerestük a választ, hogy a gyári táp nano Se-kiegészítése befolyásolja-e a vörös árnyékhal növekedését, termelési paramétereit és testösszetételét (szelén akkumuláció, szabad zsírsav-összetétel). Azt is vizsgáltuk, hogy a nano méretben adagolt elemi szelén nagyobb dózisban képes-e toxikus hatást kifejteni.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleti beállítás

Kísérletünket a Debreceni Egyetem MÉK Halbiológiai Laboratóriumában található 1,7 m³ víztérfogatú ivadék- és lárwanevelő, recirkulációs rendszerében végeztük. A vizsgálat során a kontroll (A) mellett 5 [1 mg/kg Se (B), 1,5 mg/kg Se (C), 2,5 mg/kg Se (D), 5,5 mg/kg Se (E), 10,5 mg/kg Se (F)] kezelést állítottunk be, egyenként két ismétlésben.

A vörös árnyékhal állományt az izraeli Madan Kibbutz halkeltetőből szereztük be. Szoktatás céljából a halakat a recirkulációs rendszerbe a kísérlet kezdete előtt 1 héttel kihelyeztük, 12 db, egyenként 70 literes medencébe. Az átlagosan 3,5 g tömegű halakból 360 egyedre telepítettünk (30 hal/kád). A víz hőmérsékletét a kísérlet alatt végig 25–26 °C között tartottuk, a sótartalom pedig 5 ppt volt. A folyamatos levegőztetést központi légbefúvó segítségével, porlasztóköveken keresztül biztosítottuk. A növekedés pontos nyomonkövetésére hetente egy alkalommal minden egyed tized gramm pontossággal digitális mérlegen lemértünk. A takarmányozás étvágy szerint történt, napi 4 alkalommal. A táp fogyasztását folyamatosan regisztráltuk. A kísérlet futamideje 8 hét volt.

A vizsgálat értékelésénél számítottunk túlélési arányt (S), melyhez a kiindulási és a lehalászás kori egyed-számokat használtuk fel. A növekedési erélyt a fajlagos testtömeg-gyarapodás (SGR) segítségével számítottuk ki, a következő képlet alkalmazásával:

$$SGR = 100 (\ln w_8 - \ln w_0) t^{-1} (\%/nap)$$

ahol: w_8 , w_0 – a záró, és kezdeti testtömeg g-ban kifejezve, t – az eltelt idő napokban megadva.

A takarmányértékesítést (FCR) a következő képlet szerint számoltuk:

$$FCR = F (W_8 - W_0)^{-1} (g/g)$$

ahol: F – a takarmány összes tömege, W_0 , W_8 – a kezdeti és a záró összes testtömeg g-ban kifejezve.

Ez a mutató hetenként került kiszámításra, az elfogyasztott takarmány alapján, az esetleges pusztulások figyelembevételével.

A kísérleti táp előállítása

A kísérleti takarmány előállításához egy gyári tápot (Aller Aqua) használtunk fel, mely kezdeti szelén tartalma 0,5 mg/kg volt, szerves szelén (szeleno-metionin) formájában. Ezt egy kalapácsos daráló segítségével ledaráltuk, majd a nanoszelén oldattal dúsítottuk, és pelletáló gépünk segítségével 2,5 mm furatú matricán keresztül újraformáztuk. Granulálás után a tápot szobahőmérsékletig hálós felületen hűtöttük, majd hideg ($t < 5$ °C) helyen tároltuk felhasználásig.

A dúsításhoz használt nanoszelén törzsoldat aszkorbinsavas redukcióval készült, a következő eljárás szerint: egységnyi 2000 ppm töménységű szelenit oldathoz hozzáadásra került szintén egységnyi térfogatú 10 000 ppm koncentrációjú C-vitamin oldat, majd keverés és fél óra állás után készült el az 1000 ppm-es nanoszelén törzsoldat. Ebből történt az egyes kezelések tápjának dúsításához való oldatok hígítása.

Szelén-tartalom mérés

A méréshez minden kezelésből 2–2 halat kiválasztottunk, melyeknek eltávolítottuk a máját, a szemét, illetve a filéjét. Ezek a minták külön-külön kerültek vizsgálatra.

