

ÁLLATTENYÉSZTÉS és TAKARMÁNYOZÁS

2020. 69. 3

Alapítás éve: 1952

ÁLLATTENYÉSZTÉS – TARTÁS – TAKARMÁNYOZÁS



A halakról: halászati-horgászati tudományos szemmel
Fish-from a perspective of fishery and angling science
Tudományos konferencia a Magyar Tudományos Akadémián
Scientific conference at The Hungarian Academy of Sciences

ÁLLATTENYÉSZTÉSI TUDOMÁNYOS NAP

“A halakról: halászati-horgászati tudományos szemmel”

TUDOMÁNYOS KONFERENCIA A MAGYAR TUDOMÁNYOS
AKADÉMIA SZÉKHÁZÁBAN

Rendező:

MTA Agrártudományok Osztály Állattudományi Bizottsága

*Az e számban található cikkek a Magyar Tudományos Akadémián
az Állattenyésztési Tudományos Nap előadásainak szerkesztett
és lektorált változatai*

SCIENTIFIC DAY ON ANIMAL BREEDING
„Fish-from a perspective of fishery and angling science,,

CONFERENCE AT THE
HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

Organiser:

**Animal Science Committee of Section of Agricultural
Sciences of the HAS**

*Papers included in this issue are the edited and peer-reviewed
version of presentations at the Animal Breeding Scientific Day at
the Hungarian Academy of Sciences*

TARTALOM - CONTENTS

<i>Horn Péter - Urbányi Béla: A haltenyésztés versenyképessége más állattenyésztési ágazatokhoz viszonyítva az állatifehérje-termeléssel összefüggésben</i>	281
<i>Mézes Miklós: Alternatív fehérje- és zsírforrások a halak takarmányozásában (Alternative protein and fat sources in fish nutrition)</i>	293
<i>Müller Tamás - Kucska Balázs - Szabó Tamás - Horváth László - Horváth Ákos - Ittész István - Havasi Máté - Urbányi Béla: A magyar halszaporítás technológiai kutatások sarokkövei és egy új indukált szaporítási mód bemutatása (Milestones of hungarian fish reproduction technology research and introduction of a new induced reproduction method)</i>	305
<i>Orbán László - Bognár András - Havasi Máté - Szeverényi Ildikó - Varga László: Nagyléptékű 'omikai' eljárások alkalmazása a modern haltenyésztésben (Application of large-scale 'omics' technologies in modern aquaculture)</i>	317
<i>Ferincz Árpád - Staszny Ádám - Weiperth András - Juhász Vera - Urbányi Béla - Dérer István: Horgászvízeink problémáiról tudományosan (Recreational fisheries in Hungary: issues from scientific aspect)</i>	336
<i>Urbányi Béla - Kriszt Balázs - Szoboszlay Sándor - Kaszab Edit - Háhn Judit - Bernáth Gergely - Csenki-Bakos Zsolt - Czimmerer Zsolt - Bock Illés - Jónás Gábor - Friedrich László - Kasza Gyula - Csenki Eszter - Izsó Tekla - Palotás Péter - Rákóczi Katalin - Nyíró-Fekete Brigitta - Micsinai Adrienn - Zanathy László: Boldog halak és boldog fogyasztók? - avagy a happyfish projekt összefoglaló eredményei (Happy fish and happy consumers? - the summary results of the happy fish project)</i>	345

Címlap kép (Frontpage photograph)

“Dévérnász a Balatonon” (Fotó: Dr. Ferincz Árpád)

“Bream spawning in Lake Balaton” (Photo: Árpád Ferincz Dr.)

A HALTENYÉSZTÉS VERSENYKÉPESSÉGE MÁS ÁLLATTENYÉSZTÉSI ÁGAZATOKHOZ VISZONYÍTVA AZ ÁLLATIFEHÉRJE-TERMELÉSEL ÖSSZEFÜGGÉSBEN

HORN PÉTER - URBÁNYI BÉLA

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők áttekintik a világ lakosságának az állati fehérje fogyasztását befolyásoló tényezőket és a várható trendeket. Összefoglalják azokat az alapvető különbségeket, amelyek a szárazföldi állattenyésztési ágazatok és a halak hústermelése között mutatkoznak. Utóbbi vonatkozásban kitérnek a takarmányhasznosításban és az egységnyi termékre eső komplex környezeti lábnyom mértékében kimutatott állatfajok közötti különbségekre. Utóbbival összefüggésben az intenzifikáció révén elért hatékonyság javulás mértékére vonatkozóan is több analízis eredményét ismertetik az egyes állattenyésztési ágazatok életciklus analízise alapján.

SUMMARY

Horn, P. - Urbányi, B.: COMPETITIVENESS OF THE AQUACULTURE SECTOR COMPARED TO OTHER ANIMAL HUSBANDRY SECTORS IN TERMS OF PROTEIN PRODUCTION

Independent from ethnic groups or religion, up to a certain income level, the ratio of protein products in peoples' diet continually grows, according to long-term statistics. Factors influencing the protein consumption of the world's population and the expected trends are reviewed by the authors in this article, i.e. benefits of protein consumption in the different developmental stages of humans, and the issues due to underconsumption. Trends show that the need for proteins will be continually increasing therefore all meat producing sectors will grow 1.2-2.4 percent per year between 2017 and 2035. The authors summarize the basic differences between terrestrial livestock sectors and the aquaculture sector in terms of (fish)meat production (total biomass, annual utilizable meat production, and relation of annual production compared to total biomass and characteristics of metabolism) as well. In addition they also cover the topic of the differences between different fish species in terms of feed conversion and the complex environmental footprint per product unit taking into account the food hierarchy (trophic levels) in water bodies, and the energy efficiency of the different organisms in the different trophic levels. The authors present the results of several analyses on the extent of improved effectiveness due to intensification of production, taking into account the life cycle analysis of the different animal husbandry sectors. Intensification, where genetic factors are taken into account and the production was independent from environmental factors, the effectiveness of the production increased significantly more. Although very few experiments have been carried out where pond aquaculture systems could be compared to plant production, poultry or pork production with the same conditions in order to determine the environmental footprint per production unit, one such experiment, carried out in Vietnam showed that fish production has the smallest environmental footprint from the meat producing sectors.

BEVEZETÉS

A világ lakosságának élelmiszer-fogyasztási statisztikáit – áttekintve a hosszabb idősorokat is – egyértelműen megállapítható, hogy amikor az embereknek növekedett az elkölthető jövedelme, egy meghatározott jövedelem határig növekszik a diétán belül az állati eredetű élelmiszerek aránya, függetlenül a népesség etnikai vagy vallási hovatartozásától. Az állati termékek a diétán belül egymást helyettesíthetik (pl. húsfélék, tej és tejtermékek, tojás). Ennek az általános társadalmi reakciónak háttérében az emberi faj evolúciós fejlődése áll.

Az ember anatómiai-élettani átalakulása, az emésztőrendszer, a béltraktus egynegyedére történő lerövidülésével az emberősökhöz képest nagyon hatékony nyersrost emésztő képességünk elvesztésével járt. Az erősen megnövekedett agy az élővilágban ismert legnagyobb energia- (és fehérje) igényű szervvé vált. Míg az emberszabású majmok agya mindössze nyolc, a felnőtt ember agya már húsz százalékát igényli nyugalmi állapotban a szervezet összes energiafogyasztásának, sőt fejlődésünk egyes kritikus szakaszaiban mintegy három és tizen-négy éves kor között ez elérheti a negyven százalékot is (Horn, 2018). Az állati termékek rendszeres fogyasztása különösen fontos gyermekkorban, a várandós nők esetében és az idősebb korosztályok számára. Többszörösen igazolt tény, hogy a biológiailag teljes értékű fehérjeellátásban hiányt szenvedő népesség jelentős károsodásokat szenved, amely kihat egészségi állapotukra, fejlődésükre (alulfejlettség, izomzat és testmagasság csökkenés, agykapacitás és szellemi képességek mérsékeltebb kifejlődése). Az elmúlt 10 év kutatásai hangsúlyosan hívják fel a figyelmet arra, hogy idősebb korban az izomzatcsökkenés és az ezzel összefüggő, időskorra jellemző, életminőséget rontó betegségek kifejlődése is (pl. szarkopénia) jelentősen mérsékelhető az állatifehérje-bevitel növelésével. Míg a korábbi ajánlásokban nőknek átlagosan 48, férfiaknak 52 gramm/nap állatifehérje-bevitelt ajánlottak (Olten és mtsai, 2006), ennél jelentősen nagyobb, 1,2–1,6 gramm/testsúlykilogramm napi adagot javasolnak ma már nagyszámú vizsgálat alapján (Phillips és mtsai, 2016), különösen 50–60 évnél idősebb korban. Egyértelmű, hogy az emberiség jó életminőségének, jó egészségi állapotának megőrzésében, figyelemmel a sok országra jellemző öregedő társadalmakra is, az állatifehérje-ellátás alapvető fontosságú marad és lesz meg inkább a jövőben is.

Az emberiség állatifehérje-ellátottságának főbb jellemzői jelenleg

Azok az átfogó és módszertanilag is megbízható adatfeldolgozások, amelyek olyan országok statisztikai adatait használják csak fel, amelyek megbízhatóak is, világosan mutatják, hogy ma mintegy 800 millió ember kifejezetten alultáplált, és még a szükséglet egyötödét sem fogyasztja teljes értékű állati fehérjékből (ezek éves jövedelme egy főre esően nem éri el a 2 dollár/nap szintet). További mintegy két milliárd azoknak a száma, akiknél az állatifehérje-bevitel csupán 20-35 gramm/nap. Az emberi népesség ezen része „rejtett éhínségben” szenved, állati fehérjében alultáplált. Ezáltal nem jut hozzá alapvető vitaminokhoz (pl.: A, B₆, B₁₂ és D), valamint makro- és mikroelemekhez (pl. kalcium, jód, foszfor, szelén és cink) továbbá esszenciális zsírsavakhoz sem, amelyeket növényi termékek vagy egyáltalán nem tartalmaznak, vagy nagyon alacsony koncentrációban,

rossz emészthetőség mellett, mint például a vas (Murphy és Allen, 2003). Joggal állíthatjuk, hogy világszinten az állati fehérje napi bevitele messze nem elegendő az élettanilag szükséges színvonalhoz (Sans és Combris, 2015). Sajnos, még a viszonylag gazdag országokban, ahol az átlagfogyasztás eléri vagy kissé meg is haladja a kívánatos szintet (GDP 27 ezertől 41 ezer USD/fő/év), azokban is jelentős lakossági rétegek nem jutnak elegendő állati fehérjéhez.

Az előbbiekben röviden összefoglaltak alapján nem meglepő, hogy az összes mértékadó előrejelzés az állatiermék-fogyasztás számottevő emelkedését jelzi a jövőben. Az előrejelzések figyelembe veszik a már jelenleg is fennálló állatifehérje-ellátottsági deficitet, figyelembe veszik a várható további népességnövekedést, és a prognosztizálható, a világ nagy részén tapasztalható és várható jövedelem-növekedést a zömében fejlődő országokban és régiókban. Így többek között a Rabobank a marhahústermelés évi 1,2 százalékos, a sertéshús 1,6, a baromfihús 2,4, a haltermelés 1,4 százalékos évi növekedésével számol 2017–2035 között (Mulder, 2017). A FAO 2005–2050 között átlagosan évi 1,5 százalékos növekedéssel számol a marhahús, 1,4-gyel a sertés, 2,7 százalékkal a baromfihús esetében (Mottet és Tempio, 2016). A halnál a termelés bővülését a mesterséges haltermelési rendszerekre alapozottan prognosztizálják, azzal számolva, hogy a szabadvízi halászati fogások csökkenő hozamokkal kecsegtetnek.

A hústermelés hatékonyságának néhány kérdése a különböző állattenyésztési ágazatokban

A jövőben a különböző állattenyésztési ágazatok között elkerülhetetlenül bizonyos versenyhelyzet alakul majd ki a rendelkezésre álló erőforrásokért, döntően a takarmányforrásokért. A Földön a rendelkezésre álló és hasznosítható területek adottak, a geográfiai és földtani korlátok jelentősek, a csapadékviszonyok régióként különbözőek és nagyon meghatározóak, az öntözhető vagy azzá tehető területek végessége is korlátokat jelent. A haltermelés élettereit tekintve, a tengeri és édesvízi vízkészleteket illetően kétségtelenül nagyobb a természetes háttér.

A szárazföldi állattenyésztési ágazatok versenyképességi potenciálját a hústermelésben jól érzékelteti az 1. táblázat adatsora. Az adatok ugyan az ezredforduló körüli állapotokat tükrözik, de a leszűrhető következtetések maradéktalanul érvényesek napjainkra is. Feltűnő, hogy a különböző hústermelési ágazatok között milyen nagy különbségek vannak abban, hogy az adott faj Földön élő összes élőtömegéhez képest – amelyet el kell tartanunk – milyen arányban állítható elő emberi fogyasztásra alkalmas húsmennyiség évente. Az arányok a szarvasmarha hústermelés 0,16-szoros értékétől a baromfifélék 4,84-szeres arányáig terjednek. A szaporább állatfajok versenyelőnye, hatékonysági fölénye vitathatatlan. A szarvasmarha esetében fajtáktól, termelési körülményektől függően egy tehéntől évente átlagosan 0,6–0,8, egy anyajuhtól 0,6–1,5, egy kocától évi 12–30, a baromfiféléktől – fajtól függően – mintegy 30–150 utód nyerhető évente. Az adott fajon belül a fajták és a termelési körülményei közötti különbségek jelentősek országon belül is, még nagyobb kontinensek között. Így utóbbi adatok megközelítő pontosságúak. A táblázatban érdekességként a szerzők (Verstegen és Tamminga, 2005) az emberi populációt is számításba veszik.

1. táblázat

A világ hústermelő háziállat állománya, élőtömege és az évente hasznosult vágóállat tömege

Állatfajok (1)	Létszám milliárd (2)	Összes élőtömeg millió tonna (3)	Éves termelés millió tonna (4)	Éves termelés/össztömeg arány (5)
Szarvasmarha (6)	1,41	332	52,6	0,16
Juh, kecske (7)	1,57	36	9,9	0,28
Sertés (8)	1,36	47	87,2	1,86
Baromfifélék (9)	13,90	12	58,1	4,84
Összes állat (10)	18,20	427	207,9	2,06
Ember (11)	6,0	237	23,6	0,19

Table 1. Total (world) number of animals, total biomass, annual utilizable meat production, and relation of annual production compared to total biomass

species (1); number of world population (billion) (2); total biomass (million tons) (3); annual meat production (million tons) (4); ratio of annual meat production to total biomass (5); cattle (6); sheep and goat (7); pig (8); poultry (9); total animal number (10); humans (11)

A szárazföldi hústermelés céljából tartott haszonállatok szaporaságához képest tenyésztett halfajaink szaporasága összehasonlíthatatlanul nagyobb. Így egy pontyanyától akár 1 millió ikra is nyerhető, amely szaporulatból 400-500 ezer értékesíthető áruPonty állítható elő a nevelési ciklus végére. Ez hazai viszonyok között 3 év, de melegebb éghajlaton akár egyetlen év is lehet. Az afrikai harcsa ugyan kevésbé szapora, mégis egy ikrásától 150–160 ezer ikra fejhető, amelyből egy termelési ciklusban (8-10 hónap) körülbelül 120–130 ezer 1,0–1,5 kilogrammos értékesíthető áruharcsa nevelhető. Mindkét fajban a szülők élősúlya nem éri el még a 10 kilogrammot sem. Összehasonlításként a húsmarhatartásban egy 500–550 kilogrammos anyatehéntől jó esetben egy 330-340 kilogrammos legelőről leválasztott borjú nyerhető abban az esetben, ha minden tehéntől egy borjú születik és azt fel is nevelik. A kevésbé szapora szárazföldi állattenyésztési ágazatokban hatalmas takarmánymennyiséget igényel a szülőpopuláció fenntartása, ami jelentős versenyhátrány a halfajokkal szemben. Minden hústermelés céljából tartott és tenyésztett állatfajra érvényes – akár szárazföldi fajokról, akár halakról van szó – a rövidebb hizlalási-nevelési ciklusok versenyelőnyt jelentenek.

Amennyiben az állandó testhőmérsékletű szárazföldi állattípusok és a halak alapvető anyagcsere különbségeit összegezzük, a jellemzőket a 2. táblázat mutatja.

Könnyű belátni, hogy a halak előnye számottevő és több tényező által befolyásolt a szárazföldi állatállományokkal összehasonlítva. A legfontosabbak ezek közül: A halaknak gyakorlatilag nem kell energiát fordítaniuk arra, hogy testhőmérsékletüket az élettanilag meghatározott tartományban tartsák, ez jelentős táplálóanyag-többletigényt jelent. A halaknak nem kell energiát fordítani arra – vagy csak minimálisat –, hogy pihenőhelyzetben vagy mozgáskor a gravitációs erőt legyőzzék. A haltenyésztésben és nevelésben a halaknak azt a sajátosságát is jól ki lehet használni, hogy az egyes fajokra jellemző, jól tolerálható vízhőmérsékleti tartományon belül a vízhőmérséklet 4 Celsius-fokos emelésével megduplázható az anyagcsere folyamatok sebessége, így a növekedése, a testsúlygyarapodása is. Gyakorlatilag kihasználható főleg mesterséges, zárt rendszerekben a növe-

2. táblázat

A halak és állandó testhőmérsékletű állatok alapvető anyagcsere eltérései (Jobling, 2017)

	Halak (1)	Emlősök, madarak (2)
Anyagcsere intenzitás (3)	Alacsony (4)	Magas (5)
Éhségtűrés (6)	Jó (7)	Rossz (8)
Életfenntartó táplálóanyag szükséglet (9)	Alacsony (4)	Magas (5)
Testsúly-gyarapodásra fordítható tápanyag-felhasználás hatékonysága (10)	Magas (5)	Alacsony (4)

Table 2. Metabolic characteristics of fish and homeothermic animals

fish (1); mammals and birds (2); metabolic rate (3); low (4); high (5); starvation resistance (6); good (7); low (8); nutrient requirement for maintenance (9); efficiency of nutrient utilization for growth (10)

kedési sebesség x víz hőmérséklet kölcsönhatás. Ez utóbbi egyébként nekünk a tógazdasági haltermelésben versenyhátrány a melegebb éghajlatú országokkal szemben, mert utóbbiak halaik növekedési potenciálját egész évben kihasználhatják, míg a mérsékelt égövben ez csak az év egy részében adott, éghajlati zónától függően. A haltartásban a halak koplalást tűrő képessége is előnyt jelent (adott esetben) a szárazföldi állattartáshoz képest, nem beszélve arról, hogy a szárazföldi állattenyésztésben rövid idejű vízhiány is katasztrofális következményekkel jár. A legfontosabb hústermelő háziállat fajaink és egyes tenyésztett halfajok takarmányértékesítésének energia- és fehérjeretenciójának összehasonlítását mutatja a 3. táblázat. A táblázatban csak az átlagos értékeket közöljük. Mindegyik átlagnak nagy a szórása, hiszen nagyszámú környezeti feltétel közepette mért adatokból számított átlagokat mutatja a táblázat.

3. táblázat

Átlagos takarmányértékesítés, energia- és fehérjeretenció a fő hústermelő háziállatfajokban és egyes halfajok esetében (Fry és mtsai, 2018)

Állatfajok (1)	Takarmányértékesítés tak. kg/súlygy. kg (2)	Energiaretenció % (3)	Fehérjeretenció % (4)
Húsmarha (5)	8,0	7	13
Sertés (6)	3,8	17	22
Brojlercsirke (7)	1,8	27	37
Ponty (8)	1,7	8	15
Tilápia (9)	1,6	7,5	18
Csatorna harcsa (10)	1,3	11	17
Atlanti lazac (11)	1,2	25	28

Table 3. Feed conversion ratio, energy and protein retention of some terrestrial and selected farmed fish species

animal species (1); feed conversion ratio (kg feed/kg weight gain) (2); energy retention (3); protein retention (4); beef cattle (5); pigs (6); broiler chicken (7); carp (8); tilapia (9); channel catfish (10); Atlantic salmon (11)

Egyértelmű, hogy a halfajok jól szerepelnek. Jelentős különbségek mutatkoznak a szárazföldi állattenyésztési ágazatokban felhasznált takarmányok és a mesterséges haltermelésben felhasznált takarmányok között a tekintetben, hogy a kérődzők és az abrakfogyasztók által elfogyasztott takarmányokban állati eredetű fehérjék gyakorlatilag nem, vagy minimális mennyiségben találhatóak. A haltermelésben ugyanakkor a feletetett takarmányok jelentős mennyiségű állati eredetű komponenst tartalmaznak annak ellenére, hogy ezek arányának csökkentésére egyértelműek a törekvések világszerte (*Nagy és mtsai, 2017* és sokan mások).

Az egyes állattenyésztési ágazatok környezetterhelése egységnyi termék előállítására. Intenzív vagy extenzív stratégia?

A kérdés fölötti vita régi keletű és még ma is élő. Az állattermék-előállítás hatékonyságának javulása nem választható el a takarmánynövények termesztésének, a szektor fejlesztésének komplex figyelembevétele nélkül. A tudományosan megalapozott nemesítési módszerek alkalmazása az állattenyésztésben kölcsönhatásban a termelés- és termesztéstechnológiai és kapcsolódó fejlesztésekkel, együttesen tette lehetővé, hogy ma sokkal kevesebb termőföld lekötéssel, természeti erőforrás felhasználással és jóval kevesebb környezetet terhelő anyag kibocsátásával állítható elő egységnyi állati termék, mint korábban bármikor. Az intenzifikáció hatásának lényegét két ágazat példája is jól érzékelteti. A tejelő tehénállományokban a tejtermelés növelésére irányuló szelekció kiemelkedően eredményes volt az elmúlt félévszázadban. Ugyanez vonatkozik a hústípusú csirkére is.