A teljes szeléntartalom meghatározásához Hydrid Generation Atom Fluorescens Spektrofotometriát (HG-AFS) módszert használtunk. A mintákat nedves roncsolásnak vetettük alá Kovács et al. (2000) szerint: 5 ml 65%-os HNO₃-t adtunk 1 g mintához, melyet egy órában keresztül, 60 °C-on, majd 120 °C-on 240 percig roncsoltunk. Ezután hozzáadtunk 3 ml 30%-os H₂O₂-t. Az így elroncsolt mintákat felhígítottuk 15 ml-re 3 M HCL segítségével, majd leszűrtük. A HCL használatához hígításhoz a hidrid reakció miatt van szükség.

A szeléntartalom mérése Millenium Merlin atomabszorpciós spektrofotométerrel történt, a következő beállításokkal: argon öblítőgáz, 15 l/perces áramlás sebességgel, 40 másodperc/mérés, 40 másodperc mosási idő. A berendezést Charlau standard segítségével kalibráltuk a mérés megkezdése előtt, majd a pontosság megőrzése érdekében ezt minden 5. minta után megismételtük. A hidrid reakcióhoz 3 M HCL-ot használtunk, míg a redukáló ágens 0,1 M NaOH-ban oldott 1,4 m/V %-os NaBH₄ volt. Az reagensek analitikai tisztaságúak voltak.

Zsírsav meghatározás

A vizsgálat során az összes-zsír mennyiségének meghatározása extrahálással, a szabad zsírsavak analízise pedig folyadékkromatográfias módszerrel (HPLC)

történt. A mintákat fagyaszttva tárolás után liofilizáltuk, majd ezt használtuk fel a további vizsgálatok céljára. A liofilizátumból a zsír/olaj kinyerése hexán segítségével történt: A minta 2,5–3,0 g-ját 25 ml hexánnal 1 órát kevertettük, majd szűrőpapíron szűrtük, a szűrletet bepároltuk. A méréshez a szabad zsírsavakból származékot képeztünk. A reakciók során a zsírsavakat lúgos közegben p–bróm fenacil-bromiddal reagáltattuk 18-korona-6 katalizátor jelenlétében. Az előállított mintát 1 ml toluolban oldottuk, szűrtük, a méréshez a felülúszót használtuk.

A kromatográfiás rendszer kifejlesztése után a zsírsav-elegyek bemérésre kerültek, majd létrehoztuk a kromatogramot. Erről a retenciós idők alapján történt meg az egyes zsírsavak minőségi meghatározása. A mennyiségi értékelés a különböző zsírsavakat jelző görbék alatti terület integrálta alapján történt. A zsírsavakat 242 nm-es hullámhosszon detektáltuk.

Statisztikai analízis

A kísérlet során a testtömeg-adatok statisztikai elemzését egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) és Pearson-féle korrelációval végeztük, SPSS 20.0 program segítségével, 5%-os, és 1%-os konfidencia intervallum mellett, majd kiszámoltuk az $SzD_{5\%}$ értéket Sváb (1981) szerint.

EREDMÉNYEK

Termelési paraméterek

Kísérletünkben azt vizsgáltuk, hogyan hat a gyári táp tartalmánál magasabb szelén-bevitel a vörös árnyékhal ivadékok növekedésére, testtömeg-gyarapodására, takarmányértékesítésére és túlélésére. A vizsgálat során kapott termelési paramétereket az 1. táblázat tartalmazza. Az 1. táblázatban a mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan különböznek egymástól $SzD_{5\%}$ -os szinten az egytényezős varianciaanalízis alapján. Az egyes csoportok kihelyezéskori átlag testtömege (W_0) között nem volt szignifikáns különbség. A heti tömegmérések által kapott adatok azt mutatták, hogy az első három héten statisztikailag igazolhatóan is különbözött a kezelések átlagtömege. Ez a negyedik héttől már nem

volt kimutatható, és a 8 hetes vizsgálat végére sem alakult ki jelentős testtömegbeli különbség a szelén etetés hatására (W_1). A nagyobb dózisu (5,5 mg Se, 10,5 mg Se) szelén etetésének hatására csökkent a nettó testtömeg gyarapodás ($W_1 - W_0$) mértéke, azonban ezt a statisztikai vizsgálat nem igazolta. A napi testtömeg gyarapodás (SGR) értékét kiszámítva, az előző mutatóhoz hasonló, csökkenő tendenciát tapasztaltunk. Az A csoport esetében ez 3,7% volt, az F (10,5 mg Se/kg) csoportnál 3,43%. A takarmányértékesítés (FCR) értékei 0,77 g/g és 0,9 g/g között változtak, melyek statisztikailag igazolhatóan is különböztek egymástól. A legjobb takarmányértékesítése a C és a D csoportnak volt, míg a legrosszabb értéket megint az F kezelés esetében tapasztaltuk. A túlélési arány (S) kontrollhoz képest szignifikánsan a legjobbnak a B és a D csoportban bizonyult, ahol ez 98,5% volt. A legrosszabb túlélést az F kezelésben kaptuk (85%), ami szignifikánsan rosszabb volt a kontrollt kivéve a többi csoportnál.

Szelén akkumuláció

A különböző szervek szeléntartalmát elemezve, mindegyik esetben találtunk szignifikáns különbséget. A májban akkumulált szelén mennyisége 1046 ppb (kontroll) és 4026 ppb között változott (F csoport). A legnagyobb értékhez képest az összes többi beállításból származó mintában szignifikánsan kisebb volt a szelén tartalom. Az etetett szelén dózisének növekedésével emelkedett a tárolt nyomelem szintje (1. ábra). A szemből mért szelén értékek is hasonló tendenciát mutattak, mint a májban megfigyelték, azonban itt a tárolt mennyiség 528 ppb (kontroll) és 1583 ppb (F kezelés) változott. A legnagyobb érték a többi csoporthoz képest szignifikánsan nagyobb volt.

A filében felhalmozódott szelénből a kontrollhoz (355 ppb) képest szignifikánsan magasabb értéket mérünk az E- (577 ppb) és az F kezelésben (727 ppb). Továbbá az F csoporthoz képest statisztikailag alacsonyabb volt a szelén akkumuláció mértéke az A (355 ppb), B (480 ppb), C (461 ppb), és D (504 ppb) csoportokban.

A kezelések, és az egyes szervekben felhalmozódott mikroelem mennyisége között igen szoros kapcsolatot ($r > 0,7$) találtunk, 99%-os megbízhatósági szinten (2. táblázat).

1. táblázat

A vörös árnyékhal termelési paraméterei

Kezelés(1)	W_0 (g)	W_8 (g)	$W_8 - W_0$ (g)	SGR (%)	FCR (g/g)	S%
A: kontroll(2)	3,49	26,74	23,24	3,70	0,80	90,00 ^a
B: 1 mg Se	3,52	25,99	22,47	3,64	0,78	98,50 ^{a,b}
C: 1,5 mg Se	3,49	26,25	22,76	3,67	0,77 ^a	96,50 ^b
D: 2,5 mg Se	3,44	25,63	22,19	3,65	0,77 ^a	98,50 ^{a,b}
E: 5,5 mg Se	3,44	25,25	21,81	3,63	0,81	96,50 ^b
F: 10,5 mg Se	3,49	23,06	19,56	3,43	0,90 ^a	85,00 ^b
$SzD_{5\%}(3)$	0,10	4,54	4,52	0,33	0,12	8,12

Megjegyzés: a,b – a különbség szignifikáns.

Table 1: Production parameters of the red drum

Treatment(1), Control(2), $LSD_{5\%}(3)$, Note: a,b – the difference is significant

1. ábra: Az akkumulált szelén mennyisége a különböző szervekben

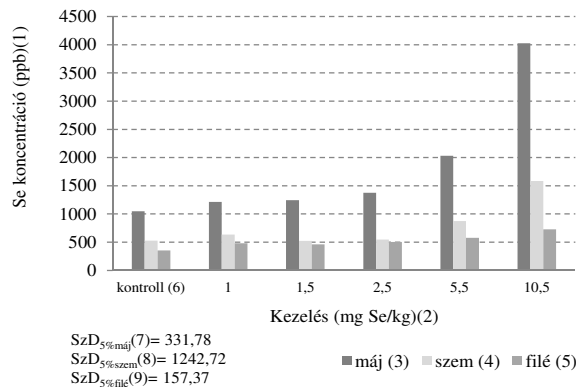


Figure 1: Accumulated selenium levels of the different organs Selenium concentration(1), Treatment(2), Liver(3), Eyes(4), Fillet(5), Control(6), LSD_{5%}liver(7), LSD_{5%}eyes(8), LSD_{5%}fillet(9)

2. táblázat

Statistikai kapcsolat a kezelés és a szelén akkumuláció között

	Se _{máj} (2)	Se _{szem} (3)	Se _{filé} (4)
Kezelés(1)	r=0,780**	r=0,752**	r=0,869**

Megjegyzés: ** a kapcsolat szignifikáns 0,01 százalékos szinten.