Az USA-ban például 1944 és 2009 között a tehének tejtermelése 2000 literről 9000 literre nőtt (Magyarországon ez a termelésnövekedés megközelítőleg hasonló volt 1970-től napjainkig). Az USA teljes tejtermelési vertikumát kiértékelve az 1 liter teje vetített takarmányenergia-igény 77%-kal, a takarmányfehérje-igény 71%-kal csökkent, miközben az összes vízfelhasználási szükséglet az ágazatban 65%-kal lett kevesebb. Az 1 liter tej előállítására vetített komplex CO₂ lábnyom 64%-kal, a környezetet terhelő foszforkibocsátás 7%-kal lett kisebb (*Capper és mtsai, 2009*). Amennyiben az USA-ban visszatérnének a legelőre alapozott tejtermelési rendszerre (1944-es állapot), amit sokan az USA-ban ma is idealizálnak különböző szempontból, akkor 143 millió hektár termőterületet kötné le a tejtermelési szektor az USA tejszükségletének megtermelésére. Ugyanakkor a jelenleg jellemző sokkal intenzívebb tejtermelési rendszerben mindösszesen 13,6 millió hektár takarmánytermő terület elegendő. A megtakarítás több mint 129 millió hektár (*Horn, 2013*). Bármennyire is ideálisnak tűnik sokak szemében a régebbi, környezetbarátnak hitt termelési mód, a jelenlegi magas tej- és tejtermékszükségletet sem az erőforrások oldaláról, sem pedig a nagy környezetterhelés miatt nem lehetne vállalni és technikailag megvalósítani.

A pecsenyecsirke termelés hatékonysága is látványosan javult. Az intenzifikáció egyértelműen csökkentette az erőforrásigényeket és a környezetterhelő hatásokat egységnyi termék egységre vetítve. A komplex környezeti lábnyom változását az USA brojler vertikumában az 1965–2010 közötti időszakra vonatkozóan mutatja a 4. táblázat, (Magyarországon hasonló tendenciák mutatkoztak a brojler-vertikumban *Horn (2017)*).

4. táblázat

Az USA brojler előállításának és komplex környezeti lábnyomának változása 1965 - 2010 között (Putnam és mtsai, 2017)

	1965	2010
Termelési paraméterek: (1)		
Testsúly vágáskor, kg (2)	1,59	2,59
Életkor vágáskor, nap (3)	63	47
Takarmányértékesítés, tak. kg/súlygyar. kg (4)	2,39	1,94
Elhullás, % (5)	6	4
Környezetet terhelő hatások csökkenése egységnyi élő súly előállítása során 1965-2010 között (%) (6)		
Üvegházhatású gáztermelés, kg CO ₂ eqv (7)		-36
Fosszilis energiafelhasználás, MJ (8)		-39
Vízfelhasználás, m ³ (9)		-58
Takarmánytermő terület lekötés, m ² (10)		-72
Acidifikációs hatás, kg SO ₂ eqv (11)		-29
Eutrofizációs hatás, kg N eqv (12)		-25

Table 4. Life cycle impact assessment results per unit product USA broiler industry (1965 vs. 2010)

production parameters (1); body weight at slaughter kg (2); age at slaughter days (3) feed conversion (kg feed/kg weight gain) (4); mortality (5); environmental impact change 2010 vs 1965 (%) (6); GWP kg CO₂ eq (7); fossil energy MJ (8); water (9); land requirement in m²/kg body weight production (10); acidification kg SO₂ eq (11); eutrophication kg Neq (12)

A különböző állattenyésztési ágazatokra vonatkozó analízisek egyértelműen mutatják, hogy a kedvező hatások mértéke annál nagyobb, minél nagyobb volt a realizálható genetikai tényezőkre visszavezethető teljesítményjavulás az adott állatfajban, illetve a takarmánynövények termesztésében, és a termelési feltételeket jelentős mértékben lehetett függetleníteni a környezeti tényezőktől. Így például a legelőre alapozott állattenyésztési ágazatokban összehasonlíthatatlanul kisebb volt a komplex hatékonyság javulás egységnyi termék előállítása esetében (pl. húsmarha, Capper, 2011)

Kevés olyan egzakt összehasonlító vizsgálatról van tudomásunk, amelyben halastavi rendszereket hasonlítottak össze sertés és húsbarmfi, valamint növénytermesztési ágazatokkal olyan módon, hogy azok egy-egy üzemen belül voltak összehasonlíthatók, egységnyi termékegységre vetített környezetterhelésüket illetően. Egy ilyen nagyszabású kísérletben (Phong és mtsai, 2011) a Mekong deltában választottak ki 11 farmot, ahol haltermelést és más ágazatokat is műveltek. Az egyes farmok tavaiban döntően polikultúrák termelés folyt (pangazius, tilápia, gurámi, ponty). Az 1 kilogramm előállított termékre eső környezetterhelést és erőforrásigényt az egyes ágazatokra vonatkozóan az 5. táblázat mutatja.

A 11 farm átlagában a haltermelés jóval hatékonyabbnak és kevésbé környezetterhelőnek bizonyult, mint a sertéshús- vagy a baromfi-hús-termelés. Természetesen a növénytermesztési kultúrák egységnyi termékre vetített környezetterhelése jóval kisebb, amint az ma már széles körben ismert.

5. táblázat

1 kg termék előállítását terhelő erőforrásigény és környezeti hatás (Phong és mtsai, 2011)

Hatások (1)	Rizs (2)	Gyümölcs (3)	Zöldség (4)	Sertés (5)	Baromfi (6)	Hal (7)
Farmok száma (8)	7	11	6	11	11	11
Föld lekötés, m ² /kg (9)	1,00 ^c	1,41 ^c	1,35 ^c	9,11 ^a	9,57 ^a	6,02 ^b
Energia, kJ/kg (10)	1229 ^c	1572 ^c	1643 ^c	10258 ^a	10729 ^a	6913 ^b
Üvegházhatású gáz-kibocsájtás, g CO ² -eqv./kg (11)	940 ^c	1371 ^c	1209 ^c	8262 ^a	8719 ^a	6078 ^a
Eutrofizációs hatás, g NO ₃ -eqv./kg (12)	21 ^c	28 ^c	29 ^c	213 ^a	207 ^a	135 ^b
Acidifikációs hatás, g SO ₂ -eqv./kg (13)	6 ^b	8 ^b	8 ^b	50 ^a	50 ^a	34 ^a

^{a b c} azonos sorban a különböző betűvel jelölt átlagértékek szignifikánsan eltérnek

Table 5. Impact categories per kg farm product for each of the farm components

impact (1); rice (2); fruit (3); vegetables (4); pigs (5); poultry (6); fish (7); number of farms (8); land use (9); energy use (10); GWP (g CO²-eq./kg) (11); EP (g NO₃-eq./kg) (12); AP (g SO₂-eq./kg) (13)

^{a b c} different letters mean significant differences between means within rows

A haltenyésztés jövője: genetikai programok

Az emberi halfogyasztás 53%-át az akvakultúra termelés állítja elő. Az érték 2030-ra ugyancsak növekedő tendenciát fog mutatni és elérheti akár a 60%-ot (FAO 2018, Mehar és mtsai, 2019). A globális piaci igény gyarapodása a lélekszám elmélkedésével, a fogyasztói igények és szokások változásával magyarázható. A társadalom felismerte a halthús egészségügyileg fontos mikrotápanyag-tartalmának jelentőségét, mely számos súlyos betegség megelőzésében játszhat kulcsszerepet (Oken és mtsai, 2012; Mehar és mtsai, 2019). A haltenyésztés termelése az elkövetkezendő 13 évben megduplázódhat az állományok intenzív szelektálásával és a genetikai vonalak javításával (hibridizáció, keresztezés, genom manipuláció, szelektációs tenyésztés stb.) (Lind és mtsai, 2012; Gjedrem és Rye, 2018). A 2010-ben mért adatok szerint az akvakultúra produktum csupán 8,2%-át adták genetikai programokat alkalmazó termelő egységek (Gjedrem és Rye, 2018). Az érték messze elmarad a növénytermesztés és szárazföldi állattenyésztés esetében mért eredményekhez képest (Houston, 2017). Az ágazat számára továbbá kiemelt fontossággal bír a közeljövőt fenyegető klímaváltozás, a lehetséges károk tudatában: a tengerek vízszintjének emelkedése, az óceánok termelési kapacitásának átalakulása, édesvízhiány, rendkívüli időjárási jelenségek gyakoriságának növekedése. A klímaváltozás befolyásolni fogja a globális akvakultúrát a földrajzi és éghajlati viszonyok módosulásával, a tenyésztett halfajok összetételének megváltozásával, valamint át fogja alakítani a termelés szerkezetét. A produktivitás fenntartásához sokkal ellenállóbb genetikai vonalakra lesz szükség a termelt fajok esetében. A tenyésztés során keletkezett üvegházhatású gázok kibocsátását továbbá csökkenteni kell (optimalizált vízhasználat és szállítás, jobb takarmányértékesülés stb.), melyben ugyancsak

kulcsszerepet játszhatnak a genetikai programok (ökológiai lábnyom csökkentése) (*Sae-Lim és mtsai, 2017*). Az említett módszerekkel számos faj esetében igazoltan nőtt a termelés mértéke (*Mehar és mtsai, 2019*). A Norvégiában és Chilében tenyésztett atlanti lazac 2006-ban több mint 150 országban vált elérhetővé (*Straume, 2015*). Az Új-Zélandon előállított gyorsabban növekedésű „Chinook” lazac közel 30 országban került eladásra 2011-ben (*Camara és Symonds, 2014*). A specifikus genetikai állományú gyorsabban növekedő nilusi tilápia vonalat (*Gjedrem és mtsai, 2012; Khaw, 2015*), több mint 11 országban (Ázsia, Afrika, Amerika) alkalmazzák manapság (*Ponzoni és mtsai, 2008; Ponzoni és mtsai, 2010; Ponzoni és mtsai, 2011; Anshah és mtsai, 2014; Mehar és mtsai, 2019*).

Anyagkörforgás a vízi ökoszisztémákban és az akvakultúra „környezeti lábnyoma”

Az anyag és energiaáramlás a vízi ökoszisztémákban több lépésből álló, úgynevezett táplálék hálózatokon keresztül megy végbe. A biomassa előállítása során rengeteg energia emésztődik fel leadott hő formájában. A hosszabb, több lépcsős kaszkád több energiavesztéssel jár, így kevesebb forrás fordítódik az állati produktumra. Az említett törvény alapján a növényevő halak termelése energiahatékonyabb a halgazdálkodás számára. A táplálékhálózat lépcsőfokait trofikus szinteknek nevezzük. A képzeletbeli piramis alján állnak a víztetekben élő növények. A következő hierarchikus fok az őket és fitoplanktonot fogyasztó állatok. A hálózat felső régiójában helyezkednek el a húsevő (ragadozó) élőlények. A különböző fajok a vízi ökoszisztéma több trofikus lépcsőjét is elfoglalhatják az energia forrásától függően. Sok hal táplálkozási módot változtat, ha külső behatásra megváltozik az őt körülvevő ökológiai niche. Adott szinten az anyagáramlás mértéke a biomassa termelésbe felhasznált és az úgynevezett hővesztéssel leadott energiával számszerűsíthető. A tápanyagforgalom és állati termék előállítás során a különböző trofikus szintek között folyamatosan csökken a rendelkezésre álló energia a termodinamika első és második szabálya alapján. A legfelső szinten álló halfajok termelése egy általános ökoszisztéma rendszerben ez által a legkevésbé gazdaságos (*Kutty, 1987*). A ragadozó (vagy húst fogyasztó) halfajok esetében elmondható, hogy a sertés, vagy broiler csirke termeléshez viszonyítva, kétszer vagy háromszor hatékonyabban építik be a rendelkezésre álló energiát és tápanyagot, vagyis állítanak elő az emberi fogyasztás számára értékes fehérjét (*Gjedrem, 2000*). Az akvakultúra évről évre növekvő tendenciát mutat. Tógazdasági körülmények között azonban, a megtermelt a ráfordított energia csak kis hányada jelenik meg halhúsban, nagyobb része a tó üledékében vesz el. A fenntartható akvakultúra egyik jövőbeni alapkövetelménye kell legyen, a ráfordított tápanyag minél gazdaságosabb felhasználása (*Bosma és Verdegem, 2011*). A halgazdálkodás gyors fejlődése és növekedése világszinten helyezi nyomás alá a környezeti erőforrásokat (víz, táplálék, energia stb.). Klasszikus tógazdasági körülmények között a táp, szemestakarmány vagy trágya előállítás, energia és víz ráfordítással jár. A tavak pazarló vízhasználatával ugyancsak nagy lehet a felhasznált erőforrás veszteség. Az ökológiai szemléletű gazdálkodás szempontjából lényeges a nagy hatásfokú takarmányozási és vízgazdálkodási terv fejlesztése (*Bostock és mtsai, 2010*). A fenntartható akvakultúra esetében fontos tényező az üvegházhatású gáz kibocsátás mértéke. Vizsgálatok alapján elmondható, hogy az akvakultúra ágazat

(a nem legelő illetve tömegtakarmányt felhasználó állattenyésztési ágazatokkal egyetemben: baromfi, sertés) középen helyezkedik el a képzeletbeli skálán az emisszió tekintetében. A kibocsátás mértéke a legkisebb a növényi termékek előállításakor, míg a legnagyobb a növényevő állatoknál (pl. szarvasmarha) (Clune és mtsai, 2017). A halgazdálkodás során termelt üvegházhatásúgáz számos szinten jelentkezik. A halak takarmányozására szolgáló növények, vagy állati és növényi eredetű specifikus tápok előállítása, valamint szállítása hozzájárul a kibocsátáshoz. A fajok tartására és nevelésére szolgáló infrastruktúra építése és üzemeltetése hasonlóképp emelheti a káros gázok szintjét. A víz minősége nagyban befolyásolja a halhústermelés hatékonyságát, ezáltal hatással van az ökológiai lábnyomra. A gyenge vízminőség következtében energia- és tápanyaghiány jelentkezik, mely emeli a termelés üvegházhatásúgáz produktumát. Újabb kutatások bizonyították, hogy optimalizált törendszerek üzemeltetés mellett magas hozammal egyfajta „szén csapda”-ként működhetnek a haltermelő egységek (Verdegem és Bosma, 2009; Robb és mtsai, 2017; Ghosh és mtsai, 2020). A halgazdálkodás fenntarthatóságának egyik alappillére lehet a közeljövőben a költséghatékonyság növelése, az intenzifikáció, esetlegesen új fajok bevonása az ágazatba. A tradicionális termelési egységek átalakítása révén csökkenthetővé válik a szektor ökológiai lábnyoma (Bostock és mtsai, 2010).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg

IRODALOMJEGYZÉK

- Ansah, Y. B. – Frimpong, E. A. – Hallerman, E. M. (2014): Genetically-improved tilapia strains in Africa: Potential benefits and negative impacts. *Sustainability*, 6. 3697–3721. DOI: 10.3390/su6063697
- Bosma, R. H. – Verdegem, M. C. J. (2011): Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livest. Sci.*, 139. 58–68. DOI:10.1016/j.livsci.2011.03.017
- Bostock, J. – McAndrew, B. – Richards, R. – Jauncey, K. – Telfer, T. – Lorenzen, K. – Little, D. – Ross, L. – Handisyde, N. – Gatward, I. – Corner, R. (2010): Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biol. Sci.*, 365. 2897–2912. DOI: 10.1098/rstb.2010.0170
- Camara, M. D. – Symonds, J. E. (2014): Genetic improvement of New Zealand aquaculture species: programmes, progress and prospects. *New Zeal. J. Mar. Fresh.*, 48. 466–491. DOI: 10.1080/00288330.2014.932291
- Capper, J. L. (2011): The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. *J. Anim. Sci.*, 89. 4249–4261.
- Capper, J. L. – Cady, R. A. – Bauman, D. E. (2009): The environmental impact of dairy production 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.*, 87. 2160 – 2167.
- Clune, S. – Crossin, E. – Verghese, K. (2017): Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J. Cleaner Prod.*, 140. 766–783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.082
- FAO (2018): The State of the World Fisheries and Aquaculture. FAO (Food and Agriculture Organisation), Rome.

- Fry, J. P. – Mailloux, N. A. – Love, O. C. – Milli, M. C. – Cao, L. (2018): Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly. *Environ. Res. Lett.*, 13. (2) 024017. doi: 1088/1768-9326/aaa73.
- Ghosh, A. - Misra, S. - Bhattacharyya, R. - Sarkar, A. - Singh, A. K. - Tyagi, V. C. - Kumar, R. V. - Meena, V. S. (2020): Agriculture, dairy and fishery farming practices and greenhouse gas emission footprint: a strategic appraisal for mitigation. *Environ. Sci. Pollut. R.*, 27. 10160–10184. DOI: 10.1007/s11356-020-07949-4
- Gjedrem, T. – Robinson, N. – Rye, M. (2012): The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. *Aquaculture*, 350–353. 117–129. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.04.008
- Gjedrem, T. - Rye, M. (2018): Selection response in fish and shellfish: a review. *Rev. Aquacult.*, 10. 168–179. DOI: 10.1111/raq.12154
- Gjedrem, T. (2000): Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquacult. Res.*, 31. 25–33. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2000.00389.x
- Horn, P. (2013): A tej és marhahústermelés versenyhelyzete a világ állattenyésztésében. Állattenyésztés és Takarmányozás, 62. 308–323. (in Hungarian with English summary)
- Horn, P. (2017): Az újkori állatnemesítés kialakulása. In: *Precíziós nemesítés. Kulcs az agrárinnovációhoz.* Szerk.: Balázs, E. – Dudits, D., Agroiinform, Budapest, 33–40. ISBN 978-615-5666-09-4
- Horn, P. (2018): A mezőgazdasági termelés jövőjét meghatározó néhány fontos kérdéskör. *Gazdálkodás*, 62. 385–405. (in Hungarian with English summary)
- Houston, R. D. (2017): Future directions in breeding for disease resistance in aquaculture species. *Revis. Brasileira Zootec.*, 46. 545–551. DOI: 10.1590/s1806-92902017000600010
- Jobling, M. (2017): Bioenergetics in Aquaculture settings, In Reference Module in Life Sciences. Elsevier, 2017. ISBN: 978-0-12-809633-8, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.03202-7>.
- Khaw, H. L. (2015): Cooperative and uniform fish? Social interactions and variability in live body weight in the GIFT strain (Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* in Malaysia). PhD thesis, Wageningen University, Netherland.
- Kutty, M. N. (1987): Site Selection For Aquaculture: Biological productivity of water bodies. FAO 2019. <http://www.fao.org/3/AC176E/AC176E00.htm#TOC>.
- Lind, C. E. - Ponzone, R. W. - Nguyen, N. H. - Khaw, H. L. (2012): Selective breeding in fish and conservation of genetic resources for aquaculture. *Reprod. Domest. Anim.*, 47. Suppl 4. 255–263. DOI: 10.1111/j.1439-0531.2012.02084.x
- Mehar, M. - Mekki, W. - McDougall, C. - Benzie, J. A. H. (2019): Fish trait preferences: a review of existing knowledge and implications for breeding programmes. *Rev. Aquacult.*, 1-24. DOI: 10.1111/raq.12382
- Mottet, A. – Tempio, G. (2016): Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *Proc. Inv. Pap. XXV. World Poultry Congress. Peking*, 1–8.
- Mulder, N. D. (2017): Dealing with global food supply challenge. Precision farming and environmental sustainability. Outlook - konferencia a hazai élelmiszergazdaság fenntarthatósági kilátásairól. Budapest, <http://repo.aki.gov.hu/2649/>
- Murphy, S. P. – Allen, L. H. (2003): Nutritional importance of animal source foods. *J. Nutr.*, 133. 3932–3935.
- Nagy, Z. – Havasy, M. – Gál, D. – Hancz, Cs. (2017): Effects of different European Catfish feeds on production parameters and water quality in limno corrals. *Acta Agr. Kaposvariensis*, 21. 15– 27.
- Oken, E. - Choi, A. L. - Karagas, M. R. - Mariën, K. - Rheinberger, C. M. - Schoeny, R. - Sunderland, E. – Korrick, S. (2012): Which fish should I eat? Perspectives influencing fish consumption choices. *Environ. Health Perspect.*, 120. 790–798. DOI: 10.1289/ehp.1104500
- Olten, J. J. – Hellwig, J. P. – Meyers, L. D. (2006): Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements. Institute of Medicine. Washington D.C.

- Phillips, S. M. – Chevalier, S. – Leidy, H. J. (2016): Protein requirements beyond the PDA: implications for optimizing health. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 41. 505–572. dx. doi. org/10. 1139/apum - 2015–0550.
- Phong, L. T. – de Boer, I. J. M. – Udo, H. M. J. (2011): Lyfe cycle assessment of food production in integrated agriculture-aquaculture systems of the Mekong Delta. *Livestock Sci.*, 139. 80–90. doi: 10. 1016/j.livsci. 2011. 03.015.
- Ponzoni, R. W. – Khaw, H. L. – Yee, H. Y. (2010): GIFT: The Story since Leaving ICLARM (now known as The WorldFish Center) – Socioeconomic, Access and Benefit Sharing and Dissemination Aspects. FNI Report 14/2010. Fridtjof Nansen Institute, Lysaker.
- Ponzoni, R. W. – Nguyen, N. H. – Khaw, H. L. – Hamzah, A. – Bakar, K. R. A. – Yee, H. Y. (2011): Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the Worldfish Center with the GIFT strain. *Rev. Aquacult.*, 3. 27–41. DOI: 10.1111/j.1753-5131.2010.01041.x
- Ponzoni, R. W. – Nguyena, N. H – Khaw, H. L. – Kamaruzzamana, N. – Hamzah, A – Bakar, K. R. A. - Yee, H. Y. (2008): Genetic improvement of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) – Present and future. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Egypt.
- Putnam, B. – Thoma, G. – Burek, J. – Matlock, M. (2017): A retrospective analysis of the United States poultry industry: 1965–2010. *Agric. Syst.*, 157. 107–117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.008>
- Robb, D. H. – MacLeod, M. - Hasan, M. R. - Soto, D. (2017): Greenhouse gas emissions from aquaculture: a life cycle assessment of three Asian systems. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 609. ISBN: 978-92-5-109833-2
- Sae-Lim, P. – Kause, A. – Mulder, H. A. – Olesen, I. (2017): Breeding and Genetics Symposium: Climate change and selective breeding in aquaculture. *J. Anim Sci.*, 95. 1801–1812. DOI: 10.2527/jas.2016.1066
- Sans, P. – Combris, P. (2015): World meat consumption patterns: An overview of the last fifty years (1961–2011). *Meat Sci.*, 109. 106–111.
- Straume, H. (2015): Trade costs and Norwegian salmon export. Working Papers in Economics, 06/15, University of Bergen, Department of Economics.
- Verdegem, M. C. J. – Bosma, R. H. (2009): Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Po.*, 11. 52–68. DOI: 10.2166/wp.2009.003
- Verstegen, M. W. A. – Tamminga, S. (2005): The changes in animal nutrition in the 21th century. International Symposium on Animal Nutrition. 3–30. Kaposvár, ISBN 963869425

Érkezett: 2020. augusztus

Szerzők címe: Horn P.