Table 2: Statistical connection between the treatment and the selenium accumulation

Treatment(1), Se liver(2), Se eyes(3), Se fillet(4), Note: ** correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Szabad zsírsav-összetétel vizsgálat

Megvizsgálva az egyes beállítások szabad zsírsav-tartalmát, a kontrollhoz képest az összes kezelésben szignifikáns növekedést tapasztaltunk. A legmagasabb értéket az A csoportnál mértük, az ezt követő kezelésekben gyengén csökkenő tendenciát mutatott az F csoportig (3. táblázat). A takarmány szelénrel való dúsításának hatására az ω-6 csoportba tartozó zsírsavak szintje nem változott meg jelentősen, azonban az ω-3 csoportba tartozók a kontrollhoz képest az összes beállításban (B–F kezelések) statisztikailag igazolhatóan jelentősen nagyobbak voltak.

3. táblázat

A halak összes szabad zsírsav tartalma és a zsírsavak megoszlása

	Összes szabad zsírsav (mg/100 g)(2)	Összes ω3 zsírsav (mg/100 g)(3)	Összes ω6 zsírsav (mg/100 g)(4)
A: kontroll(1)	71,96 ^a	32,60 ^a	38,14
B: 1 mg Se	308,05 ^a	220,22 ^a	57,89
C: 1,5 mg Se	269,41 ^a	194,19 ^a	52,02
D: 2,5 mg Se	251,60 ^a	186,98 ^a	49,05
E: 5,5 mg Se	229,22 ^a	169,96 ^a	44,83
F: 10,5 mg Se	223,96 ^a	166,70 ^a	42,53
SzD _{5%} (5)	114,96	82,96	22,63

Megjegyzés: a – szignifikáns SzD_{5%}-os szinten.

Table 3: Free fatty acid content of the fish and distribution of the fatty acids

Control(1), Free fatty acid content(2), Type ω3 fatty acid content(3), Type ω6 fatty acid content(4), LSD_{5%}(5), Note: a – significant at level LSD_{5%}

KÖVETKEZTETÉSEK

A gyári takarmányok szeléntartalma közel azonos. Azonban különböző halfajok szelén-igénye változó, akár jelentősen is eltérhet egymástól (Davis és Gatlin, 1996). Gatlin és Wilson (1984) bebizonyították, hogy a takarmány szelén-tartalma hatással van a csatornaharcsa növekedési intenzitására. Más kísérletek igazolták, hogy lazac ivadékok szelén hiányos táplálás esetén visszamaradtak a növekedésben (Poston et al., 1976).

Az eredményeink azt mutatták, hogy az árnyékhal termelési paramétereinek egy része nem változott jelentősen a takarmány nanoszelénnel való kiegészítésének hatására. A tömeggyarapodásban csak a vizsgálat első három hetében jelentkeztek jelentősebb különbségek. A rendszervíz szelén-tartalmát folyamatosan mértük a kísérlet alatt, azonban az nem mutatott jelentős emelkedést, így kijelenthető, hogy nem a víz szelénben való dúsulása csökkentette le a különbségeket. Fehér et al. (2013) előnevelt barramundi ivadékokkal végzett kísérletében hasonlót tapasztalt, a takarmány mikroelemekkel (kobalt, mangán, cink) való dúsítása csak az első 4 hétben okozott szignifikáns különbségeket (p<0,05) a tömeggyarapodásban a kezelések között. Jelen vizsgálatban a kontrollhoz képest a B és D kezelés, a legtöbb szelént fogyasztó csoporthoz képest pedig a B, C, D, E kezelés között volt jelentős különbség a túlélési arányban. A takarmányértékesítés két szélső értéke között (FCR, 0,77–0,90) is igazoltunk szignifikáns eltérést. Ezzel szemben Zhou et al. (2009) ezüstkárászsal végzett vizsgálata során nem tapasztalt különbséget sem az FCR sem a túlélés tekintetében az egyes kezelések között. Hasonló eredményre jutott Wang et al. (2007a) is, ahol nátrium-szelenittel, illetve szeleno-metioninnal dúsította a kárászok takarmányát.