Szent István Egyetem, Kaposvári Campus
Állattenyésztés-technológia és Menedzsment Intézeti Tanszék

Authors' address: Szent István University, Kaposvár Campus
Department of Animal Husbandry and Management
H-7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.
horn.peter@szie.hu

Urbányi B.

Szent István Egyetem, Gödöllői Campus
Halgazdálkodási Tanszék
Szent István University, Gödöllő Campus
Department of Aquaculture
H-2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.
urbanyi.bela@szie.hu

ALTERNATÍV FEHÉRJE- ÉS ZSÍRFORRÁSOK A HALAK TAKARMÁNYOZÁSÁBAN

MÉZES MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

A világ halliszt termelésének csökkenése miatt a haltakarmányozásban is egyre nő az igény olyan alternatív fehérjeforrások iránt, amelyekkel a halliszt hatékonyan helyettesíthető. Az egyéb állati eredetű fehérjék felhasználását az EU szabályozások nagyrészt tiltják, így elsősorban a növényi eredetű fehérjeforrások felhasználása terjed el. Ezek nagy része azonban olyan antinutritív és toxikus anyagokat tartalmaz, amelyek felhasználásukat korlátozza. Így például a szója olyan vegyületeket tartalmaz, amely súlyos bélgyulladást idézhet elő. Az egyéb növényi fehérjék aminosav-összetétele pedig nem elégíti ki a halak szükségletét, így csak aminosav-kiegészítéssel alkalmazhatók. Napjainkban felmerült az egy-sejt fehérjék, valamint a rovarlárvák felhasználásának lehetősége is, de ezek is csak bizonyos megkötésekkel alkalmazhatók. Hasonló a helyzet a zsírforrásokkal is, mert a korábban általánosan alkalmazott halolaj is csak korlátozottan áll rendelkezésre, ezért azt növényi olajokkal, vagy egyéb állati zsírokkal kell helyettesíteni. A halak takarmányainak optimális zsírtartalmára vonatkozóan csak becslések állnak rendelkezésre, de az jól ismert, hogy a halak különösen érzékenyek a többszörösen telítetlen zsírsavak hiányára. A halolajat ebben az esetben egyes növényi olajok mellett tengeri algákkal, valamint rovarokból származó zsírral lehet a leginkább eredményesen helyettesíteni.

SUMMARY

Mézes, M.: ALTERNATIVE PROTEIN AND FAT SOURCES IN FISH NUTRITION

Fishmeal production decreases all over the world, therefore there is a growing requirement for those alternative protein sources, which would be adequate replacements of fishmeal. The use of other animal protein sources is not allowed in the EU. For that reason, the use of plant protein sources spread even in fish nutrition. However, most of these plant protein sources contain anti-nutritive or toxic compounds, which limit their use. For instance, soybean contains some compounds which may provoke severe inflammatory processes in the gut. Additionally, the amino acid composition of other plant proteins is not demanded the requirement of fishes; therefore, those can be used only limited amounts and with amino acid supplementation. Nowadays, a new alternative is the possibility to use single-cell proteins, but those are expensive and can be used only with some limitations. There is the same situation for lipid sources because the generally used fish oil availability is also limited; therefore, those should be replaced with plant oils or other animal fats. The fat requirement of fishes is not precisely known; there are only predictions. However, it is known that fishes are susceptible to the deficiency of polyunsaturated fatty acids. The best sources for the replacement of fish oil are plant oils, marine microalgae, and insect oils.

A HALAK FEHÉRJEIGÉNYE ÉS A KIELÉGÍTÉS LEHETŐSÉGEI

A halak nyersfehérjeigénye az egyéb monogasztrikus állatfajokhoz viszonyítva több, így például a ragadozó fajoké 45-55%, míg a mindenevő fajoké 35-45% (Wilson, 2002). Az Európai Unió országaiban a gazdasági állatok, így a halak, takarmányaihoz felhasznált fehérje tekintetében jelentős hiány van, annak közel 70%-át importból szerzik be (Häusling, 2011).

A haltakarmányokban az elsődleges fehérjeforrás hosszú időn keresztül a halliszt volt, amelyet a későbbiekben igyekeztek extrahált szójadarával felváltani. Ennek oka az volt, hogy a világon előállított haltakarmányok mennyisége folyamatosan nőtt, a halliszt-előállítás mértéke viszont csökkent. A világon előállított összes halliszt mennyiségének így is 55%-át a haltakarmányozásban használják fel (FAO, 2012). A haltakarmány-előállítás volumenének növekedését az idézte elő, hogy a tógazdasági halhústermelés az elmúlt két évtizedben kétszeresére nőtt (FAO, 2018).

A halliszt, mint a haltakarmányok jelenleg ismert legjobb fehérjeforrása átlagosan 60-72% nyersfehérjét tartalmaz és annak aminosav-összetétele is általában megfelel a legtöbb halfaj szükségletének (Dersjant-Li, 2002). A halliszt kiváltásának egyik alternatívája lehet az egyéb állati eredetű fehérjék alkalmazása, így például az édesvízi halakból származó halliszt. Ennek a lehetőségnek azonban gátat szab, hogy jelenleg még érvényben van a 999/2001/EK rendelet 22. cikk (1) bekezdés a) pontja (EU, 2001), amely szerint „Azonos fajú állatokból származó állati eredetű fehérjével nem takarmányozhatók az élelmiszertermelés céljára tartott állatok”. A hazai szabályozás ennél még szigorúbb követelményeket határoz meg (VM rendelet 65/2012): „A hazánkban tartott halfajok takarmányozhatók tengeri halakból előállított halliszttal, de nem etethetők tógazdasági halakból előállított halliszttal, mivel ez utóbbiban már előfordulhat azonos fajba tartozó egyedből származó fehérje.”

A fentiek alapján a nagy fehérjeigénnyel bíró halfajok számára (1. táblázat) szükséges olyan alternatív fehérjeforrásokat keresni, amelyekkel a halak igénye kielégíthető.

1. táblázat

Néhány halfaj becsült nyersfehérje-igénye

Halfaj (1)	Növekedés nyersfehérje-igénye (2) (%)
Nílusi tilapia (<i>Tilapia nilotica</i>) (3)	30
Ponty (<i>Cyprinus carpio</i>) (4)	38
Sebes pisztráng (<i>Salmo trutta</i>) (5)	42
Amur (<i>Ctenopharyngodon idella</i>) (6)	41-43

Forrás: NRC (2011)

Table 1. Estimated crude protein requirement of some fish species

fish species (1); crude protein requirement of growth (2); nile tilapia (3); common carp (4); brown trout (5), grass carp (6)

NÖVÉNYI FEHÉRJEFORRÁSOK

A halak takarmányozásában jelenleg számos növényifehérje-forrást alkalmaznak a halliszt kiváltására, de ezek számos állategészségügyi problémát vetnek fel, mert sem a nyersfehérje mennyiségében, sem aminosav-összetételükben nem felelnek meg teljes mértékben az adott halfaj igényeinek, emiatt alkalmazásuk során csökken a halak fertőző betegségekkel szembeni ellenálló képessége (*Oliva-Teles*, 2012). Emellett a növényi eredetű fehérjeforrások keményítő-, valamint antinutritívanyag-tartalma emésztőszervi problémákat is előidézhet (*Francis és mtsai*, 2001). A legfontosabb növényi eredetű fehérjeforrások az extrahált szójadara, az extrahált napraforgódara, az extrahált repcedara, a gyapotmagdara, a búzadara, a takarmányborsó, valamint egyes ipari melléktermékek, mint például a DDGS vagy a CGF. Ezek nyersfehérje-tartalma 15-48% között alakul (*Francis*, 2011). Az állati eredetű fehérjeforrások közül nagy nyersfehérje-tartalommal (50-70%) rendelkezik a rákliszt, a húsliszt és a vérliszt (*NRC*, 2011), valamint napjainkban előtérbe kerültek a rovarlárvákból készült lisztek (*Henry és mtsai*, 2018). Az egyéb fehérjeforrások nyersfehérje-tartalma eltérő (4-85%), ide tartoznak például a fűfélék, a levélfehérje, a szilázsok (pl. kukorica szilázs vagy fűszilázs), a hidrolizált élesztő, a zooplankton és fitoplankton szervezetek, valamint az egy-sejt fehérjék (*Gasco és mtsai*, 2018).

Látható, hogy az egyes fehérjeforrások jelentős eltérést mutatnak a nyersfehérje-tartalom tekintetében, továbbá az is kitűnik, hogy sem a növényi, sem az állati, sem az egyéb fehérjeforrások önmagukban nem képesek kielégíteni a halak nyersfehérje-igényét. Ehhez társul az a probléma is, hogy míg a hallisztfehérje emészthetősége általában több mint 95%, addig a növényi, állati és egyéb fehérjék emészthetősége halakban rendkívül eltérő lehet, 67-96% között változik. A rovarliszttel kapcsolatban további problémaként merül fel, hogy bár például a közönséges lisztbogár lárvájának nyersfehérje-tartalma jelentős (53,8%), de a nitrogénalapon történő nyersfehérje tartalom számítás esetén a rovarliszt kitintartalma azt túlértékeli (*Ghosh és mtsai*, 2017).

A nyersfehérje-tartalom mellett tekintettel kell lenni az alkalmazott fehérjeforrások aminosavtartalmára is (2. táblázat). A halliszt aminosav-tartalmával összehasonlítva például megállapítható, hogy a legtöbb jelenleg alkalmazott növényi eredetű fehérjeforrás a halak szükségletét ugyan részben kielégíti, aminosav-tartalmuk azonban elmarad a halliszttól.

2. táblázat

A halliszt, és néhány növényi eredetű fehérjeforrás aminosav-tartalma (g/kg)

Aminosav (1)	Halliszt (2)	Szójadara (3)	Napraforgó dara (4)	Gyapotmag dara (5)	DDGS
Lys	4,81	2,83	1,17	1,72	0,71
Met+Cys	2,34	1,31	1,35	1,37	1,05
Thre	2,64	1,73	1,28	1,36	1,02
Trp	0,66	0,61	0,54	0,48	0,24

Forrás: *NRC* (1998)

Table 2. The amino acid content of fishmeal and some plant protein sources (g/kg) amino acid (1); fishmeal (2); soybean meal (3); sunflower meal (4); cottonseed meal (5)

A halliszt kiváltása növényi eredetű fehérjeforrásokkal számos egyéb hátránnyal is jár, mert ezek a halak számára antinutritív, sőt akár toxikus anyagokat, többek között glükozidokat, glükozinolátokat, fitátokat, tripszin inhibitorokat, mikotoxinokat is tartalmazhatnak (Francis és mtsai, 2001). Egyes növényi fehérjék, így például a szójafehérje egyes komponensei, pedig súlyos bélgyulladást idézhetnek elő például lazacoknál (Baeverfjord és Krogdahl, 1996), de pontynál is (Urán és mtsai, 2008). A tilápia takarmányozása során például szójadara hatására csökken a bélcsatornában a lizozim aktivitás, emiatt nő a betegségekkel szembeni érzékenység (Krogdahl és mtsai, 2000). Az antinutritív anyagok, így például a tripszin inhibitorok, mennyisége megfelelő eljárásokkal ugyan csökkenthető, de ezek hatására nemcsak az antinutritív anyagok, de más fehérjék és egyes esszenciális aminosavak mennyisége és emészthetősége is csökken.

Ahogy arra korábban már utalás történt, a halak takarmányozásában alternatív fehérjeforrásként a legnagyobb mennyiségben az extrahált szójadarát alkalmazzák, amely kétféle nyersfehérje-tartalommal kerül forgalomba. A kisebb (44%) nyersfehérje-tartalmú általában sajtolással készül, míg a nagyobb (48%) nyersfehérje-tartalmú szójadara héjmentesített, és oldószeres extrakcióval készül. Az antinutritív faktorokat, elsősorban a tripszin inhibitorokat, a szójadara esetében nedves hőkezeléssel csökkentik. Ennek alkalmazásával, halfajtól függően, a halliszt jelentős mértékben (30-75%) kiváltható, aminosav-kiegészítés mellett (Akiyama, 1988).

A takarmányborsó is felmerült, mint alternatív fehérjeforrás, bár annak nyersfehérje-tartalma (25%) lényegesen kisebb, mint a szójadaráé. Emellett fehérjetartalmának aminosav-összetétele, elsősorban alacsony lizin- és metionintartalma, miatt halak számára csak megfelelő aminosav-kiegészítéssel tekinthető megfelelő alternatívának (Allan és mtsai, 2000).

A csillagfürt a borsónál nagyobb nyersfehérje-tartalmú (44%), de a fehérje lizin- és metionin-tartalma alacsony, a haltakarmányozás során tehát kiegészítésre szorul (Allan és mtsai, 2000). Toxikus hatású lupinalkaloid-tartalma miatt a haltakarmányokban legfeljebb 30%, de az alacsony alkaloidtartalmú változatok magja akár 50%-ban is alkalmazható.

Az extrahált repcedara is kedvező nyersfehérje-tartalmú (38%), a fehérje aminosav-összetétele azonban halak számára nem optimális. Toxikus hatású glükozinolát-tartalma halaknál is problémákat, pajzsmirigy működési zavarok, okozhat. Ezek mennyisége az alacsony glükozinolát-tartalmú változatoknál általában nem haladja meg a 15 $\mu\text{mol/g}$ mennyiséget (Gatlin és mtsai, 2007), amely még nem éri el a gazdasági állatok takarmányában javasolt maximális (42 mmol/kg) glükozinolát-tartalmat (EFSA, 2008).

Az ipari melléktermékek közül a DDGS (szárított szeszmoszlék) keletkezik a legnagyobb mennyiségben a bioetanol gyártás során. Kukorica-alapanyag használata esetén 26-27%, lizinben és triptofánban szegény, fehérjét tartalmaz. A haltakarmányozásban jelenleg még nem terjedt el a felhasználása, amelyet az is jelez, hogy a világon előállított teljes mennyiségnek mindössze kb. 1%-át használják csak ilyen célra. A DDGS alkalmazását általában 15% mennyiségben javasolják a haltakarmányokban, de ennek mértéke akár 40%-ra is növelhető egyes halfajok, pl. afrikai harcsa, esetében. A DDGS fehérje aminosav-összetétele miatt alkalmazása esetén lizin- és triptofán-kiegészítés szükséges (Omar, 2011).

A DDGS felhasználását a bioetanol gyártáshoz felhasznált kukorica mikotoxin szennyezettsége is korlátozhatja, mert a mikotoxinok mennyisége a fermentáció hatására körülbelül háromszoros mennyiségre nő a DDGS-ben (*Hofstetter, 2009*).

A CGF (kukoricaglutén takarmány) szintén ipari melléktermék, amely a kukorica alapú keményítőgyártás során keletkezik. A haltakarmányozásában közepesen nagy nyersfehérje-tartalma miatt (18-23,5%) maximálisan 35% mértékben helyettesítheti a hallisztet, és alkalmazása során lizin- és triptofán-kiegészítést igényel (*Ayadi és mtsai, 2012*). A CGF felhasználását is korlátozhatja annak mikotoxin szennyezettsége (*Acosta-Aragón és mtsai, 2010*).

ÁLLATIFEHÉRJE-FORRÁSOK

Az állatifehérje-források közül a halliszt nyersfehérje-tartalma is eltérő. A legnagyobb (70%) nyersfehérje-tartalommal a heringliszt rendelkezik, amelyet a szardellaliszt (64%) és a menhaden liszt (60%) követ. A ráklisztek ugyanakkor ennél lényegesen kevesebb (30-45%) nyersfehérjét tartalmaznak (*Raamsdonk és mtsai, 2012*).

Az elmúlt években előtérbe került a rovarfehérje, mint alternatív fehérjeforrás. Az Európai Unió 893/2017 rendeletében (*EU, 2017*) hét rovarfaj (fekete katonalégy, házi légy, közönséges lisztbogár, alombogár, házi tücsök, csíkos tücsök, földi tücsök), illetve annak lárváját engedélyezte rovarliszt formájában a halak takarmányozásában. Ezek közül a leginkább ígéretes alternatívának a közönséges lisztbogár, a fekete katonalégy és a házi légy lárváját tartják, amelyek felhasználásával jelentős mennyiségű halliszt helyettesíthető (*Henry és mtsai, 2018*). Megjegyzendő, hogy természetes környezetben a rovarok és rovarlárva számos ragadozó és minden- evő halfaj természetes táplálékai, így a halak emésztőrendszere azok hatékony hasznosításához kiválóan alkalmazkodott (*Henry és mtsai, 2015*), ebbe beleértve a kitin részleges lebontását is (*Rangaswamy, 2006*).

A rovarlisztek nyersfehérje-tartalma rendkívül eltérő (3. táblázat), mert azt befolyásolják a tartási és takarmányozási körülmények, valamint a rovarlárva fejlettsége is. A rovarlisztek nyersfehérje-tartalmának emészthetősége is függ az adott rovarfajtól, valamint a takarmányban lévő mennyiségtől, továbbá az etetett halfajtól is (*Nogales-Mérida és mtsai, 2019*). A hazai gazdasági jelentőséggel bíró halfajokra vonatkozóan azonban az irodalomban nem állnak rendelkezésre adatok.

3. táblázat

Egyes rovarlisztek nyersfehérje-tartalma

Rovarfaj (1)	Nyersfehérje-tartalom (2) (g/kg)
Közönséges lisztbogár (3)	83,0 - 598,1
Fekete katonalégy (4)	307,5 - 588,0
Házilégy (5)	286,3 - 704,0
Házi tücsök (6)	88,0 - 641,0

Forrás: *Nogales-Mérida és mtsai (2019)*

Table 3. The crude protein content of some insect meals

insect species (1); crude protein content (2); yellow mealworm (3); black soldier fly (4); housefly (5); house cricket (6)

A rovarlisztek esszenciális/nem-esszenciális aminosav aránya 0,78 és 1,12 között alakul, amely akkor lenne ideális, ha annak értéke 1,00 körül lenne. A közönséges lisztbogár esetében az arány értéke 0,77-0,91, a fekete katonalégnél 0,73-0,95, a házi légnél 0,98-1,90, míg a házi tücsöknél 0,79-0,84 (Nogales-Mérida és mtsai, 2019). A rovarlárvák fehérjéi ugyanakkor számos bioaktív peptidet tartalmaznak, amelyek egy része antimikrobiális tulajdonságokkal is rendelkezik (Yi és mtsai, 2014).

EGYÉB FEHÉRJEFORRÁSOK

Az elmúlt évtizedek egyik jelentős áttörése volt a gazdasági állatok takarmányozásában az ún. egy-sejt fehérje (baktérium fehérje) bevezetése. Ezek felhasználását a 767/2009/EK rendelet szabályozza (EU, 2009). Napjainkban erre a célra a *Methylococcus capsulatus*, *Alcaligenes acidovorans*, *Bacillus brevis* és *Bacillus firmus* fajokat használják, amelyek további előnye, hogy szénforrásként képesek a metánt, nitrogénforrásként pedig az ammóniát felhasználni (Aas és mtsai, 2006a). Gyakorlati tapasztalatok szerint a ragadozó halak, pl. szivárványos pisztráng (4. táblázat) számára lehet bizonyos mennyiségben alkalmazva kedvező hatású a takarmányértékesítés javítása révén (Aas és mtsai, 2006b). Alkalmazásával az állati/növényi fehérje 18-19%-a, mindenevő halaknál pedig 25-30%-a helyettesíthető (Aas és mtsai, 2006a).

4. táblázat

Egy-sejt fehérje (*Methylococcus capsulatus*) etetés hatása a takarmány-értékesítésre szivárványos pisztrángban

Egy-sejt fehérje a takarmányban (1) (%)	kg takarmány/kg súlygyarapodás (2)
0	1,24
20	1,23
50	1,26
100	1,29

Forrás: Aas és mtsai (2006b)

Table 4. Effect of single-cell protein (*Methylococcus capsulatus*) feeding on the feed conversion ratio in rainbow trout

single-cell protein in the feed (1); kg feed/kg weight gain (2)

Az élesztő nagy fehérje- (54%) és nukleotid- (6-20%) tartalmú takarmánykomponens, bár a fehérje aminosav-összetétele a legtöbb halfaj számára nem kielégítő. A halliszt akár 30%-ka is kiváltható élesztőfehérjével a termelési paraméterek csökkenése nélkül, ennél nagyobb mennyiség azonban már takarmány visszautasítást idéz elő (Ozório és mtsai, 2012). Az élesztő sejtfalának b-glükán-tartalma pedig halaknál is immunstimuláns hatású, így javítja a betegségekkel szembeni ellenálló képességet (Meena és mtsai, 2012). A haltakarmányozás gyakorlatában általában hidrolizált élesztőt alkalmaznak fehérjeforrásként.

ZSÍRFORRÁSOK A HALTAKARMÁNYOKBAN

A halak takarmányainak optimális zsírtartalmával, azaz az egyes halfajok zsír-szükségletével kapcsolatban csak kevés adat áll rendelkezésre. Általánosságban elfogadott, hogy a halak telítetlen, azon belül az n-3, zsírsavakkal szemben támasztott igénye nagy, bár az egyes halfajok között ebben a tekintetben jelentős különbségek vannak. A tengeri halak húsa például általában több n-3 zsírsavat tartalmaz (n-6/n-3 arány: 0,16), mint az édesvízi fajoké (n-6/n-3 arány: 0,37), ami természetesen azt jelenti, hogy a tengeri halak n-3 zsírsavakkal szemben támasztott igénye is nagyobb, mint az édesvízi halaké.

A haltakarmányok alapvető zsírforrása hosszú időn keresztül kizárólag a halolaj volt, amely amellet, hogy kiváló zsírforrás, hosszú szénláncú többszörösen telítetlen n-3 zsírsavakban is gazdag. A halolaj fő forrása elsősorban a kisméretű nyílt-tengeri hal volt, de ezek mennyisége a folyamatos és intenzív halászat következtében az elmúlt évtizedekben fokozatosan csökkent (*Froehlich és mtsai*, 2018). Emiatt a halolaj mennyisége vált a haltakarmány gyártás egyik fő limitáló tényezőjévé. A halolaj alternatívái lehetnek a növényi olajok, az állati zsírok, az algákból nyert olajok, a halfeldolgozás melléktermékei, valamint napjainkban a rovarlárvákból nyert zsír is (*Tocher*, 2015).

Az alternatív zsírforrások alkalmazása során a legnagyobb problémát a hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak, így az eikozapentaénsav (EPA; C20:5n-3), valamint a dokozahexaénsav (DHA; C22:6n-3) hiánya jelenti (*Tocher és mtsai*, 2019). Ezeket a zsírsavakat a halak részben a táplálékkal veszik fel, de számos halfaj képes azokat előanyagáiból is előállítani (*Tocher*, 2015). Emiatt az egyes halakból nyert olajok zsírsavösszetételében is jelentős különbségek vannak (5. táblázat). A növényi olajok viszont ezeket a többszörösen telítetlen zsírsavakat nem, nagyrészt csak azok előanyagát, az a-linolénsavat (C18:3n-3), tartalmazzák (5. táblázat). A növényi olajok közül repceolajból állítottak elő kémiai úton nagy EPA tartalmú zsírforrást kifejezetten haltakarmányozási célra (*Barber*, 2018). A tengeri mikroalgák ugyanakkor kiváló zsírsavforrások, mert nem csak n-3 zsírsavakban, de azok hosszú szénláncú formáiban is gazdagok (5. táblázat). Az egyes mikroalgák olajtartalmának zsírsavösszetétele azonban rendkívül eltérő, mert néhány faj, így például a Schizochytrium olajának DHA-tartalma az összes zsírsav 32,9%-a (*Ashford és mtsai*, 2000). Más fajok, így például a *Thraustochytrids*, az *Aurantiochytrids*, az *Oblongiochytrids* és az *Aplanochytrids* a DHA mellett jelentős mennyiségben termelnek eikozapentaénsavat (C20:5n-3) dokozapentaénsavat (C22: n-6 vagy C22:5n-3) vagy arachidonsavat (C20:4n-6) is (*Ratledge és Lippmeier*, 2017). A mikroalgákat többszörösen telítetlen zsírsavforrásként, más fajok mellett, például a pontytakarmányok előállításához is felhasználják (*Alltech Coppens*, 2018).

A rovarliszt nem csupán fehérje-, de zsírforrásként is alternatív forrás lehet a haltakarmányozásban, bár annak zsírtartalmát az adott rovarfaj, vagy annak lárvája, és a feldolgozás is jelentős mértékben befolyásolja (8-35%), attól függően, hogy milyen zsírkivonási módszert alkalmaztak (*Gasco és mtsai*, 2018). A zsírtartalom kivonása nélkül például a közönséges lisztbogár lárvája 32-34,5% (*Ghosh és mtsai*, 2017), a fekete katonalégy lárvája 11,3-40,7%, a házilégy lárvája 7,1-25,3%, a házitücsök lárvája pedig 7,9-24,0% zsírtartalommal rendelkezik (*Nogales-Mérida*

5. táblázat

Egyes növényi olajok, a mikroalga és a halolaj fontosabb zsírsavainak aránya az összes zsírsav százalékában

Olaj (1)	Olajsav (2) (C18:1 n-9)	Linolsav (3) (C18:2 n-6)	α -Linolénsav (4) (C18:3 n-3)	EPA (C20:5 n-3)	DHA (C22:6 n-3)
Kukorica (5)	24,2	59,0	0,7	-	-
Szója (6)	22,8	51,0	6,8	-	-
Repce (7)	56,1	20,3	9,3	-	-
Fehérvirágú csillagfürt (8)	53,3	22,0	8,7	-	-
Sárgavirágú csillagfürt (9)	22,2	51,2	10,1	-	-
Mikroalga (10)	2,1	16,0	13,0	24,3	2,4
Menhaden	15,0	1,3	1,0	17,3	8,8
Tőkehal máj (11)	14,2	2,9	4,8	18,1	14,8
Lazac (12)	24,7	2,1	1,3	10,4	9,4
Herring	20,0	2,5	0,5	8,0	7,0

Forrás: Canvin (1965); Bureau és mtsai (2002); Shen és mtsai (2016); Khalid és mtsai (2019)

Table 5. Some important fatty acids as a percent of total fatty acids in several plant oils, microalgae and fish oil

oil (1); oleic acid (2); linoleic acid (3); α -linolenic acid (4); corn (5); soya (6); rapeseed (7); white lupine (8); yellow lupine (9); microalgae (10); cod liver (11); salmon (12)

és mtsai, 2019). A rovarlárvák és az azokból készült rovarlisztek nyerszsírtartalma azonban még azonos faj esetében is eltérő a tartási és takarmányozási körülményektől függően (6. táblázat), továbbá azt befolyásolja a lárvák fejlettségi állapota is (Pearincott, 1960). A zsírtartalom mellett lényeges a zsírsavösszetétel is, amelyet a rovarlárvák takarmányozására felhasznált anyagok jelentősen befolyásolnak (Gyenis és mtsai, 2012). Leírták például, hogy a fekete katonalégy lárvá zsírtalmán belül szarvasmarha vagy sertésrágya takarmányon tartva nő a telített, de csökken a telítetlen, és különösen a többszörösen telítetlen zsírsavak aránya

6. táblázat

Egyes rovarlárvák zsírtartalmának zsírsav-összetétele (az összes zsírsav %-ban)

Zsírsav (1)	Fekete katonalégy (2)	Házilégy (3)	Lisztbogár (4)	Házitücsök (5)
Olajsav (C18:1 n-9) (6)	32,1	24,8	37,7	23,8
Linolsav (C18:2 n-6) (7)	4,5	19,8	27,4	38,0
α -Linolénsav (C18:3 n-3) (8)	0,2	2,0	1,2	1,2
EPA (C20:5 n-3)	0,03	-	-	-
DHA (C22:6 n-3)	0,006	-	-	-

Forrás: Makkar és mtsai (2014)

Table 6. Fatty acid composition of the fat of several insect larvae (percent of total fatty acids)

fatty acid (1); black soldier fly (2); housefly (3); yellow mealworm (4); house cricket (5); oleic acid (6); linoleic acid (7); α -linolenic acid (8)

(Makkar és mtsai, 2014). A rovarliszt zsírtartalma a haltakarmányozásban azért különösen fontos, mert viszonylag nagy arányban tartalmaz telítetlen zsírsavakat (Ravzanaadli és mtsai, 2012), bár a halak számára fontos többszörösen telítetlen zsírsavakat, például EPA-t vagy DHA-t csak egyes fajok, és azok is csak elenyésző mennyiségben (6. táblázat).

Az egyes rovarfajok lárváinak többszörösen telítetlen zsírsavtartalmán belül az n-3 zsírsavak mennyisége 0,2-2,2% között változik. A fekete katonalégy lárvájának n-3 zsírsavtartalma jelentősen megnövelhető, akár 6,2%-ra, amennyiben a lárvákat kizárólag tengeri algaliszttel takarmányozták (Sealey és mtsai, 2011). Az egyéb rovarlárvák n-3 zsírsavtartalma viszont a halliszthez, vagy a szójaolajhoz viszonyítva alacsony. Az n-6 zsírsavak mennyisége magasabb ugyan, mint a halolaj, de alacsonyabb, mint a szójaolaj értéke.

Az n-3/n-6 zsírsavak aránya a rovarlárvák zsírsavain belül általában alacsony, 0-0,5 között alakul (Paula és mtsai, 2017). Ennek az aránynak azért van jelentősége, mert abban az esetben, ha a halak takarmányában a halolajat teljes mértékben a rovarliszt zsírtartalmával váltják ki, akkor többszörösen telítetlen n-3 zsírsavhiány lép fel, amelynek hatására egyrészt romlanak a termelési eredmények, másrészt csökken a halak betegségekkel szembeni ellenálló képessége (Taşbozan és Gökçe, 2017).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aas, T. S. - Grisdale-Helland, B. - Terjesen, B. F. - Helland, S. J. (2006a): Improved growth and nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing bacterial protein meal. *Aquaculture*, 259. 365-376.
- Aas, T. S. - Hatlen, B. - Grisdale-Helland, B. - Terjesen, B. F. - Bakke-McKellep, A. M. - Helland, S. J. (2006b): Effects of diet containing a bacterial protein meal on growth and feed utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 261. 357-368.
- Acosta-Aragón, Y. - Rodríguez, I. - Pedrosa, K. (2010): Mycotoxin contamination in corn gluten meal. *Biomim World Mycotoxin Forum*, Salzburg (Abstract 69).
- Akiyama, D. M. (1988): Soybean meal utilization in fish feeds. Korean Feed Association Conference, Seoul, Korea.
- Allan, G. L. - Parkinson, S. - Booth, M. A. - Stone, D. A. J. - Rowland, S. J. - Frances, J. - Warner-Smith, R. (2000): Replacement of fishmeal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, 186. 293-310.
- Alltech Coppens (2018): Industrial fish feed. <https://www.alltechcoppens.com/en/industrial> (letöltve: 2020. június 12).
- Ashford, A. - Barclay, W. R. - Weaver, C. A. - Giddings, T. H. - Zeller, S. (2000): Electron microscopy may reveal structure of docosahexaenoic acid-rich oil within *Schizochytrium* sp., *Lipids*, 35. 1377-1386.
- Ayadi, F. Y. - Rosentrater, K. A. - Muthukumarappan, K. (2012): Alternative protein sources for aquaculture feeds. *J. Aquacult. Feed Sci. Nutr.*, 4. 1-26.

- Baeverfjord, G. - Krogdahl, A.* (1996): Development and regression of soybean meal-induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *J. Fish Dis.*, 19. 375-387.
- Barber, M. J.* (2018): Cargill launches Latitude™, a sustainable, plant-based alternative source of Omega-3 for fish feed applications. <https://www.cargill.com/2018/cargill-launches-latitude> (letöltve, 2020. június 12).
- Bureau, D. P. - Gibson, J. - El-Mowafi, A.* (2002): Review: Use of animal fats in aquaculture feeds. In: *Avances en Nutrición Acuícola V.*, Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M.G., Simoes, N. eds., *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, Cancún, Quintana Roo, México.
- Canvin, D. T.* (1965): The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils of several oilseed crops. *Can. J. Botany*, 43. 63-69.
- Dersjant-Li, Y.* (2002): The use of soy protein in aquafeeds. In: *Avances en Nutrición Acuícola VI.*, Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. eds., *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, Cancún, Quintana Roo, México.
- EFSA* (2008): Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on glucosinolates as undesirable substances in animal feed. *EFSA J.*, 590. 1-76.
- EU* (2001): Az Európai Parlament és a Tanács 999/2001/EK rendelete (2001. május 22) egyes fertőző agyvelőbántalma megelőzésére, az ellenük való védekezésre és a felszámolásukra vonatkozó szabályok megállapításáról.
- EU* (2009): Az Európai Parlament és a Tanács 767/2009/EK rendelete (2009. július 13.) a takarmányok forgalomba hozataláról és felhasználásáról, az 1831/2003/EK rendelet módosításáról, valamint a 79/373/EGK tanácsi irányelv, a 80/511/EGK bizottsági irányelv, a 82/471/EGK, 83/228/EGK, 93/74/EGK, 93/113/EK és 96/25/EK tanácsi irányelv és a 2004/217/EK bizottsági határozat hatályon kívül helyezéséről.
- EU* (2017): A Bizottság (EU) 2017/893 rendelete a 999/2001/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet I. és IV. mellékletének, valamint a 142/2011/EU bizottsági rendelet X., XIV. és XV. mellékletének a feldolgozott állati fehérjére vonatkozó rendelkezések tekintetében történő módosításáról.
- FAO* (2012): The state of world fisheries and aquaculture 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO* (2018): The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Francis, G. - Makkar, H. P. S. - Becker, K.* (2001): Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199. 197-227.
- Froehlich, H. E. - Jacobsen, N. S. - Essington, T. E. - Clavelle, T. - Halpern, B. S.* (2018): Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nat. Sustain.*, 1. 298–303.
- Gasco, L. - Gai, F. - Maricchiolo, G. - Genovese, L. - Ragonese, S. - Bottari, T. - Caruso, G.* (2018): Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. In: *Feeds for the Aquaculture Sector*, Springer, Berlin/Heidelberg, 1–28.
- Gatlin, D. M. - Barrows, F. T. - Brown, P. - Dabrowski, K. - Gaylord, T. G. - Hardy, R. W. - Herman, E. - Hu, G. - Krogdahl, Å. - Nelson, R. - Overturf, K. - Rust, M. - Sealey, W. - Skonberg, D. - Souza, E. J. - Stone, D. - Wilson, R. - Wurtele, E.* (2007): Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquacult. Res.*, 38. 551-579.
- Ghosh, S. - Lee, S. M. - Jung, C. - Meyer-Rochow, V.* (2017): Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 20. 686–694.
- Gyenis, J. - Szendrő, Zs. - Szendrő, K.* (2018): Rovarliszt a baromfitakarmányban. II. rész. *Baromfiágazat*, 18. 44-51.
- Häusling, M.* (2011): Az EU-ban tapasztalható fehérjehiányról: mi a megoldás erre a régóta fennálló problémára? Az Európai Parlament Mezőgazdasági és Vidékfejlesztési Bizottság jelentése

- az Európai Parlamentnek (2010/2111 (INI)). <https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2011-0026+0+DOC+XML+V0//HU> (letöltés 2020. 04. 24)
- Henry, M. – Gasco, L. – Piccolo, G. – Fountoulaki, E. (2015): Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 203. 1–22.
- Henry, M.A. - Gasco, L. - Chatzifotis, S. - Piccolo, G. (2018): Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Dev. Comp. Immunol.*, 81. 204–209.
- Hofstetter, U. (2009): Results of a survey on the occurrence of mycotoxins in DDGS. Poultry Science Association Annual Meeting, Raleigh, NC, (Abstract)
- Khalid, I. I. – Elhardallou, S. B. (2019): Physico-chemical properties and fatty acids composition of bitter and sweet lupine seed. *Orient. J. Chem.*, 35. 1148-1153.
- Krogdahl, A. - Bakke-McKellep, A. M. - Røed, K. H. - Bæverfjord, G. (2000): Feeding Atlantic salmon *Salmo salar* L. soybean products: effects on disease resistance (Furunculosis), and lysozyme and IgM levels in the intestinal mucosa. *Aquacult. Nutr.*, 6. 77-84.
- Makkar, H. P. S. - Tran, G. - Heuzé, V. - Ankers, P. (2014): Review: State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 197. 1-33.
- Meena, D. K. - Das, P. - Kumar, S. - Mandal, S. C. - Prusty, A. K. - Singh, S. K. - Akhtar, M. S. - Behera, B. K. - Kumar, K. - Pal, A. K. - Mukherjee, S. C. (2013): Beta-glucan: an ideal immunostimulant in aquaculture (a review). *Fish Physiol. Biochem.*, 39. 431-457.
- Nogales-Mérida, S. - Gobbi, P. - Józefiak, D. - Mazurkiewicz, J. - Dudek, K. - Rawski, M. - Kieronczyk, B. - Józefiak, A. (2019): Insect meals in fish nutrition. *Rev. Aquacult.*, 1. 1080–1103.
- NRC (1998): Nutrient requirements of swine. The National Academy Press, Washington DC.
- NRC (2011): Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC.
- Oliva-Teles, A. (2012): Nutrition and health of aquaculture fish. *J. Fish Dis.*, 35. 83–108.
- Omar, S. S. (2011): The potential of distillers dried grains and solubles (DDGS) for inclusion in aquafeeds. *Internat. AquaFeed*, May-June, 16-18.
- Ozório, R. O. A. - Portz, L. - Borghesi, R. - Cyrino, J. E. P. (2012): Effects of dietary yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation in practical diets of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, 2. 16-24.
- Paula, A. – Frederich, M.- Megido, R. C. – Alabi, T.- Malik, P.- Uyttenbroeck, R. - Francis, F. – Blecker, C. – Haubruge, E. – Lognay, G. - Danthine, S. (2017): Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 20. 337-340.
- Pearincott, J. V. (1960): Changes in the lipid content during growth and metamorphosis of the house fly *Musca domestica* Linnaeus. *J. Cell. Comp. Physiol.*, 55. 167–174.
- Raamsdonk, L. D. W. - Margry, R. J. - van Kaathoven, R. G. C. - Bremer, M. G. (2012): Animal proteins in aqua feed. RIKILT, Nederland
- Rangaswamy, C. P. (2006): Physiology of digestion in fish and shrimp. In: Training manual on shrimp and fish nutrition and feed management, Ed: Ali, S. A., Central Institute of Brackish Water Aquaculture, India, 2–9.
- Ratledge, C. - Lippmeier, C. (2017): Microbial production of fatty acids. In: Fatty acids: Chemistry, synthesis, and applications, Ed: Ahmad, M. U., AOCS Press., USA, 237-278.
- Ravzanaadii, N. - Kim, S. - Choi, W. H. - Hoi, W. H. - Hong, S. - Kim, N. J. (2012): Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor*, as food source. *Int. J. Industr. Entomol.*, 25. 93-98.
- Sealey, W. M. – Gaylord, T. G. – Barrows, F. T. – Tomberlin, J. K. – McGuire, M. A. – Ross, C. - St-Hilaire, S. (2011): Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *J. World Aquacult. Soc.*, 42. 34–45.
- Shen, P. I. - Wang, H. T. - Pan, Y. F. - Meng, Y. Y. - Wu, P. C. - Xue, S. (2016): Identification of characteristic fatty acids to quantify triacylglycerols in microalgae. *Front. Plant Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00162>

- Taşbozan, O. - Gökçe, M. A. (2017): Fatty acids in fish. In: Fatty acids, Catala, A. ed., InTech Open, Rijeka, 143-159.*
- Tocher, D. R. (2015): Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. Aquaculture, 449. 94–107.*
- Tocher, D. R. - Betancor, M. B. - Sprague, M. - Olsen, R. E. - Napier, J. A. (2019): Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand. Nutrients, 11. 89. <https://doi.org/10.3390/nu11010089>.*
- Urán, P. A. - Gonçalves, A. A. - Taverne-Thiel, J. J. - Schrama, J. W. - Verreth, J. A. J. - Rombout, J. H. (2008): Soybean meal induces intestinal inflammation in common carp (*Cyprinus carpio* L.). Fish Shellfish Immun., 25. 751-760.*
- Yi, H. Y. – Chowdhury, M. – Huang, Y. D. – Yu, X. Q. (2014): Insect antimicrobial peptides and their applications. Appl. Microbiol. Biotechnol., 98. 5807–5822.*
- VM rendelet 65/2012. (VII. 4.) a takarmányok előállításának, forgalomba hozatalának és felhasználásának egyes szabályairól.*
- Wilson, R. P. (2002): Amino acids and proteins. In: Fish Nutrition, Eds: Halver, J. E., Hardy, R.W. , Academic Press, San Diego, 144–175.*

Érkezett: 2020. július

Szerző címe: Mézés M.
Szent István Egyetem, Gödöllői Campus

Author's address: Szent István University, Gödöllő Campus
H-2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.
mezes.miklos@szie.hu

A MAGYAR HALSZAPORÍTÁS TECHNOLÓGIAI KUTATÁSOK SAROKKÖVEI ÉS EGY ÚJ INDUKÁLT SZAPORÍTÁSI MÓD BEMUTATÁSA

MÜLLER TAMÁS – KUCSKA BALÁZS – SZABÓ TAMÁS – HORVÁTH LÁSZLÓ – HORVÁTH
ÁKOS – ITTZÉS ISTVÁN – HAVASI MÁTÉ – URBÁNYI BÉLA

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők áttekintést adnak a magyar technológiai kutatások XIX. vége és XX sz. közötti időszakban elért nagyhatású eredményeiről. Kitérnek a gyakorlatban még el nem terjedt, kísérleti szintű kutatásokra is. A kézirat második felében egy új halszaporítási módszer kerül bemutatásra, melynek alapja, hogy a spermium sejtek biológiai aktivitásukat megtartva hosszabb ideig „tárolhatóak” petefészkekben indukált szaporítás (szaporodás) előtt valódi külső megtermékenyítésű halakban. A sperma petefészkek mosás/inszeminációval történő szaporítás fiziológiai, technológiai jellegzeteségeit foglaljuk össze, valamint vázoljuk, hogy milyen halszaporítási területen lehet a módszer előnyeit használni.

SUMMARY

Müller, T. – Kucska, B. – Szabó, T. – Horváth, L. – Horváth, Á. – Ittész, I. – Havasi, M. – Urbányi, B.: MILESTONES OF HUNGARIAN FISH REPRODUCTION TECHNOLOGY RESEARCH AND INTRODUCTION OF A NEW INDUCED REPRODUCTION METHOD

In their literature review, the authors provide an overview of milestones of Hungarian fish reproduction technology research between XIX and XX centuries. The description also covers the researches at experimental level, which have not yet applied in practice. In the second half of the manuscript, a new method of fish reproduction is presented. The base of this method is that biological activity of spermatozoa can be maintained among ovarian condition of external fertilized fish species for longer time under induced reproduction (or spawning). The physiological and technological characteristics of sperm ovarian lavage / insemination propagation has been summarized, focusing on that fish breeding field and its the advantages of the method.

BEVEZETÉS

A XXI. századi társadalmi igények között kiemelt szerep jut a Föld folyamatosan növekvő lakosság megfelelő élelmiszer-ellátásának. Ebben a témakörben a vizek megújuló természeti erőforrása, a halállományok hasznosítása fontos szerepet játszik. Az elmúlt évtizedekben a tengerek és óceánok túlhalászata aggasztó mértéket ért el, ezért a növekvő igények kielégítésében a vízi szervezetek tenyésztése, az akvakultúra egyre nagyobb szerephez jut. Vannak régiók, ahol az akvakultúra-termelés szinte kizárólag a csontoshalak tenyésztésére korlátozódik. A tervezhető haltenyésztés egyik alapkritériuma a biztonságos állománypótlás (Müller és mtsai, 2020), melynek alapja a halfajokra kidolgozott biztonságos szaporítási technológia. Ebben a munkában a magyar kutatók és gyakorlati szakemberek jelentős, nemzetközileg is elismert szerepet játszottak/játszanak.