Az egyes szervekben (máj, szem, halhús) akkumulált szelén mennyisége a kontrollhoz képest a B, C, D csoportok egyikében sem különbözött jelentősen egymástól. Ennek legfőbb oka az lehet, hogy a halak a táppal felvett nyomelem nagy részét felhasználták, így az nem tudott felhalmozódni. Ahogy növeltük a dózist (5,5 és 10,5 mg Se/kg) úgy nőtt a tárolt szelén mennyisége is. Az egyes kezeléseken belül a halak szerveiben nem egyenletesen kerül tárolásra a szelén. Legtöbb a májban, majd a szemben, és legkevesebb került a halhúsba. A filében valószínűleg csak az a szelén halmozódott fel, ami más szervekben már nem tudott raktározódni. Több tanulmány bizonyította, hogy a szelén metabolizációs útja, illetve akkumulációja függ attól, hogy az milyen vegyület formájában került be a hal szervezetébe (Wang et al., 2007b). Az állatkísérletek azt bizonyították, hogy a hasznosulása a szerves formáknak jobb, mint a szervetleneknek (Levander, 1983; Smith és Picciano, 1987). Hasonló következtetésekre jutottak a humán-vizsgálatok esetén is (Favier 1993; Thomson és Robinson, 1993). Az elemi szelén nano méretben bejuttatva a szervezetbe hasonlóan hasznosul, mint a szerves formából származó (Zhang et al., 2001), de valószínűleg más a metabolikus útja (Zhou et al., 2009)

Szinte az összes, a vizsgálatban kapott eredmény azt mutatta – még ha ezt nem is tudtuk minden esetben statisztikailag igazolni –, hogy a 10,5 mg/kg-os szelén dózis toxikus volt az árnyékhalak számára. Gatlin és

Wilson (1984) azt tapasztalta, hogy a 15 mg/kg-os szelén dózissal etetett csatornaharcsák növekedése csökkent, amiből toxikusságra következtettek. Li et al. (2008) rizshallal végzett kísérletükben hasonlították össze vízben oldott nanoszelén és egy szerves szelén-forma (nátrium szelenit) toxikusságát. Arra a következtetésre jutottak, hogy egységesen 100 µg/l-es dózisban a nanoszelén mérgezőbb volt a hal számára, mint a szelenit. Ez a megállapítás ellentmond a legtöbb egereknél végzett toxicitási vizsgálatnak, ahol a szelénformák közül a nano méretben adott elemi szelén bizonyult a legkevésbé mérgezőnek (Zhang et al., 2005.; Wang et al., 2007b).

Megvizsgálva az egyes kezeléseket, a szabad zsírsavak tekintetében szembeötlő növekedést tapasztaltunk a kontroll csoporthoz képest. Szignifikánsan a növekvő szelén-bevitel hatására csak az ω-3 típusú zsírsavak szintje változott, melynek biokémiai okát jelenleg nem sikerült még felderítenünk. Ez az eredmény perspektivikus lehet az áruhal termelők számára is, hiszen a humán táplálkozás során ideális, ha minél kö-

zelebbi a két csoportba tartozó zsírsavak koncentrációja (Simopoulos, 2002). Azonban mivel az ω-6 források sokkal könnyebben hozzáférhetőek, mint az ω-3, ezért az optimális arány jelentősen eltolódik a mai modern táplálkozásban (Simopoulos, 2000).

Eredményeink alapján megállapítható, hogy a 0,5 mg/kg-nál nagyobb nanoszelén-felvétel nem változtatta meg jelentősen a termelési mutatókat, azonban vörös árnyékhal ivadéknevelésénél, illetve termelésnél a gyári tápok szelén tartalmát érdemes lehet nanoszelénnel 1,5 mg/kg-ig növelni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