Dolgozatunk első részében igyekszünk összefoglalni a halszaporítási kutatásokban elért azon eredményeket, amelyek részben vagy egészben beépültek a tógazdasági halszaporítási gyakorlatba és nemzetközileg is jelentős előrelépésnek minősülnek. Említést teszünk olyan kísérleti munkákról is, amelyek alapjául szolgáltak több jelenleg is folyó kutatási iránynak. Hangsúlyosabban a XIX. vége és XX. században elért eredmények kerülnek vázlatos bemutatásra.

Dolgozatunk második felében pedig bemutatásra kerül egy olyan új halszaporítás technológiai fejlesztés, amely az utóbbi években született és kimondottan a hazai kutatóintézetek és kutatócsoportok együttes munkájának a gyümölcse.

I. A MAGYAR HALSZAPORÍTÁSSAL KAPCSOLATOS KUTATÁSI EREDMÉNYEK MÉRFÖLDKÖVEI

A XIX. század végéig a haltenyésztés tudományok fejlődését a kezdetekben a külföldi módszerek honosítása jellemezte. Ezeket a módszereket "bebiztosító" céllal alkalmazták, mert nem volt elég szakember (Tasnády, 1997). A korszak egyik kiemelkedő magyar (magyar származású) szakembere Dubisch (Dubics) Tamás volt, aki kifejlesztette a ponty (*Cyprinus carpio*) tenyésztési technikáját speciális ívótavakban, mely azóta is a nevét őrzi (Dubics-ívatótavak).

A süllő (*Sander lucioperca*) ikrát korábban a Schwarzenberger-féle wittingaui telepről szereztek be és hoztak hazánkba, majd Magyarországon is megjelentek süllő ikrázattal és ikragyűjtéssel foglalkozó telepek (Ó-Verbász, Simontornya, Siófok, Iharos; Landgraf, 1899, 1901; Répássy, 1900) mely ikratermelése (50-120 millió ikra) meghaladta a hazai igényeket és már importra nyílt lehetőség. Purgli-Langráf kifejlesztettek egy új típusú süllőfészket, ami kimondottan természetesvízi süllőikra gyűjtést tette lehetővé a Balatonon (Landgraf, 1904), ami a balatoni süllőállomány megerősítésén túl egyéb természetesvízi telepítésekhez és tógazdasági süllőtermeléshez nyújtott alapot. Magyarországon a süllő ívási időben kifogott halak fejési és megtermékenyítési tapasztalatokról Woynarovich (1948) számolt be, ekkor a megtermékenyített ikratételeket még fészkekre terítették. Entz és Woynarovich (1948), Woynarovich és Entz (1950) Balatonból gyűjtött süllőfészkek inkubálására kidolgozták a permetkamrás - vízen kívüli - keltető rendszert. Ugyanerre az eszközre dolgozta ki Woynarovich (1954) a ponty mesterséges fészken történő szaporítását is, magába foglalva; a megtermékenyítésre érett

ivartermékek gyűjtési -, a termékenyítés és fészekrevitel -, valamint a pontyikra vízén kívüli (permetben történő) érlelési technikáját.

A természetes ívási időhöz kapcsolható halszaporítási kutatások nagymértékben függtek a mindenkori időjárástól. A biztonságot az épületekbe (keltetőházak) történő bevitel és az időzített szaporítás jelentette. A halszaporodás hormonális szabályozásának megismerése a kutatási- fejlesztési munkák fontos mérföldkővét jelentette. Az ismeretek gyakorlati alkalmazását elsőként *Von Ihering* (1937) brazil kutató kezdeményezte, hal hipofízis kivonattal eredményesen kezelt szaporodásra érett díszhalakat. A hipofizálásnak elnevezett hormonális szaporodás- idukciót üzemi körülmények között először Gerbilszkij és munkatársai alkalmazták tokfélék szaporítására (*Horváth és Urbányi*, 2000). Hazánkban az első sikeres kecsége szaporítás kecsége hipofízissel történt (*Jaczó*, 1953), majd az idézett szerző pontyhipofízis alkalmazásával sikerrel szaporított ponty ikrásokat is (*Jaczó*, 1954a,b; 1955) „*ami talán első volt az egész világon*” (cit. *Tasnádi*, 1997). A hipofizálás hatására bekövetkező hormonálisan ovuláció kiváltása a ponty fajnál a biztonságos ivadék-előállítás szempontjából önmagában még nem elégséges a szaporítás új alapokra helyezéséhez, hiszen ennél a rendkívül ragadós ikrával rendelkező halfajnál a legfontosabb kérdés az volt, hogyan lehet az ikrát az összecsomósodás veszélye nélkül a leghatékonyabb ikraérlelésre alkalmas vertikális ika inkubátorban, a Zuger-üvegben érlelni?

A külföldön szerzett tapasztalatok alapján a hazánkban először 1947-ben gyártottak csukaikra (*Esox lucius*) érleléséhez alkalmas Zuger-üvegeket (*Wovnarovich*, 1963, *Horváth és Urbányi*, 2000). *Wovnarovich* (1960, 1961, 1962) dolgozta ki először a keszeg, majd a pontyikra ragadóságának elvételét és Zuger üveges keltetését (sós - karbamidos kezelés), amit később kiegészített egy tannin oldatos kezeléssel (*Wovnarovich*, 1963; 1965). Ezt a komplex módszert pontyira a mai napig általánosan használják világszerte, és mint magyar módszer vonult be a szakmai köztudatba. Kádár Mihály dinnyési halászmester újítása volt az ikrás pontyok ivarnyílásának bevarrása, mellyel a korábbi, átlagosan kifejt 4-6 dl száraz ikramennyiség 1,5-2 literre emelkedett (*Antalfi és Tölg*, 1966).

A távolkeletről betelepített növényevő halak európai szaporítása során *Aliev* (1961) alkalmazta először az előadag-döntőadag megosztást. Magyar kutatók közül először *Antalfi* (1969), *Antalfi és Tölg* (1967, 1971) alkalmazták szintén növényevő halfajok (amur- *Ctenopharyngodon idella*, busa fajok – *Hypophthalmichthys spp.*) szaporításánál.

A szaporítási – és ivadéknevelési módszerek megszületésével párhuzamosan részüzemű, szakosodott gazdaságok létesültek (dinnyési Ivadéknevelő Tógazdaság – alapította Antalfi Antal – a százhalombattai Temperáltvízű Halszaporító Gazdaság – alapította Tölg István), illetve a teljes üzemű gazdaságok is nagy kapacitású halkeltetőket építettek saját ivadékigényeik kielégítésére (*Horváth és Urbányi* 2000). Temperált Halszaporító Gazdaság (TEHAG) Százhalombattán alkalmas létesítmény volt az összes tógazdasági haszonhal szaporítására (*Tasnády*, 1979).

A harcsa (*Silurus glanis* L.) szaporítását magyar tógazdaságokban kezdték el és fejlesztették eredményes üzemi módszerré (*Maucha*, 1948), a harcsa tógazdasági tenyésztését a külföldi szakirodalom magyar sajátosságként említette (*Antalfi*, 1958; *Szalay*, 1963). A harcsát kis földmedencékben párosán ívatták és fészekre rakott

ikráját az anyától elkülönítve fakadokban, kis és nagy méretű keltető ládákban, ill. külön konstruált betonmedencékben keltették gyengén áramló vízben. A harcsa hagyományos, fészekre ívatásos szaporítási módszerével nem lehetett gazdaságosan, rövid időszak alatt olyan mennyiségű ivadékot előállítani, amely megfelelné egy speciális szaporító-ivadéknevelő gazdaság igényeinek. Ezért a harcsa szaporítását is intenzívvé kellett fejleszteni, hasonló szempontok szerint, mint más keltetőházban szaporított halfajoknál. A szaporítási módszer továbbfejlesztése során Horváth és H. Tamás (1976), Horváth (1977) kidolgozták az anyahalak keltetőházi tömeges tartását a szájnylás bevarrásával a marakodásból származó sérülések elkerülésére. Alkalmazták a korábban mások által leírt hipofízálás módszerét, megoldva annak káros következményét, mint az oltás helyének elfekélyesedése.

A szintetikus GnRH készítményekkel való halszaporítási munkák 1985 körül indultak meg (Woynarovich, 1989). Hazánkban először Horváth és mtsai (1986) sikeresen szaporítottak kecsagét LH-RH hormon analóggal. Ezt követően egy hosszú kutatómunkát követően több szintetikus hormonhatású vegyületekből álló készítményt fejlesztettek ki Ovopel néven, amely GnRH analóg, dopamin receptor antagonistá vegyület és a kiserelést megkönnyítő különböző összetételű vívíóanyag mixet tartalmaz, melyeknek tesztelését sokszoros ismétlésben, termelési körülmények között és félüzemi méretben is elvégezték a forgalomba hozatal előtt (pl. Horváth és H. Tamás, 1995; Horváth és Szabó, 1996; Horváth és mtsai, 1997). Ez a készítmény ma Európában egyike a kisszámú, engedélyezett halszaporítási készítményeknek.

A csuka első félmesterséges szaporításának alapja a természetesvízi csukaállomány képezi, az ivarterméket ivóhelyen gyűjtik ivásban lévő szülőhalaktól (Veszprémi, 1955) és keltették Zuger üvegekben. Antalfi és Tölg (1964), Antalfi (1969) már hormonálisan indukált szaporítási eredményeket közöltek. Horváth és Lévai (1980) leírták a csuka szaporítás keltetőházi technológiáját, melyet Szabó (1999) fejlesztett tovább, kimondottan a csuka szaporodás-élettani sajátosságait figyelembe vevő retard hatású vívíóanyagú hormonkezeléssel (implantátum kezelés).

A legértékesebb hazai ragadozó halfaj, a süllő mesterségesen nehezen szaporítható halfaj. A hormonálisan indukált szaporítás és az *in vitro* fertilizáció bevezetése a fajban kísérleti szinten Lévai (1979), üzemi méretben először Horváth és mtsai (2005) nevéhez fűződik. A módszert többen az elmúlt 15 évben továbbfejlesztették és fejlesztik napjainkban is.

Halbiotechnológia kutatásokban a magyar szakemberek az 1970-1990-es években élen jártak, több nemzetközileg is jelentős eredményt értek el. A hetvenes évek közepén az ELTE és TEHAG kezdeményezésére olyan ponty fajtajavítási program indult, amely a gynogenezis módszerében jelentős előrelépéssel zárult. Ez a program nagy nemzetközi tudományos elismerést aratott (Nagy és mtsai, 1978, Bercsényi, 1997). Fajok közötti androgenezist a világon elsőként először magyar kutatóknak sikerült létrehozniuk (Bercsényi és mtsai, 1995, 1998).

A magyar halszaporítással foglalkozó elméleti-, kísérleti- és üzemi kutatási és gyakorlati eredmények elősegítették több gazdaságilag jelentős halfaj, közöttük a ponty teljes vertikumú keltetőházi szaporítási protokolljainak összeállítását (Horváth és mtsai, 1984), melyek közérthető formában, színes ábrákkal több nyelven a FAO gondozásában jelentek meg (Woynarovich és Horváth, 1980; Horváth és mtsai, 1985a,b; 2015) segítve az édesvízi akvakultúra fejlődését a fejlődő világban.

II. ÚJ HALSZAPORÍTÁSI MÓDSZER (SPERMA PETEFÉSZEK MOSÁS / INSZEMINÁCIÓ)

Élettani és technológiai háttér, módszer leírás

Jelen ismereteink szerint a csontos halak (Osteichthyes) döntő többsége külső megtermékenyítésű. Ezeknek a fajoknak a spermiumai a herecsatornáknak, valamint az ondóvezetőben inaktív állapotban találhatóak. Az édesvízi halfajok nagy többségénél a spermasejtek aktivációját a környező folyadék ozmolalitásának csökkenése váltja ki.

Korábbi megfigyelések szerint a ponty fajban (*Cyprinus carpio*) az izoozmotikus ovariális folyadék önmagában nem, vízzel hígítva azonban a spermiumokat nem csak aktiválta, hanem a motilitásukat hosszú ideig igen magas értéken tudta tartani (Horváth és mtsai, 2010). Ez alapján elgondolásunk az volt, hogy a szemínális folyadékban mozdulatlan spermiumsejtek a petefészek ozmocomform környezetében sem fognak aktiválódni, így hosszabb ideig képesek biológiai aktivitásukat megtartva életben maradni. Ovulációkor a folliculáris tokból kiszabaduló oociták felszínére feltapadnak a (még inaktív) spermiumsejtek, majd együtt ürülnek a genitális nyíláson keresztül a külvilágba. Vízzel érintkezve ezek a spermiumok aktiválódnak és képesek megtermékenyíteni a szintén aktiválódott petesejteket.

A fenti elgondolás alapján kidolgozott petefészek inszemináció módszere egyszerű; a programozott ívásra felkészített és bódított ikrások petefészek lebenyébe fecskendően rögzített szonda vagy katéter segítségével juttatjuk az előzőleg gyűjtött és minőségellenőrzésen átesett, egy-vagy több hímtől származó, kevert sperma adagot/adagokat. A katéter könnyen irányítható, lehetőség van a petevezetékeken keresztül célzottan a jobb vagy a bal petefészek lebenyét kezelni. Kisméretű halakban (pl. zebradánió: testméret 2-2,5 cm) a sperma befecskendezést automata pipettával vagy kapillárisal is meg lehet oldani.

Sperma életképességének/termékenyítőképességének megőrzése a petefészekben az idő és a spermamennyiség függvényében

Afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) fajban végzett kísérletek alapján 5-36 órával az ovuláció előtt a petefészekbe jutatott spermiumok még megtartják termékenyítőképességüket. 48 óra elteltével a termékenyülési és kelési értékek már nagymértékben visszaesnek (Müller és mtsai, 2020). Farkassüngerben (*Dicentrarchus labrax*) a petefészek lebenyekből visszanyert sperma életképessége hasonlóan 40 óra körüli, ezt követően jelentős mértékben lecsökken, illetve megszűnik a spermasejtek vízaktivációt követő mozgóképessége (Bodur és mtsai, 2019). Érdekes, hogy a két faj környezeti igényeiben meglévő jelentős különbségek (Siluriformes - Perciformes, édesvíz - tengervíz, 25-27 °C - 16 °C) ellenére is hasonló eredmények tapasztalhatók. Pontyban és egy dél-amerikai harcsafajban (*Rhamdia quelen*) a keltetőházi gyakorlatnak megfelelő döntő hormonkezeléssel egy időben (10-12 órával az ovulációt megelőzően) feljuttatott spermiumok sikeresen termékenyítették az ikratételeket (Müller és mtsai, 2018 a, Ittzés és mtsai, 2020).

Az első kísérletsorozatok alkalmával halfajtól függetlenül 2 ml sperma/testtö-

meg kg mennyiséggel végeztük a szaporítási munkákat, amelyet kezdetben egy- (Müller és mtsai, 2018a), majd két petefészeklebenybe egyenletesen osztottunk el (Müller és mtsai, 2018b, 2019, 2020). A szakirodalomban fellelhető spermium:ikra arányok alapján azonban ez jelentős "sperma pazarlás" volt. Afrikai harcában vizsgáltuk petefészekbe fecskendezett, különböző mennyiségű spermaadagok hatását a termékenyítésre. A tesztek alapján nem volt különbség az elért termékenyítési- és kelési eredményekben a petefészek lebenybe jutatott 2 ml, 1 ml és 0,5 ml sperma/testtömeg kg kezelések között. A keltetőházi, *in vitro* termékenyítési gyakorlat szerint a kívánt sperma:víz:ikratömeg arány; 1:10:100. 0,5 ml sperma/testtömeg kg kezelés esetén 10% lefejt ikratömeg/testtömeg kg számolva ez az arány 1:10:200, ami a termékenyülés valószínűségének szempontjából kedvezőbb arány, mint az üzemi javaslat.

Sperma szemínális plazma, mint hormonvivő anyag

Watson és mtsai (2009), valamint Németh és mtsai (2012) kísérleteiben a petefészekbe juttatott hormonhatású anyagok (hCG oldat és pontyhipofízis szuszpenzió) ovulációt eredményeztek, tehát a fiziológiás NaCl oldat, mint hormon vivőanyag felszívódott a petefészekfalán keresztül és a hormonokat a szisztémás keringésbe juttatta. Felmerül annak a lehetősége, hogy a sperma szemínális folyadék hasonló módon viselkedhet, hatékony hormon vivőanyag lehet. Afrikai harcra és *Rh. quelen* fajokban porított ponty hipofízist elkevertünk frissen fejt spermával és ezt a mixet injektáltuk az ikrások petefészek lebenyeibe. Mindkét fajban a szemínális plazma felszívódásával a GtH hormon is átjutott a petefészek szisztémás keringésébe és indukálta az oociták végső beérését 10-11 óra alatt. Ezalatt a spermiumsejtek sem károsodtak és vízaktivációt követően termékenyíteni tudták az ovulált ikraszemeket nagy hatékonysággal (termékenyülési arány: 41-94%, Müller és mtsai, 2018b, Ittész és mtsai, 2020). Ezzel a módszerrel a hormonkezelést és a sperma bejuttatást egy időben, egy kezeléssel meg lehet oldani.

Sikerés utódlétrehozás ívás vagy ívatásos módszer alkalmazása során, hím jelenléte nélkül

Hormonindukált szaporítási eljárás esetében ponty és afrikai harcra fajokban megfigyeltük, hogy szaporítás előtt az ikrások petefészek lebenyébe feljutott sperma termékenyítette a spontán elszórt ikratételeket (Müller és mtsai, 2018a,b). Zebradánió (*Danio rerio*) fajban hormonkezelés nélkül, csak sperma injektálást követő fényprogram alkalmazásával sikerült spontán ikraszórára bírni az ikrásokat (parciális ovuláció következett be, hagyományos ívatáshoz képest 60-75%-al kevesebb ikra ovulált) tejesek jelenléte nélkül. Az ikrákból sikerrel lehetett lárvákat keltetni. A kísérleti eredményeink egy alapvető halszaporítási tétel átgondolását teszik szükségessé, nevezetesen, hogy a valódi külső megtermékenyítésű halfajok esetében indukált ívaskor/ívatáskor mindkét nem jelenlétére szükség van utódok létrehozására. Kísérleteinkben az ikrások petefészkebe injektált és ott tárolt sperma feltétlenül szükséges, de egyidejűleg ívó tejes jelenléte már nem feltétel a sikeres utódlétrehozáshoz, amennyiben (akár részleges, vagy teljes) ovulációra lehet bírni az ikrásokat (Gazsi és mtsai, 2019a).

Az utódok genetikai sokszínűségének növelésének lehetősége

Feltételeztük, hogy a párban és csoportosan ívó halak utódainak a genetikai bázisát is jelentősen kiszélesíthetjük, ha a termékenyítésben több tejestől származó spermium vesz részt; a petefészkekbe feljuttatott „idegen” sperma, valamint az ívásban résztvevő tejesből származó sperma együttesen járul hozzá az utódgeneráció kialakításához. Vizsgálatunk célja volt megállapítani, hogy a petefészkek lebenybe feljuttatott sperma milyen termékenyülési/kelési arányban vesz részt ívatásos módszer esetén az ívásban résztvevő tejes(ek) spermájával szemben. Zebradánió modell halfaj két változatával dolgoztunk; egy vad (AB), és egy transzgenikus vonallal (Tg shha:GFP), melyek utódai mikroszkóp segítségével jól elkülöníthetők egymástól. A programozott (fényritmussal szabályozott) ívás előtt transzgenikus tejesekből származó spermaadagokat juttattunk fel automata pipetta és üveg kapilláris segítségével az előzőleg bódított vad ikrások petefészkeibe. A sikeresen ívó pároknál az utódellemenőrzés eredménye alapján a transzgenikus spermából származó lárvák aránya ikrásonként 0 - 81,3% között mozgott, az átlag: 36,1% volt. Kísérleteink alapján a genetikai változatosság valóban növelhető sperma feljuttatással (indukált) ívatásos szaporítás esetében. A módszert optimalizálni szükséges (irányított spermafeljuttatás csak az egyik petefészkek lebenybe, sperma:ikra arány beállítása, stb., *Gazsi és mtsai*, 2019b).

Mélyhűtött sperma felhasználása sperma injektálásos módszer esetén (mélyhűtött sperma felhasználása indukált ívatás esetén)

A spermamélyhűtés, több, mint 70 éves múltra tekint vissza (*Polge és mtsai*, 1949). Gyakorlati felhasználását korlátozza, hogy jelenleg a jellegéből adódóan valódi külső megtermékenyítésű halfajok esetében csak *in vitro* termékenyítési módszerrel lehet sikeresen használni. Ez a sajátosság az ivarsejtek mélyhűtésének fiziológiai jellegéből adódik. A spermiumok mélyhűtése során el kell kerülni az intracelluláris kristályképződést, amit fagyásvédő adalékokkal akadályoznak meg. A leggyakrabban alkalmazott védőanyagok, mint például a metanol, DMSO, szobahőmérsékleten toxikusak (elősegítik a celluláris dehidratációt, destabilizálják a membránokat és fehérjéket), így a spermát felolvasztást követően rövid időn belül fel kell használni, valamint termékenyítést követően lehetőleg el kell távolítani a fölösleget (kihígítás). Amennyiben a felolvasztott spermamintákból (sperma, hígító és védőanyag elegye) ki lehetne vonni a toxikus védőanyagot, úgy lehetőségünk nyílna ívatásos módszer esetében is alkalmazni a módszert, megtartva a spermamélyhűtés előnyeit (génmegőrzés, nagy genetikai értékű hímek irányított keresztezése stb.). Kísérletünkben afrikai harcsa spermát fagyasztottunk le egy már korábban leírt protokoll alapján (*Kovács és mtsai*, 2010). Felolvasztás után a műszalmából származó mintákat Eppendorf-csövekbe gyűjtöttük és centrifugáltuk. A szemínális plazmában lévő hígítót és metanol védőanyagot eltávolítottuk a kicentrifugált sejtpogácsa (centrifugálás után az Eppendorf alján összegyűlt spermiumtömeg) felszínéről. A spermiumokat nem hagytuk kiszáradni, hanem natív pontyspermából származó szemínális folyadékkal töltöttük fel. Az így nyert

elegyet (afrikai harcsa sperma + ponty szemínális folyadék) injektáltuk be afrikai harcsa ikrásokba hormonkezelésükkel egyidejűleg (intramuszkuláris kezelés – ponty hipofízis kivonat). Tízórás beérési időt követően az ikrásokat lefejtük és termékenyítési tesztek végeztünk. A spermajektált halak mindegyikében sikerült termékenyülést kimutatni, azonban a kelési százalék (18%) elmarad a kezeletlen kontroll csoport értékeitől (61%). Ez a modellkísérlet szolgálhat alapul ahhoz, hogy ívatásos módszer esetén is lehessen alkalmazni mélyhűtött spermát (Müller és mtsai, 2019).

Az új halszaporítási módszer alkalmazásának lehetőségei

Az új módszer előnyeit elsősorban a faj és fajtamentés, hibridképzés, tudományos kutatás céljára végzett szaporítások, valamint az ívásos/ívatásos módszer esetében látjuk. Hazánkban az ilyen jellegű szaporítások jelentősége kisebb, azonban az édesvízi akvakultúra öszttermelésben az ázsiai pontyfélék termelése igen jelentős, az amur, pettyes busa, fehér busa (és hibridjeik) és a ponty együttes termelése 17,8 millió tonna, melyből csak Kína részesedése 80% (Cao és mtsai, 2015). Kínában és más ázsiai országokban még mindig a tradicionális ívatásos módszerrel szaporítanak a legnagyobb mennyiségben. Ez azt jelenti, hogy ívató tavakban, medencékben, ketrecekben, úgynevezett hapákban, és köralakú betonmedencékben hormonálisan indukcióval, de természetes úton hagyják szaporodni a halakat (Horváth és mtsai, 2015). A tengeri halak szaporításában szintén elterjedt módszer (pl. farkassügér, aranydurbincs, stb.). Szaporításuk ívatáson alapul, ahol az anyahalak felkészítését kizárólag környezeti tényezők befolyásolásával (vízhőmérséklet, fényprogram mesterséges szabályozása) végzik. Az ívás vagy spontán módon következik be, vagy hormonkezeléssel segítik elő. A lebegő, termékenyített ikraszemek begyűjtését az ívató medence elfolyó vizére telepített különböző ikrafogó berendezésekkel oldják meg. Mivel az ívató medencében az ikrások több tejjel is összeívhatnak így irányított keresztezés (szűkebb értelemben vett tenyésztés) ezidáig korlátozott mértékben valósulhatott meg. Az általunk kifejlesztett módszerrel azonban ezekben az esetekben az ivararány megfordításával (2 ikrás és egy tejes), egységnyi területről több termékeny ikrá gyűjthető, irányított keresztezések hajthatók végre ívató medencékben, a tömeges halszaporítást a tervszerű tenyésztés alapjai válthatják fel. Nagy genetikai értékű tejesek spermájával több ikrás ikratételét is lehet termékenyíteni egy időben. Párban ívó halaknál a genetikai sokszínűséget is növelni lehet ezzel a módszerrel (ívás vagy ívatás előtt 5-10 tejesből származó spermaminta feljuttatása), amit gazdaságilag jelentős halfajoknál (pl. harcsa, süllő) vagy természetvédelmileg jelentős halfajoknál (pl. lápi póc) is alkalmazni lehet. Megoldható a sperma manipulálása (például mélyhűtött sperma alkalmazása) indukált ívatásos módszernél. Az új módszer keltetőházi szaporítási technológiába is beilleszthető, egységnyi területről nagyobb mennyiségű termékenyült ikramennyiséget lehet egyidejűleg előállítani, hiszen spermajektálás esetén nincs szükség tejesek tartására kádakat fenntartani. Bízunk abban, hogy a gyakorlatba hamarosan átültethetővé válik ez az újszerű szaporítási módszer és széles körben használhatóvá válik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munkát az Európai Halászati Alap, Halászati Operatív Program III. tengelye („Európai Halászati Alap: a megújuló halászatért” - az Európai Unió és Magyarország támogatásával), a MAHOP-2.1.1-2016-2017-00002 (RESEARCHFISH), valamint a HOP 3 COLL 1 (ref. szám: 1699279607 és ref. szám: 1699329032) támogatásával végeztük. Továbbá köszönjük az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008, a GINOP 2.3.2-15-2016-00025 („GOODFISH”) projektek támogatását, amit az Európai Regionális és Fejlesztési Alap, valamint Magyarország Kormánya nyújtott.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aliev, D.C. (1961): Experiments of breeding from Far Eastern vegetarian fish in the conditions of Turkmenia (in Russian), *Voprosi Ichtiologii*. Abstract from *Voprosi Ichtiologii* Vol I.
- Antalfi, A. (1958): Hogyan tenyészünk harcsát? *Halászat*, 5. 95.
- Antalfi, A. (1960): Előneveljük a harcsaivadékok! *Halászat*, 7. 10-11.
- Antalfi, A. (1969): Növényevő anyahalak. *Halászat*, 15/62. 186-187.
- Antalfi, A. (1969): Gondolatok a csuka- és pontyszaporításról. *Halászat*, 15/62. 189.
- Antalfi, A. – Tölg, I. (1964): Csuka a tógazdaságban. *Halászat*, 10/57. 12.
- Antalfi, A. – Tölg, I. (1966): Pontyszaporítás 1966-ban. *Halászat*, 12/59. 112-113.
- Antalfi, A. – Tölg, I. (1967): A növényevő halak első hazai szaporítása. *Halászat*, 13/60. 116.
- Bercsényi, M. (1997): A tulajdonságok öröklődése 53-59. In Szalay, F. *Halgazdálkodás II. Magyar országos Horgász Szövetség, Budapest*, 553.
- Bercsényi, M. - Magyar, I. - Urbányi B. - Orbán. L. - Horváth, L. (1998): Hatching out goldfish from common carp eggs: interspecific androgenesis between two cyprinid species. *Genome*, 41. 573–579.
- Bercsényi, M. - Amirinia, C. - Yousefian, M. - Urbányi, B. (1995): Módszer kihalófélben lévő halfajok restaurálására spermamélyhűtés és androgenézis alkalmazásával. *Halászatfejlesztés*, 18. 6-15.
- Bodur, T. - Szabó, T. - Sevgili, T. - Aydın, I. - Kurtoğlu, A. - İnanan, B. E. - Kanyılmaz, M. - Kocakaya, S. - Gökçek, K. - Urbányi, B. - Müller, T. (2019): Tengeri süllő (*Dicentrarchus labrax*) szaporítási kísérletek Törökországban. XLIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, május 29. abstract book pp: 56-57.
- Cao, L. - Naylor, R. - Henriksson, P. - Leadbitter, D. - Metian, M. - Troell, M. - Zhang, W. (2015): China's aquaculture and the world's wild fisheries, *Science*, 347. 133-135.
- Entz, B. - Woynarovich, E. (1948): Zanderzucht. Experimentelle Beiträge zur Biologie der Jungzander (*Lucioperca sandra* Cuv. und Val.). *Arch. Biol. Hung.*, 2. 34–51.
- Gazsi, Gy. - Berta, I. R. - Ivánovics, B. - Ruffili, L. - Szabó, T. - Urbányi, B. - Horváth, L. - Müller, T. (2019a): Külső megtermékenyítésű zebradánió (*Danio rerio*) ivatása tejes jelenléte nélkül. XLIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2019. május 29. abstract book 92-93.
- Gazsi, Gy. - Ivánovics, B. - Berta, I. R. - Szabó, T. - Zarski, D. - Urbányi, B. - Horváth, L. - Kucska, B. - Müller, F. - Müller, T. (2019b): A novel fish induced spawning method for ex situ and in situ conservation of valuable population by using sperm injection into ovary. LXI. 61th Georgikon Napok International Scientific Conference, Keszthely, 3.-4. October, 2019. abstract book 35.
- H. Tamás, G. - Csorbai, B. - Kovács, É. - Németh, I. - Horváth, L. (2006): A süllő (*Sander lucioperca*) szaporítási technológiájának továbbfejlesztése. *Halászat*, 99. 157-169.
- Horváth, L. - Csorbai, B. - Szabó, K. - H. Tamás, G. (2005): Újabb tapasztalatok az indukált süllőszaporítás terén. *Halászatfejlesztés*, 30. 41-53.
- Horváth, Á. - Páramo, S. M. - Kovács, Á. I. - Urbányi, B. - Paz, H. (2010): A ponty (*Cyprinus carpio* Linnaeus) ovariális folyadékának hatása a friss és mélyhűtött pontysperma motilitására. *Állattani Közlemények*, 95. 25–33.

- Horváth, L. - H. Tamás, G. (1976): A harcsa (*Silurus vulgaris* L.) szaporítás és az ivadékélfőnevelés módszerének továbbfejlesztése. Halászat, 22/69. Tudományos melléklet, 11-13.
- Horváth, L. - Peteri, A. - Kouril, J. (1986): Successful sterlet, *Acipenser ruthenus* L., propagation with synthetic LH-RH hormone. Aquacult. Fish. Manage., 17. 113-116.
- Horváth, L. - Szabó, T. (1996): GnRH hatóanyagú készítménnyel (ovopel) végzett kísérletek eredményei 1995-ben. Halászat, 89. 11-14.
- Horváth, L. - Szabó, T. - Burke, J. (1997): Hatchery testing of GnRH analogue-containing pellets on ovulation four cyprinid species. Polish Arch. Hydrobiol., 44. 219-224.
- Horváth, L. (1977): Improvement of the method for propagation, larval and post larval rearing of the Wels (*Silurus glanis* L.). Aquaculture, 10. 161-167.
- Horváth, L. - Tamás, G. - Coche, A. G. - Kovács, E. - Moth-Poulsen, T. - Woynárovich, A. (2015): Training manual on the artificial propagation of carps. A handout for on-farm training workshops on artificial propagation of common carp and Chinese major carps in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. Second revised edition. Budapest, FAO REU. 31.
- Horváth, L. - Tamás, G. - Coche, A. G. (1985a): Common carp, part 1: mass production of eggs and early fry. FAO Training Series No. 8, 87. Rome
- Horváth, L. - Tamás, G. - Coche, A. G. (1985a): Common carp 2: Mass production of advanced fry and fingerlings in ponds. FAO Training Series. No. 9. Rome,
- Horváth, L. - Tamás, G. - Tölg, I. (1984): Special method in pond fish husbandry. Budapest, Akadémia Kiadó; Seattle, Halver Corporation. 147.
- Horváth, L. - Tamás, G. (1995): Egyszerű gyakorlati eljárás halaink szaporítására a hipofízis hagyományos használata nélkül. Halászat, 88. 29-30.
- Horváth, L. - Urbányi, B. (2000): A haltenyésztés története, hazai történet. In: Halbiológia és Haltenyésztés, Szerk. Horváth L., Mezőgazda Kiadó, Budapest, 218-222.
- Ittész, I. - Kronbauer, E. C. - Szabó, T. - Horváth, L. - Urbányi, B. - Müller, T. (2020): Propagation of jundia *Rhamdia quelen* (Siluriformes: Heptapteridae) by applying the ovarian sperm injection method. Aquacult. Rep., 16. 100275.
- Jaczó, I. (1953): Kísérletek a kecsege mesterséges szaporítására a Dunán. Hidrológiai közlöny, 3-4, 149-152.
- Jaczó, I. (1954a): Hipofizáljuk a halakat? Halászat, 1. 7.
- Jaczó, I. (1954b): Miért hipofizáljuk a halakat? Halászat, 1. 12.
- Jaczó, I. (1955): A pontyok hipofizálása. Halászat, 2. 126-127.
- Kovács, É. - Müller, T. - Márián, T. - Krasznai, Z. - Urbányi, B. - Horváth, Á. (2010): Quality of cryopreserved African catfish sperm following post-thaw storage. J. Appl. Ichthyol., 26. 737-741.
- Landgraf, J. (1899): Süllőikra és tenyészrákok kiosztása. Halászat, 1. 54.
- Landgraf, J. (1904): A süllőikra-gyűjtés módja. Halászat, 5. 155-156.
- Lévai, F. - Horváth L. (1980). A csuka mesterséges szaporításának továbbfejlesztése. Halászat, 26/73. 4-5.
- Lévai, F. (1979): Gondolatok a süllőtenyésztés fejlesztéséről. Halászat, 25/72. 77-78.
- Maucha, R. (1948). Harcsatenyésztési kísérleteink eddigi eredményeiről. Halászat, 2/47. 113-114.
- Müller, T. - Ács, É. - Beliczky, G. - Makk, J. - Földi, A. - Kucska, B. - Horváth, L. - Ittész, Á. - Hegyi, Á. - Szabó, T. - Urbányi, B. - Nguyen, N. G. - Orbán, L. - Havasi, M. (2020): New observations about fertilization capacity and latency time of sperm inseminated into ovary in African catfish (*Clarias gariepinus*) as an oviparous model fish. Aquaculture, 522. 735109
- Müller, T. - Horváth, L. - Szabó, T. - Ittész, I. - Bognár, A. - Faidt, P. - Ittész, Á. - Urbányi, B. - Kucska, B. (2018): Novel method for induced propagation of fish: sperm injection in oviducts and ovary / ovarian lavage with sperm. Aquaculture, 482. 124-129.
- Müller, T. - Kucska, B. - Horváth, L. - Ittész, Á. - Urbányi, B. - Blake, C. - Gutí, Cs. - Csorbai, B. - Kovács, B. - Szabó, T. (2018): Successful, induced propagation of African catfish (*Clarias gariepinus*) by ovarian lavage with sperm and hormone mixture. Aquaculture, 485. 197-200.

- Müller, T. - Szabó, T. - Kollár, T. - Csorbai, B. - Marinović, Z. - Horváth, L. - Kucska, B. - Bodnár, Á. - Urbányi, B. - Horváth, Á. (2019): Artificial insemination of African catfish (*Clarias gariepinus*) using cryopreserved sperm. *Theriogenology*, 123. 145-150.
- Müller, T. - Urbányi, B. - Horváth, L. (2020). Áttekintés az indukált halszaporításban alkalmazott hormonbejuttatási módszerekről. *Halászat*, 113. 69-76.
- Nagy, A. - Rajki, K. - Horváth, L. - Csányi, V. (1978): Investigation on carp, *Cyprinus carpio*, gynogenesis. *J. Fish. Biol.*, 13. 215-224.
- Németh, Á. - Orbán, K. - Faidt, P. - Horváth, Á. - Müller, T. - Szathmári, L. - Urbányi, B. - Horváth, L. (2012): Induction of ovulation in the pikeperch (*Sander lucioperca* L.) by ovarian lavage. *J. Appl. Ichthyol.*, 28. 914-915.
- Polge, C. - Smith, A. U. - Parkes, A. S. (1949): Revival of spermatozoa after vitrification and dehydration at low temperatures. *Nature*, 164. 666.
- Répássy, M. (1900): A simontornyai süllő-telep. *Halászat*. 2. 163-164.
- Szabó, T. (1999): A keltetőházi csukaszaporítás hatékonyságának növelése. *Halászat*, 92. 151-154.
- Szalay, M. (1963): Új módszer a harcsaivadék mesterséges szaporítására. *Halászat*, 9/56. 95.
- Tasnády, B. (1997): A magyar halgazdálkodás története 504-518. In *Halgazdálkodás II.* Szerk. Szalay A., Magyar országos Horgász Szövetség, Budapest, 553.
- Veszprémi, B. (1955): A csuka mesterséges szaporításáról. *Halászat*, 2. 62.
- Von Ihering, R. (1937): A method for inducing fish to spawn. *The Progress. Fish-Cult.*, 4. 15-16.
- Watson, C. - Hill, J. E. - Graves, J. S. - Amy, L. - Wood, A. - Kilgore, K. H. (2009): Use of a novel induced spawning technique for the first reported captive spawning of *Tetraodon nigroviridis*. *Mar. Genomics*, 2. 143-146.
- Woynárovich, E. (1954): A ponty mesterséges szaporítása. *Magyar Tudományos Akadémia Agrár-tudományi Osztályának Közleményei*, 3. 227-242.
- Woynárovich, E. - Entz, G. (1950): Experiments in the artificial incubation of *Lucioperca sandra* Cuv. et Val. eggs. *Annal. Inst. Biolog (Tihany) Hung. Acad. Sci.*, 19. 65-68.
- Woynárovich, E. (1948): Süllőikra mesterséges megtermékenyítése. *Halászat*, 2/47. 106-107.
- Woynárovich, E. (1960a): Pontyikra érlelés Zuger-üvegben. *Halászat*, 7. 135.
- Woynárovich, E. (1960b): Ausreifen von Karpfenleichen in Zuger-Gläsern *Deutsche Fischerei Zeitung*, 7. 278-282.
- Woynárovich, E. (1961): Hatching of carp eggs in Zuger-glasses and breeding of carp larva until an age of 10 days. *Bamidgah, Bull. of Fish Cult. in Israel*, 4. 38-46.
- Woynárovich, E. (1962): A pontyikra Zuger-üveges érlelése és az ivadék nevelése 10 napos korig. *Halászat*, 8/55. 14-15.
- Woynárovich, E. (1963): Végre fellendült a csuka mesterséges szaporítása. *Halászat*, 9/56. 58-59.
- Woynárovich, E. (1965): A ponty mesterséges szaporításának továbbfejlesztése. *Halászat*, 11/58. 51.
- Woynárovich, E. (1989): A gonadoliberin analógok szerepe a gyakorlati halszaporításban. *Halászat*, 35/82. 29-31.

Érkezett: 2020. július

Szerzők címe: Müller T. - Szabó T. - Horváth L. - Horváth Á. - Gácsi Gy. - Ittész I. - Urbányi B.

Szent István Egyetem, Gödöllői Campus
Halgazdálkodási Tanszék

Authors' address: Szent István University, Gödöllő Campus
Department of Aquaculture
H-2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.
muller.tamas@szie.hu

Kucska B.

Szent István Egyetem, Kaposvári Campus
Aquakultúra Intézeti Tanszék
Szent István University, Kaposvár Campus
Aquaculture Department
H-7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.

Havasi M.

Szent István Egyetem, Keszthelyi Campus
Állattudományi Tanszék
Szent István University, Keszthely Campus
Department of Animal Sciences
H-8360 Keszthely, Deák F. u. 16.

NAGYLÉPTÉKŰ 'OMIKAI' ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSA A MODERN HALTENYÉSZTÉSBN

ORBÁN LÁSZLÓ - BOGNÁR ANDRÁS - HAVASI MÁTÉ - SZEVERÉNYI ILDIKÓ -
VARGA LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberiség rohamos mértékben emelkedő lélekszáma, és természetes vizeink szennyezett-ségének növekedése egyre fokozódó kettős nyomást gyakorol akvakultúránkra. Egyre több és jobb halhúst kell megtermelni úgy, hogy vizeinket minél kevésbé terheljük. Erre nyilvánvalóan csak akkor van esély, ha a haltenyésztést hatékonyabbá tesszük a legmodernebb kutatások eredményein alapuló technológiák által biztosított előnyöknek a hagyományos módszerekkel való kombinálása révén. Ennek a szemlélő cikknek az elsődleges célja az, hogy megmutassa, milyen módon segíthetik az örökítő anyag rendszerszintű vizsgálatának, a genomikának, epigenomikának, transzkriptomikának és metabiomikának a különböző eszközei a modern halbiológiai és haltenyésztéssel kapcsolatos kutatásokat. A közlemény az akvakultúra két olyan területét tekinti át, ahol a fenti, nagyhatékonságú eljárások és/vagy a rendszer-szintű megközelítés lehetővé tette, hogy a kutatók és tenyésztők alkotta munkacsoportok korábban elképzelhetetlen felbontású információhoz jussanak, és fontos problémák megoldásához kerüljenek közelebb. Ez a két terület: (i) az elit tenyészvonalak létrehozása genomszelekcióval; és (ii) a haltenyésztési technológiák hatékonyságának növelése 'omikai' eljárások alkalmazásával. Jelen áttekintő közlemény nyilvánvalóan szubjektív és nem foglalja magába a nagyhatékonságú megközelítések által a halas kutatások számára kínált lehetséges előnyök teljes tárházát, ugyanakkor reményeink szerint a termelők és a területen kívül dolgozó kutatók számára is jól demonstrálja az 'omikai' kutatásokban rejlő lehetőségeket. A közleményben ismertetett eljárások zömét egyes hazai kutatólaborok rutinszerűen alkalmazzák, így elérhetőek a termelő egységek számára is. Kívánatos lenne mielőbbi bevezetésük a hazai haltenyésztési technológiákba, ezáltal segítve a hazai akvakultúra továbbfejlesztését és modernizálását.

SUMMARY

Orbán, L. - Bognár, A. - Havasi, M. - Szeverényi, I. - Varga, L.: APPLICATION OF LARGE-SCALE 'OMICS' TECHNOLOGIES IN MODERN AQUACULTURE

The drastically growing human population and the increasing pollution level of natural water bodies places our aquaculture under double pressure. We need to produce more seafood of better quality without further increasing the load on our rivers, lakes and oceans. Our only chance to solve this problem is to make our aquaculture more efficient by combining approaches developed through the use of cutting-edge technologies developed based on our latest research advances with traditional approaches. The primary purpose of this review is to show how can the high throughput analyses performed with various tools of genomics, epigenomics, transcriptomics and metagenomics help modern research on fish biology and aquaculture. We have selected to such areas of fish production, where the above approaches and/or systems science made it possible for teams consisting researchers and farmers to access new information to a hitherto unexpected resolution and thereby helping them to solve their problems. These two areas are: (i) generation of elite breeding lines by genomic selection; and (ii) improving the efficiency of aquaculture technologies through the use of omic platforms. This review is obviously subjective and does not involve the full repertoire offered by 'omic' approaches for aquaculture research. Nonetheless, the authors hope that it will provide a useful demonstration of opportunities for researchers and farmers alike. Most platforms introduced in the review are routinely used by some of the Hungarian laboratories and/or service providers, thus they are available for the farms as well. The incorporation of these platforms into the aquaculture technologies would be highly desirable as they could help the improvement and modernization of fish production of Hungary.