IRODALOM

- Bell, J. G.–Covey, C. B. (1989): Digestibility and bioavailability of dietary selenium from fishmeal, selenite, selenomethionine and selenocystine in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 81: 61–68.
- Bell, J. G.–Covey, C. B.–Adron, J. W.–Shanks, A. M. (1985): Some effects of vitamin E and selenium deprivation on tissue enzyme levels and indices of tissue peroxidation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br. J. Nutr.* 53: 149–157.
- Burk, R. F. (2002): Selenium an antioxidant nutrient. *Nutrition in Clinical Care*. 5: 75–79.
- Davis, D. A.–Gatlin III, D. M. (1996): Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Reviews in Fisheries Science*. 4: 1:75–99.
- Favier, A. E. (1993): Nutritional and clinical factors affecting the bioavailability of trace elements in humans. [In: Schlemmer, U. (ed.) *Bioavailability*.] Ettlingen. Germany. 202–211.
- Fehér M.–Baranyai E.–Bárony P.–Juhász P.–Csorvási É.–Stündl L. (2013): A takarmány mikroelem kiegészítésének hatása a barramundi (*Lates calcarifer*) lárva, illetve ivadék termelési paramétereire és egyöntetűségére. XXXVII. Halászati Tudományos Tanácskozás. Szarvas.
- Flohé, L.–Gunzler, W. A.–Schock, H. H. (1973): *FEBS Lett.* 32: 132.
- Gatlin III, D. M.–Wilson, R. P. (1984): Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.* 114: 627–633.
- Hilton, J. W.–Hodson, P. V.–Slinger, S. J. (1980): The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.* 110: 2527–2535.
- Hilton, J. W.–Hodson, P. V.–Slinger, S. J. (1982): Absorption, distribution, half-life and possible routes of elimination of dietary selenium in juvenile rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.* C71: 49–55.
- Huang, B.–Zhang, J.–Hou, J.–Chen, C. (2003): Free radical scavenging efficiency of nano-Se in vitro. *Free Rad. Biol. Med.* 35: 805–813.
- Köhrle, J. (2004): Selenium in biology and medicine – further progress and increasing interest. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 18: 61–63.
- Kovács, B.–Prokisch, J.–Györi, Z.–Kovács, A. B.–Palencsár, A. (2000): *Communications in Soil and Plant Analysis*. 31. 3: 1949–1963.
- Levander, O. A. (1983): Considerations in the design of selenium bioavailability studies. *Fed. Proc.* 1: 1721–1725.
- Levander, O. A.–Burk, R. F. (1994): Selenium. [In: Shils, M. E. et al. (eds.) *Modern Nutrition in Health and Disease*.] Lea and Febiger. Philadelphia. USA. 242–251.
- Li, H.–Zhang J.–Wang, T.–Luo, W.–Zhou, Q.–Jiang, G. (2008): Elemental selenium particles at nano-size (Nano-Se) are more toxic to Medaka (*Oryzias latipes*) as a consequence of hyperaccumulation of selenium: a comparison with sodium selenite. *Aquat Toxicol.* 89. 4: 251–256.
- Lin, Y. H.–Shiau, S. Y. (2005): Dietary selenium requirements of juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*. 250: 356–363.
- Lorentzen, M.–Maage, A.–Julshamn, K. (1994): Effects of dietary selenite or selenomethionine on tissue selenium levels of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 121: 359–367.
- Poston, H. A.–Combs, G. F.–Leibovitz, L. (1976): Vitamin E and Se interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemical signs. *Journal of Nutrition*. 106: 892–904.
- Rotruck, J. T.–Pope, A. L.–Ganther, H. E.–Swanson, A. B.–Hafeman, D. G.–Hoekstra, W. G. (1973): Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*. 179: 585–590.
- Simopoulos, A. P. (2000): Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. *Poult Science*. 79. 7: 961–970.
- Simopoulos, A. P. (2002): The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother.* 56. 8: 365–379.
- Smith, A. M.–Picciano, M. F. (1987): Relative bioavailability of selenocompounds in the lactating rat. *J. Nutr.* 117: 725–731.
- Sváb J. (1981): *Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.*
- Thomson, C. D.–Robinson, M. F. (1993): Long-term supplementation with selenate and selenomethionine: selenium and glutathione peroxidase (EC 1.11.1.9) in blood components of New Zealand women. *Br. J. Nutr.* 69: 577–588.
- Vidal, D.–Bay, S. M.–Schlenk, D. (2005): Effects of dietary selenomethionine on larval rainbowtrout (*Oncorhynchus mykiss*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 49: 71–75.

- Wang, Y.–Han, J.–Li, W.–Xu, Z. (2007a): Effect of different selenium source on growth performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Animal Feed Science and Technology*. 134: 243–251.
- Wang, C.–Lovell, R. T. (1997): Organic selenium sources, selenomethionine and seleno-yeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquacultur*. 152: 223–234.
- Wang, H.–Zhang, J.–Yu, H. (2007b): Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: comparison with selenomethionine in mice *Free Radic Biol Med*. 42. 10: 1524–1533.
- Zhang, J.–Gao, X.–Zhang, L.–Bao, Y. P. (2001): Biological effects of a nano red elemental selenium. *BioFactors*. 15: 27–38.
- Zhang, J.–Wang, H.–Yan, X.–Zhang, L. (2005): Comparison of short-term toxicity between Nano-Se and selenite in mice. *Life Sci*. 76. 10: 1099–1109.
- Zhou, X.–Wang, Y.–Gu, Q.–Li, W. (2009): Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Agriculture*. 291. 1–2: 78–81.