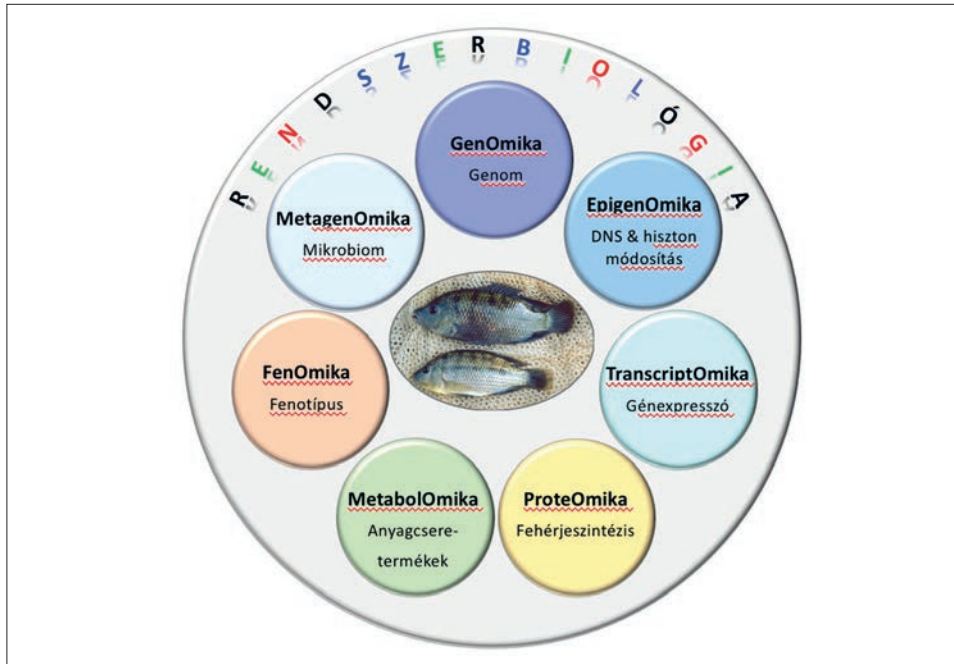
BEVEZETÉS

A halak ősidők óta fontos szerepet töltenek be az emberiség táplálkozásában. Őseink kezdetben a természetes vizekből kifogott példányokat fogyasztották, később azonban a szárazföldi fajokhoz hasonlóan elkezdődött a halak befogása és háziasítása is. Az első fogságban szaporított hal feltehetően ponty vagy nilusi tilápia volt (*Teletchea*, 2018) évezredekkel ezelőtt, mára már több mint 350 halfaj egyedét tenyésztik, főként édesvízi farmokon (*FAO*, 2020). Az akvakultúrával 2018-ban megtermelt 82,1 millió tonna termék (halak, gerinctelenek és növények együtt) közel 46%-át tette ki a világ akkori teljes termelésének, a maradékot elsősorban a tengeri halászat biztosította, melynek volumene egyre lassabban növekszik és egyes becslések szerint a közeljövőben elérheti a maximumát. A jövőben tehát várhatóan egyre több teher hárul majd akvakultúránkra: egyre több és jobb minőségű halhúst kell megtermelnünk, ráadásul úgy, hogy vizeinket minél kevésbé terheljük, hiszen azok szennyezettsége egyre fokozódik. Erre nyilvánvalóan csak akkor lesz esélyünk, ha a hagyományos tenyésztési technológiákat továbbfejlesztjük a legfrissebb tudományos eredményeken alapuló módszerekkel.

Az elmúlt három évtized során a biológiai kutatások területén forradalmi változások zajlottak le, melyek eredményeként az addig általában egyszerre egy vagy néhány célpontot vizsgáló eljárások (pl. genetika, vagy biokémia) mellé felzárkóztak a nagyléptékű megközelítések is. Számos olyan diszciplína jött létre, mint például a teljes genomot vizsgáló genomika, a fehérjekészleteket analizáló proteomika vagy a kis molekulásúlyú anyagcseretermékeket (metabolitokat) kimutató metabolomika, melyek lényege, hogy az élőlényeket nagyhatékonyságú eljárásokkal vizsgálják (*1. ábra*). Ezeket a tudományágakat összefoglaló néven 'omikáknak', párhuzamos alkalmazásukat pedig 'multi-omikai' megközelítésnek vagy rendszerbiológiának nevezzük (*Hasin és mtsai*, 2017). Szemben a klasszikus, hipotézis alapú kutatásokkal, az 'omikák' és a rendszertudomány hipotéziseket előállító megközelítések (*Horgan és Kenny*, 2011).

Jelen közlemény terjedelmi korlátai miatt nem adhat teljeskörű és részletes összefoglalást az 'omikák' több tucatnyi területéről és azok összefüggéseiről, szerencsére ezt mások korábban már megtették (*Horgan és Kenny*, 2011; *Coughlin*, 2014). Ehelyett az a célunk, hogy megmutassuk, milyen módon segíthetik a nagyléptékű és hatékony 'omikai' eljárások a modern halas kutatásokat és ezen keresztül a haltenyésztés hatékonyságának növelését. Ehhez négy 'omikai' eljárást kell röviden bemutatnunk. A genomika a teljes örökítő anyag, azaz az összes kromoszóma egyidejű vizsgálatával foglalkozik (*Lander*, 1996), míg az epigenomika azokat a visszafordítható módosításokat kutatja, melyek a DNS-re vagy az azt burkoló hisztonokra rakódva hatnak a gének megnyilvánulására anélkül, hogy a DNS szekvenciáját megváltoztatnák (*Novik és mtsai*, 2002). A transzkriptomika az adott körülmények között megnyilvánuló génkészletet analizálja (*Wolf*, 2013), míg a metagenomika, más néven metabiomiika a komplex, esetenként fajok ezreit tartalmazó, környezeti minták örökítő anyagának elemzésével foglalkozik (*Xu*, 2006; *Wooley és mtsai*, 2010). Lényeges különbség az első és a másik három terület között, hogy míg egy egyed genomja az élete folyamán egyes sejtjeiben bekövetkező mutációktól eltekintve állandó, addig epigenomja, transzkriptómája és benne/felszínén található mikroorganizmusok metagenomja plasztikusan változhat a környezeti tényezők hatására.

1. ábra Az akvakultúrában alkalmazott 'omikai' eljárások szelektált gyűjteménye



A halak körül elhelyezkedő színes körök egy-egy olyan 'omikai' eljárást reprezentálnak, melyet az akvakultúrában sikerrel alkalmaztak a tenyészállományok vagy a technológiák fejlesztése céljából. Együttes alkalmazásukat rendszerbiológiának nevezzük. A lista nem teljes, további eljárásokat is alkalmaztak az akvakultúrában, míg mások bevonása erősen kívánatos volna.

Figure 1. A selected set of omics approaches utilized in aquaculture

Each colored circle around the fishes in center represents an 'omics' approach that has been successfully utilized for the improvement of broodstock or advancement of technology. Parallel use of several 'omics' approaches is called systems biology. The list is not complete, as several other platforms have been used, whereas incorporation of others would be desirable.

Az akvakultúra két olyan területét választottuk ki, ahol a fenti, nagyhatékonyságú eljárások és/vagy a rendszer-szintű megközelítés alkalmazása lehetővé tette, hogy a kutatók és tenyésztők alkotta munkacsoportok korábban elképzelhetetlen felbontású információhoz jussanak, és általuk fontos problémák megoldásához kerüljenek közelebb. Ez a két terület: (i) az elit tenyészvonalak létrehozása genomikai szelekcióval; (ii) a haltenyésztési technológiák hatékonyságának növelése 'omikai' eljárások alkalmazásával. Az omikák akvakultúrában történő alkalmazásáról a közelmúltban több szemle cikk is megjelent (Samuelsson és Larsson, 2008); Lokman és Symonds, 2014; Raposo de Magalhães és mtsai, 2018), melyekből az olvasó további 'omikai' eljárásokat és újabb alkalmazási lehetőségeket ismerhet meg.

Elit tenyészvonalak létrehozása genomikai szelekcióval

Mielőtt a genomikai szelekciót bemutatnánk, röviden ismertetjük a haszonállatokon végzett szelekció történetét, mely az évszázadokon át tökéletesített fenotípusos szelekcióval indult. A következő fontos lépés a markerek segítségével végzett szelekció volt, melyet a genomok kellő szintű megértése után a genomikai szelekció váltott fel. Mivel a szárazföldi haszonállatokban (pl. szarvasmarha, sertés vagy tyúk) a fenti eljárások alkalmazása sokkal előrehaladottabb állapotban van, mint a halaknál, így példáinkat többször ezekből a fajokból vesszük majd.

Fenotípusos szelekció

A domesztikáció tízezer évre tehető története alatt az állattenyésztők a fenotípus alapján végezték a szelekciót és sokan így végzik még ma is. E szelekciós forma hatékonysága, illetve a generációk közötti szelekciós előrehaladás mértéke attól függ, hogy az illető tulajdonság sokféleségében (fenotípusos variancia) mekkora szerepet játszanak a genetikai faktorok (genetikai variancia). A h^2 (örökölhetőség) az a hányados, amely ezt számszerűleg is becsli egy nullától egyig terjedő skálán.

Az egygénés, úgynevezett mendelező tulajdonságoknál, ahol a $h^2=1$, ott kizárólag a genetikai faktorok határozzák meg a fenotípust. Szemléletes példák az ilyen fenotípusos szelekció hatékonyságára a különböző aranyhal változatok, amelyek számos szín- és egyéb morfológiai tulajdonsággal rendelkeznek: (pl. fátyolos farkú, teleszkópszemű, pirossapkás stb.), s mindezeket – a díszhal tenyésztés szempontjából jellegtelenné tűnő halból – az ezüstkárászból tenyésztették ki évszázadok alatt Kínában.

A legfontosabb termelési tulajdonságok viszont többgénés öröklésmentet mutatnak, amelyeknél számos – a genom különböző pontjain elhelyezkedő – kisebb nagyobb hatású gén bonyolult kölcsönhatása, valamint jelentős környezeti hatás együttes eredőjeként alakul ki a fenotípus. E tulajdonságok h^2 értéke jellemzően alacsony és így a fenotípusos szelekció hatékonysága, a szelekciós előrehaladás mértéke is jellemzően alacsonyabb.

Markerek segítségével végzett szelekció

A genetika technikai és módszertani fejlődésével először a kilencvenes években nyílt lehetőség az egygénés öröklésmentet mutató tulajdonságokat meghatározó mutációk feltérképezésére, azaz egy adott kromoszóma régióba történő lokalizálására. Az ezt követő finomfelbontású géntérképezés során pedig a ható mutáció pontos helyét és kilétét lehet meghatározni. Ha ez sikerül, akkor úgynevezett direkt géntesztel lehet közvetlenül magát a mutációt genotipizálni és ezt az információt felhasználni a tenyésztésben: ha a mutáció előnyös, akkor bevonható a pozitív szelekcióba, ha káros (pl. betegséget okoz), akkor pedig ellene lehet szelektálni.

Az ezt megelőző térképezést genetikai markerekkel végzik. Ezek olyan polimorf szekvenciák, amelyeket a genetikusok azért azonosítanak, dolgozzák ki a detektálási technológiájukat és térképezik fel az egymáshoz viszonyított pontos pozíciójukat, hogy utána ezekhez képest lehessen feltérképezni az állattenyésztési szempontból fontos mutációk helyét a genomban. A kilencvenes évek elején

fedezték fel a mikroszatellit markereket és használják ezeket azóta is a géntérképezésben. Előnyük: egyszerű kodomináns öröklésmentet mutatnak, számos allélváltozattal rendelkeznek (polimorfizmus), kimutatásuk pontos és egyértelmű, továbbá a genom bármely pontján megtalálhatók (*Ellegren*, 2004). Polimorf jellegük miatt ezeket a markereket a származásellenőrzésben is hatékonyan alkalmazzák.

A markerek segítségével végzett szelekció (angolul 'Marker Assisted Selection', röviden MAS) volt az első olyan stratégia, ahol a szelekció alapját nem a fenotípus, hanem a genotípus jelentette. E módszernek az a lényege, hogy, ha genetikai markerekkel be lehet térképezni az adott ható mutációt egy szűk kromoszómaregióra, akkor még az előtt, hogy magát a mutációt azonosították volna, a szomszédos markerek segítségével megállapítható, hogy az egyes utódok valóban örökölték-e a szóban forgó mutációt az egyik, vagy másik szülőtől, avagy sem (*Wakchaure és mtsai*, 2015). A MAS-hoz nagy reményeket fűztek a kilencvenes években, de sajnos a legtöbb esetben mégsem eredményezett széles körben átütő sikereket. Ennek az volt az oka, hogy a mikroszatellitoknak, a teljes genomhoz viszonyított száma és a térképezés hatékonysága nem volt alkalmas arra, hogy a ható gén legszorosabb szomszédságába pozícionálja a markereket. Így ezek a kapcsolatok pár generáción belül felbomlottak és a ható mutáció átadódását már nem lehetett megbízhatóan nyomon követni a generációk között.

Genomikai szelekció (GS)

A genomikában hatalmas robbanás játszódott le az ezredfordulón, s a fejlődés azóta exponenciális jelleggel folytatódik napjainkban is. E robbanást az emberi genom 3,3 milliárd nukleotid (3,3 gigabázis, azaz Gb) sorrendjének meghatározása (teljes genom szekvenálás) jelentette. Ezt az egyik valaha volt legnagyobb tudományos összefogás, az emberi genom projekt (angolul: Human Genome Project, HGP) keretében hajtották végre a világ vezető laboratóriumai (*Lander és mtsai*, 2001; *Venter és mtsai*, 2001). A HGP nemcsak az emberi, de a modellállatok (pl.: egér; *Waterston és mtsai*, 2002) és a legfontosabb háziállat fajok [pl. a tyúk (*International Chicken Genome Sequencing Consortium*, 2004), kutya (*Linblad-Toh és mtsai*, 2005), szarvasmarha (*Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium és mtsai*, 2009), sertés (*Groenen és mtsai*, 2012) és juh (*Jiang és mtsai*, 2014)] teljes genom szekvenciájának elkészítését is megvalósította. Megszülettek az első hal genomok is, például a pöttyös zöld bőrröndhal (*Aparicio és mtsai*, 2002), japán medaka (*Kasahara és mtsai*, 2007) illetve zebradánió (*Howe és mtsai*, 2013) modelleké, majd egyre több haszonhalé is [pl. bölcsőszájú halak (*Cichlidae*; *Brawand és mtsai*, 2014), és az ázsiai tengeri sügér (*Vij és mtsai*, 2016)]. További cél volt a genomika fejlődéséhez szükséges korszerűbb és hatékony platformok kifejlesztése is. Így dolgozták ki az ún. következő generációs szekvenálást (angolul Next Generation Sequencing, NGS vagy High Throughput Sequencing, HTS; *Kircher és Kelso*, 2010) és az SNP-chip technológiát (*LaFramboise*, 2009) is. Az NGS hatékonyságát jól jellemzi, hogy míg az előbb említett első emberi szekvencia tíz éven keresztül készült első generációs 'Sanger' szekvenálással és nagy nemzetközi összefogással, addig ma egyetlen NGS készülékkel egy teljes emberi genomot meg lehet szekvenálni pár óra alatt ezer dollár alatti költséggel.

Az SNP-chip módszer egy új típusú genetikai markert használ: az SNP-t (az

angol 'Single Nucleotide Polymorphism' kifejezés rövidítése), ami egy bázis különbséget jelent a genom adott pontján (Kim és Misra, 2007). Az SNP egyedileg sokkal gyengébb marker, mint a mikroszatellit, mert jellemzően minden SNP-nek csak két alléje van. Ugyanakkor hatalmas előnye, hogy egyrészt a kimutatása (genotipizálása) teljesen automatizálható, másrészt a nanotechnológiával elkészített SNP-chipeken, egy mikroszkópos tárgylemez felületén, ezres-tízezres-százezres-millió léptékben ('low-medium-high density chip') lehet SNP-eket genotipizálni egyetlen lépésben. E chipet nagy nemzetközi gyártók készítenek minden fontosabb háziállatfajra. A SNP-eket úgy választják ki, hogy azok egyenletesen fedjék le a genomot. A legfontosabb fajok esetében többféle markersűrűségű chip is rendelkezésre áll.

Az SNP-chipek megjelenése tette lehetővé a genomszelekciót (GS), amely gyökeresen felforgatta és teljesen új alapokra helyezte a nemzetközi tejelőmarha fajták szelekciós stratégiáját, és az állattenyésztés többi ágazatát is kezdi jelentősen megváltoztatni (Goddard és Hayes, 2007). A GS azon az elméleti tézisen alapul, hogy ha a genomot sűrűn pozicionált SNP-markerekkel vizsgáljuk, akkor egy mennyiségi tulajdonságra – például tejtermelésre – ható összes, kisebb-nagyobb hatású, ismeretlen pozíciójú gén szoros fizikai közelségben lesz minimum egy SNP markerhez, amelyeknek viszont ismert helye a kromoszómákon (Meuwissen és mtsai, 2001).

A GS-hez szükség van még egy referencia populációra (RP) is. Ebbe minél több, lehetőleg több ezer olyan bikát kell összegyűjteni, amelyeknek ivadékvizsgálatuk alapján igazoltan kiváló tejtermelési képességet örökítenek nőivarú utódaikra. Ha ezeket a bikákat genotipizálják a kiválasztott SNP-chipre, akkor egy speciális, összhangot mutató mintázatot kapnak azokra az SNP-ekre, amelyek a tejtermelésre ható gének közvetlen szomszédságaiban vannak. Ez a mintázat fog megfelelni a „jó tejtermelésnek”. A következő lépésben kiválasztják azokat a kisbikákat, amelyek a küllemük és a származásuk alapján megfelelő jövődó tenyészállat-jelöltek lehetnének és ezeket ugyancsak genotipizálják az SNP-chipre. Ezek közül azokból lesznek a legjobb tejtermelési képességet örökítő bikák, amelyeknek az SNP mintázata minél jobban összhangban van a fent bemutatott, „jó tejtermelést” megtestesítő összesített mintázattal. Ezt az összefüggést egy komplex matematikai egyenlettel számolják ki. A korreláció olyan szoros az egyenlet adta SNP értékek és a valódi tenyésztérték között, hogy az USA-ban egyre inkább háttérbe szorul a nagy költségekkel járó klasszikus ivadékvizsgálat. Helyette egyre nagyobb teret hódít a GS, mellyel a jó SNP mintázattal rendelkező „genomi kisbikákat”, már az ivarérettség előtt jó áron tudják értékesíteni. Az SNP genotipizálás ugyan költséges módszer, de ebben az ágazatban megtérül a befektetés, mert a tenyészvárományos növendék bikáknak nem kell hat évet várakoznia, míg az ivadékvizsgálat alapján eldől a tejtermelési örökítőkéességük, s ez jelentős költségmegtakarítást eredményez. A többi háziállat fajnál a helyzet nem ennyire egyértelmű, ezeknél számos tényező alakítja a GS jövődó alkalmazhatóságát.

Ahogy korábban említettük a haszonhalak szelekciója jóval később kezdődött a szárazföldi haszonállatokénál. Ráadásul a halak genomja a közös ősekben lezajlott teljes genomkettőződés (angolul 'teleost-specific genome duplication', röviden TGD; Christoffels és mtsai, 2004; Meyer and Van de Peer, 2005) és az egyes csoportok, így például a lazacfélék vagy tokfélék, közös őseiben lezajlott

további genom kettőződés (Guyomard és mtsai, 2012; Berthelot és mtsai, 2014) következtében általában komplexebb, mint az emlősöké vagy madaraké (Wittbrodt és mtsai, 1998; Sandve és mtsai, 2018). A fenti okok miatt egyelőre kevés tenyésztés számára fontos haszonhal fajban végeztek genomi szelekciót. Mivel a halaknál – a lazacfélék kivételével – mind a termelt mennyiség, mind pedig a kilónkénti ár túl alacsony ahhoz, hogy fedezze az SNP chipek nagyléptékű előállítását, ezért halakon a genomok analízisét inkább nagyhatékonyságú szekvenálással végzik. Ennek a megközelítésnek angolul ‘genotyping-by-sequencing’, azaz GBS a neve, melynek több változata is van (Robledo és mtsai, 2018). A leggyakrabban az ún. ‘restriction-site associated DNA mapping’ (RADseq vagy RADmap) eljárást (Baird és mtsai, 2008; Peterson és mtsai, 2012) alkalmazzák, melynek során nem a teljes genomot, hanem annak egy ügyes trükkkel kiszortírozott tizedét-husadát szekvenálják meg. Így nincs szükség nagyszámú SNP marker azonosítására és jellemzésére, elegendő csak azokat vizsgálni, amelyek a kiválasztott szakaszokon helyezkednek el.

Az atlanti lazac (*Salmo salar*; innen: lazac) a világ halhústermelésének 4,5 %-át [azaz közel 2,5 millió tonnát; (FAO, 2020)] szolgáltatja, ennek megfelelően a faj kutatására is igen komoly erők összpontosulnak. A lazacot fertőző megbetegedések elleni küzdelemben egyre fontosabb szerepet tölt be az a szisztematikus szelekciós munka, mellyel egyes betegségek ellen fokozott toleranciát mutató tenyészvonalakat fejlesztenek ki. A fertőző hasnyálmirigy elhalás vírusa (angolul infectious pancreas necrosis virus, IPNV) komoly mértékű elhullásokat okozott a lazac farmokon világszerte. A lazac genomjának szisztematikus átfésülésével sikerült azonosítani egy olyan ‘quantitatív trait locus’-nak, azaz QTL-nek nevezett genomrégiót (Würschum, 2012), mely az IPN-nel szembeni ellenállás több mint feléért felelős (Houston és mtsai, 2008; Moen és mtsai, 2009). Ennek alapján kidolgoztak egy olyan genotipizáló tesztet, melynek alkalmazásával IPN-rezisztens lazac vonalakat fejlesztettek ki, ezáltal drámai mértékben lecsökkentve a vírus okozta problémákat a lazactenyésztésben. Később teljes genom szekvenálással sikerült feltárni a QTL-és és azonosítani azt az epithelial cadherin (*cdh1*) gént, melynek fehérjeterméke szerepet játszik a vírus sejtekbe történő bejutásában, és melynek mutációja fokozza a fertőzés ellen rezisztenciát (Moen és mtsai, 2015).

Mivel az atlanti lazac tengeri termelése során legnagyobb gondot okozó vírusok és baktériumok legtöbbjére ellen sikerült hatékony vakcinákat kifejleszteni (Bravo és Midtlyng, 2007; Midtlyng és mtsai, 2011), így a farmok számára ma a legnagyobb problémát a köznyelv által vízitetűknek (angolul ‘sea lice’) nevezett ektoparaziták okozta fertőzés jelenti. Ezek valójában az evezőlábú rákok (Copepoda) milliméter nagyságú lárvái, melyek a lazacok bőrén élősködve lokális gyulladásokat okoznak és immunszuppresszáns hatást fejtenek ki (Finstad és mtsai, 2000). Európában elsősorban a *Lepeophtheirus salmonis*, míg Dél Amerikában elsősorban a *Caligus rogercresseyi* lárvái okoznak problémát a lazactenyésztők számára. Az elmúlt évtized során számos eljárást teszteltek ezen paraziták elleni védekezésre, így például kémiai kezeléseket, tisztító halakat vagy a táplálékhoz kevert adalékanyagokat (Núñez-Acuña és mtsai, 2015; Gentry és mtsai, 2020; Hannisdal és mtsai, 2020). Több esetben tapasztaltak ugyan kívánatos hatást, de a problémát egyik alkalmazása sem oldotta meg. Így a figyelem egyre inkább azon erőfeszítések felé fordult, melyek a genomszelekció segítségével próbálnak

olyan lazacvonalakat kifejleszteni, melyek fokozott toleranciát mutatnak ezen ektoparazitákkal szemben (Gharbi és mtsai, 2015; Gallardo-Escárate és mtsai, 2019). A lazac után – némi késéssel – megindultak a genomszelekciós kutatások több más halfajban, így például a nílusi tilápiában (Xia és mtsai, 2015), az ázsiai tengeri sügérben (Wang és mtsai, 2017), európai tengeri sügérben (Palaiokostas és mtsai, 2018) és a japán lepényhalban (Zhou és mtsai, 2020). Ezen programok célja – a lazachoz hasonlóan – elsősorban olyan elit tenyészvonalak előállítására, melyek nagyobb növekedési eréllyel és bizonyos fertőző betegségekkel szembeni fokozott ellenállással rendelkeznek.

A haltenyésztési technológiák hatékonyságának növelése 'omikai' eljárások alkalmazásával

Az intenzív haltenyésztés legnagyobb kihívása: hogyan lehet minél több halhúst megtermelni költséghatékonyan egy adott térfogatban a lehető legrövidebb idő alatt úgy, hogy a környezetet minél kevésbé szennyezzük. A nagyhatékonyságú 'omikai' eljárások ehhez is több ponton nyújthatnak segítséget.

Haltenyésztő rendszerek metagenomikai analízise

A költséghatékonyság fokozása miatt a zárt intenzív haltartó rendszerek felhasználói arra kényszerülnek, hogy drasztikusan fokozzák az egységnyi térfogatra eső állománysűrűséget. A nyilvánvaló előnyök mellett ennek sajnos megvannak a hátrányai is, hiszen az ilyen rendszerekben a halak az állandó fizikai közelség miatt nagyobb stresszhatásnak vannak kitéve, és ez hosszú távon növelheti a fertőző betegségek kialakulásának esélyét és drasztikusan felgyorsíthatja azok lefolyásának menetét is (Snieszko, 1974; Conte, 2004). Könnyen belátható, hogy a védekezés egyik frontja az ilyen rendszerek gyakori monitorozása olyan eljárásokkal, melyekkel a fertőzéseket már kezdeti fázisukban detektálhatjuk.

A metagenomika segítségével a környezetünkből gyűjtött minták mikrobiális genetikai analízisét végezhetjük el anélkül, hogy a mintában jelenlevő baktériumokat (és/vagy vírusokat és gombákat) izolálnunk kellene (Xu, 2006; Wooley és mtsai, 2010). Intenzív farmok befolyó és kifolyó vizének rendszeres metagenomikai monitorozásával a rendszerek állapota könnyen leellenőrizhető, és a biofilterekben bekövetkező változások azok korai fázisában megfigyelhetők (Bentzon-Tilia és mtsai, 2016; Martínez-Porchas és Vargas-Albores, 2017). Különböző körülmények között működtetett recirkulált vizű haltenyésztő rendszerekben ('recirculating aquaculture system', RAS) a biofilterek mikrobiomjának összetétele jelentősen eltér (Huang és mtsai, 2016), jelezve, hogy ezzel az eljárással a rendszerben esetlegesen bekövetkező kedvezőtlen változásokat követni, sőt esetleg korán előre jelezni is lehet. Mivel a tartási körülmények hatással vannak a halak belében illetve felszínüket borító nyálkarétegben élő mikroorganizmusokra (de Bruijn és mtsai, 2018), valószínűsíthető, hogy a halakat borító nyálkaréteg vagy az általuk termelt bélsár rendszeres metagenomikai analízisével akár a stressz vagy a felbukkanó betegségek korai hatását is detektálni lehet majd (Llewellyn és mtsai, 2014).

*A fertőző betegségek folyamatainak és az ellenük való védekezés
lehetőségeinek 'omikai' analízise*

Az „omikák” alkalmazása lehetővé teszi a patogén-gazdaszervezet közötti kölcsönhatások mélyebb megértését is. A nagyhatékonyságú szekvenálási eljárások szélesebb körű hozzáférhetőségével feltárhatóvá vált a halak immunrendszerének genetikai háttere és ezzel párhuzamosan a legfontosabb patogének genomja is megismerhetővé vált. A bioinformatikai kapacitások bővülésével azonosíthatóvá váltak kulcsfontosságú gének és jelátviteli útvonalak, amelyek fontos szereppel bírnak a patomechanizmusok megértésében, a rezisztencia és fogékonyság molekuláris manifesztálódásában és a halak immunrendszerének evolúciós fejlődésében. Lehetővé vált a humán és rágcsáló ismeretanyag alapján végzett kísérletes összehasonlító jellegű analízisektől való elszakadás, és a 'de novo' eredményekre és az egyre növekvő számú hal genom alkotta információs bázisra támaszkodva a halak egyedi evolúciós és fajspecifikus megoldásainak azonosítása.

Korábban a halak immunrendszerének és a betegségek patomechanizmusának vizsgálata elsősorban bizonyos gének azonosítására illetve fehérje funkciók tisztázására szorított, így például a komplement faktor gén klónozására (*Kuroda és mtsai, 1996*), vagy az immunglobulin gének organizációjának tisztázására (*Amemiya és mtsai, 1990*). Ugyanakkor, a halakra jellemző egyedi evolúciós megoldások és az immunrendszer működésének holisztikus feltárása váratott magára.

Önmagában a genomszekvenálások is rendkívül érdekes immun-evolúcióbölgiai vonatkozásokat tártak fel egyes fajok esetében. Az atlanti tőkehal genomjának elemzése során kimutatták az MHC-II és a CD4 receptort kódoló gének hiányát, így igazolták az adaptív immunrendszer CD4 helper T sejt alapú aktivációjának diszfunkcionalitását. A kibővült MHC-I gének számával és a csontos halak közötti legnagyobb változatosságot mutató Toll-szerű receptor készlettel kompenzálva egyedi evolúciós immunbiológiai fejlődési útra derült fény a gerincesek között a genomika alkalmazásával (*Star és mtsai, 2011*). Később a fajokon átívelő vizsgálatok is megvalósíthatóvá váltak: 66 halfaj részleges genomjának összehasonlító elemzésével feltárták, hogy a vizsgált 27 tőkehalfélére általános érvényű a gerincesek között egyedülálló MHC-II deficiens immunrendszer architektúrája (*Malmström és mtsai, 2016*). Egy tőkehalféle (*Syngnathus typhle*) esetében is leírták a funkcionális MHC-II gének hiányát igazolva, hogy ez genomikus esemény a fejlődésbiológiai egymástól távol álló csoportokban következett be (*Magadan és mtsai, 2015*).

A csontos halak komplex interakcióit vizsgáló immunológiai vizsgálatokban a célszervek (kopolyú, lép, vese, máj) vagy egyes sejtcsoportjaik transzkriptóma analízise megkerülhetetlen lépéssé vált. Kiválóan szemlélteti ennek hasznosságát az a metaanalízis, amely 80 közlemény alapján hasonlította össze a különböző halfajok bakteriális, virális vagy parazita fertőzésre adott immunválaszát génextpressziós szinten (*Sudhagar és mtsai, 2018*). Eredményeik segítettek felderíteni a különböző halfajokban eltérő patogének által kiváltott molekuláris immunválasz konzervált elemeit. Szintén transzkriptóma vizsgálatokkal igazolták a halak vörösvérsejtjeinek aktív immunológiai funkcióját is (*Shen és mtsai, 2018*).

A transzkriptóma analízise az immunfunkciók feltárásán túl a betegség által érintett egyéb folyamatokban, így például a metabolizmusban történő válto-

zásokat is felderítheti. A 'grass carp rheovirus'-sal (GCRV) fertőzött amurok gasztrointesztinális rendszerében a megváltozott immunműködésen túl lipid és szénhidrát anyagcsere zavarokat mutattak ki ezzel az eljárással, ezáltal kiterjesztve a vírus patobiológiájával kapcsolatos ismereteinket (Shi és mtsai, 2014).

Gazdasági haszonhalak esetében a jelentős károkat okozó patogének indukálta molekuláris változások azonosítása segíti a gazda-patogén kapcsolatának jobb megértését, ezáltal előre mozdítva a kórokozók elleni védekezés folyamatát is. *Aeromonas hydrophila*-val fertőzött pontyok lépéből például 2900 differenciáltan expresszált gént azonosítottak (Jiang és mtsai, 2016), melyek segíthetnek a baktérium patobiológiájának megértésében.

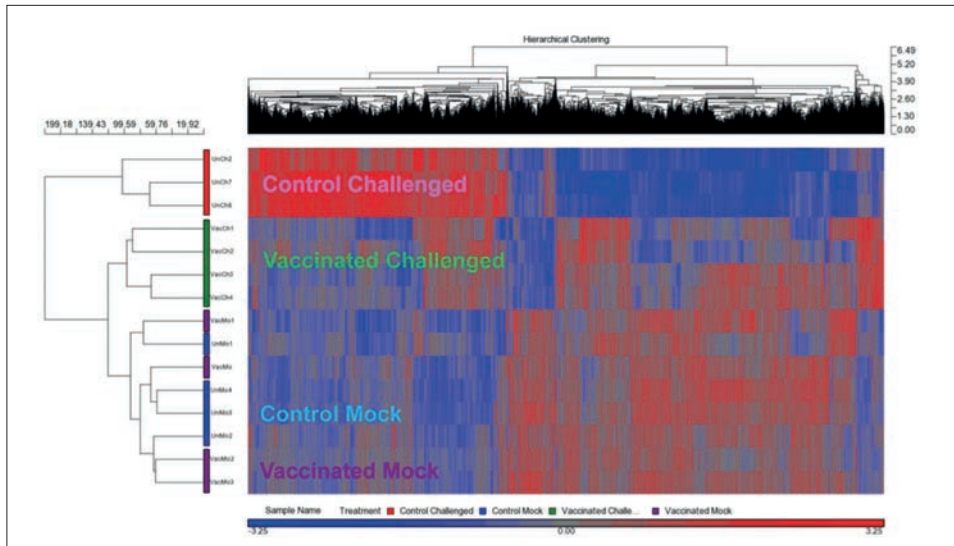
A vakcinálási stratégiák tervezését és a vakcinák hatásmechanizmusának megértését is segíti az omikák eszközei. Az *Edwardsiella tarda* egy olyan fakultatív anaerob, Gram negatív baktérium, mely több halfajt képes megfertőzni, szepszist okozva. Amikor zebradániót kezeltek élő, attenuált *E. tarda* elleni vakcinával, a máj transzkriptómájának analízise felfedte, hogy a vakcinázás kezdeti szakaszában az egyes 'major histocompatibility complex' (MHC-I) génjei fokozott expressziót mutattak, ugyanakkor lecsökkent az MHC-II génjeinek megnyilvánulása (Yang és mtsai, 2012). Ezek az eredmények igazolták a feltételezett immunválasz mechanizmusát és jó példát szolgáltatnak a genomika alkalmazhatóságára megfelelő vakcinázási stratégiák kialakításához. Egy másik kísérletben, egy kereskedelmi forgalomban lévő, *Streptococcus iniae* baktérium elleni vakcina hatását tesztelték ázsiai tengeri sügér ivadékokon. A vakcinázott és a vakcinával nem kezelt egyedeket fertőzve, azok lépének és fejveséjének transzkriptómáját hasonlították össze. A kapott eredmények nem csak a vakcinázás és fertőzés hatására differenciált expressziót (azaz jelentősen eltérő megnyilvánulást) mutató gének százait azonosították, hanem néhány tucat olyan gént is, melyek a vakcinázott egyedekben aktiválódva feltehetően jelentősen hozzájárultak a halakat megvédő molekuláris változásokhoz (2. ábra; Jiang és mtsai, 2014).

Az 'omikai' eljárások kombinációival integratív patobiológiai analízisekre is lehetőség nyílik. Tilápia máj és posterior bélszakasz transzkriptóma és proteóma szintű összehasonlító vizsgálatával a két szerv közötti hasonlóságokat és eltéréseket sikerült felfedni homeosztatikuss és gyulladási állapotban (Wu és mtsai, 2016). Egyes vélemények szerint az antimikrobiális peptidok jelenthetik az egyik kulcsot az antibiotikum használat visszaszorításához. *Channa striatus* esetében 13 antimikrobiális peptidet sikerült azonosítani a bőrszövetben *Aeromonas hydrophila* fertőzéskor a bőr transzkriptóma analízisének eredményeiből (Kumaresan és mtsai, 2019).

A tenyésztett halak táplálkozásának 'omikai' analízise

A takarmányozás kulcsfontosságú kérdés minden haltenyésztő számára. Különösen igaz ez az intenzív termelésre, egyrészt a természetes táplálékhiánya miatt, másrészt a magas költségek, harmadrészt pedig a nagy sűrűség és biotakarmány miatt, amelynek köszönhetően minden a halat érő hatás fokozottabban jelentkezik. Egyes becslések szerint a takarmány ára az ilyen rendszerekben a halhús előállítás költségének akár 70%-át is kiteheti. A nutrigenomikai eljárásokkal a táplálék halakra kifejtett hatása több szinten is részletesen tanulmányozható.

2. ábra Vakcinázást követő bakteriális fertőzés hatására az ázsiai tengeri sügér (*Lates calcarifer*) lépében lezajló génexpresszió mintázata



A három hónapos egyedek felét hasüregbe való oltással vakcinázták a *Streptococcus iniae* baktérium (Strep) ellen, míg a kontrollhalakba ugyanolyan térfogatú pufferolt fiziológiás sóoldatot injektáltak. Huszonegy nap elteltével mindkét csoport felét hasüregbe injektált Strep-pel fertőzték, míg a többiekbe pufferolt fiziológiás sóoldatot juttattak. A 10 331 próba alapján készült hőtérképen minden egyes sor egy egyednek, míg minden egyes oszlop egy próbának (génnek) felel meg. A piros szín jelentős expressziót, míg a kék alacsonyabb szintű megnyilvánulást jelez. Az ábra tetején az egyes próbák összes egyedben detektált expresszióján alapuló rokonsági térkép (angolul 'hierarchical clustering map') található, míg a bal oldal a 15 vizsgált egyedben ábrázolja az összesített expressziós mintázatok hasonlóságát. Statisztikai analízis: 0,05 P-érték FDR kezeléssel egyutas ANOVA analízissel. (Forrás: Jiang és mtsai, 2014; 7. ábra a szerzők engedélyével)

*Figure 2. Bacterial infection of vaccinated Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles resulted in fewer changes in the gene expression profile of spleen than in those of unvaccinated, infected ones*

Half of the three-months old juveniles were injected intraperitoneally with a commercial vaccine developed against *Streptococcus iniae* (Strep), where controls were mock-injected with buffered physiological salt solution. Twenty-one day later of the individuals from both groups were challenged by intraperitoneal injection of Strep, whereas the rest were injected with buffered saline. The main image shows the heat map of the expression profile based on 10, 331 probes. Every line represents a separate individual, whereas every column represents a different probe (gene). The red color indicates substantial up-regulation of expression, whereas the blue down-regulation. On the top of the figure, a hierarchical clustering map depicts the relatedness of genes based on their combined expression profile, whereas on the left the similarity of combined expression profiles for all genes is exhibited. Statistical analysis: a P-value with FDR (treatment) <0.05 in a one-way Anova analysis. (Source: Jiang et al., 2014; Figure 7.; with the authors' permission)

Különböző, a kereskedelemben kapható tápokkal etetett ázsia tengeri sügereket (*Lates calcarifer*) vizsgálva kimutatták, hogy a táplálék összetétele a növekedés mértéke mellett jelentős hatással van az izom lipidösszetételére, valamint az emésztőrendszer hisztológiai paramétereire is (Ngoh és mtsai, 2015). A máj transzkriptómájának analízise számos differenciál expressziót mutató gént detektált nem csak a táppal etetett egyedek és fagyasztott hallal táplált kontrolljaik között, hanem a különböző tápokkal etetett példányok között is.

A táplálék emésztésében és feldolgozásában kulcsszerepet játszó szervekben, így például a belekben vagy a májban zajló génexpresszió analízisével betekintést nyerhetünk azokba a folyamatokba, melyek meghatározzák, hogyan hasznosulnak a bevitt tápanyagok. Különösen fontos ez akkor, amikor nem hagyományos alapanyagok teszteléséről van szó.

Az akvakultúrában széles körben elterjedt törekvés a halliszt és a halolaj gazdaságos és fenntartható alternatívákkal való helyettesítése. A növényi alapanyagok hatásainak megértéséhez az 'omikai' eljárások hatékony segítséget nyújtanak. A növényi fehérjék használhatóságának egyik korlátja az úgynevezett 'antinutritív faktorok' jelenléte, melyek kedvezőtlen hatással lehetnek az emésztésre, felszívódásra, a tápanyagok hasznosulására és negatívan befolyásolják a bél állapotát is (Krogdahl és Bakke, 2015). A legelterjedtebben használt növényi fehérjehordozó a szójaliszt, melyben az antinutritív komponensek a halakban bélgyulladást okoznak. Ez a hatás olyan általánosnak tekinthető, hogy a szójalisztet modellként használják bélgyulladás előidézésére. (Baeverfjord és Krogdahl, 1996; Krogdahl és mtsai, 2003; Hu és mtsai, 2016). A transzkriptóma elemzések eredményei azt mutatják, hogy a szója etetése először az immunfolyamatokért felelős gének expresszióját befolyásolja, majd később a bélfunkciók ellátására szolgáló gének kifejeződésére is hatással van. A szója hatására alulregulált (azaz alacsonyabb expressziós szintet mutató) gének főleg az endocitózisért, transzport- és anyagcsere-folyamatokért felelősek. Ezek együttesen a megváltozott bélműködésre és a bél epithél hámjának hibás működésére utalnak nagyobb permeabilitás mellett. Mivel a szójaszaponinok, csak szójafehérjék jelenlétében okoznak gyulladást, elmondható, hogy a bél egészségét befolyásoló mechanizmusok még nem kellően ismertek (Chikwati és mtsai, 2012).

Mivel a takarmányalkotók hatással vannak az emésztőszervekben zajló génexpresszióra, ezért a takarmányozás nyomonkövetése transzkriptóma analízissel feltárja, hogy milyen emésztőenzimeket termel a szervezet, ami közvetlen visszacsatolást jelent a takarmányalkotók emészthetőségével kapcsolatban. A folyamat befolyásolja a teljes anyagcserét, amiről a bomlástermékek elemzésével, a metabolomika segítségével nyerhetünk képet.

A takarmányalkotók hatása azonban nem csak a hal élettani és egészségi állapotán érhető tetten, hanem közvetetten a bélben élő mikroorganizmus közösségre, sőt azok genomi összetételére (mikrobiom) is hatást gyakorolnak. A béltartalom metagenomikai analízisével fontos információt szerezhetünk arról, hogyan hatnak a tápok a halak emésztési folyamataiban kulcsszerepet játszó bélbaktériumokra, illetve a bélflóra összetételének megváltozása hogyan hat a hal egészségi állapotára. Kifejlett aranydurbincs (*Sparus aurata*) beléből izolált *Lactobacillus fructivorans* törzset és a halakból korábban nem izolált *Lactobacillus plantarum* törzset egyidejűleg juttattak vissza aranydurbincs ivadékokba élő és

mesterséges takarmány segítségével (*Carnevali és mtsai, 2004*). A mikrobióta megváltozása már a lárva 35 napos korára egyértelművé vált, mindkét *Lactobacillus* törzset sikerült megtelepíteni a bélrendszerben. A túlélésre kifejtett pozitív hatásuk pedig már 39 napos kortól megmutatkozott. Később mások azt tapasztalták, hogy a *Lactobacillus* a bélflóra összetételében való megjelenésével szignifikánsan csökkent a kortizol szintje, csökkent a Hsp70 hősokk fehérje génexpressziója és emelkedett az egyedek pH okozta stresszel szembeni tolerancia szintje (*Rollo és mtsai, 2006*).

A táplálék a halak immunstátuszát is megváltoztathatja, ami preventív jelleggel jelentősen segítheti az egyes kórokozókkal szembeni védekezést. Igazolást nyert, hogy funkcionális takarmányok segítségével javítani lehet a tengeri lazac-termelésben súlyos gondokat okozó 'sea lice' ellen való védekezés hatását is. A tápokhoz kevert növényi glükozinolátokat a bélben élő mikrobióta lebontja, izotiocianátokká alakítja, melyeknek gyulladáscsökkentő és antioxidáns hatása van. Az ilyen tápok használata 25%-kal csökkentette a rákok okozta terhelést a kontroll tápokhoz képest (*Jodaa Holm és mtsai, 2016*). A transzkriptóma analízise igazolta, hogy a lazac bőrében az interferon és a kapcsolódó gének expressziója megnőtt már a fertőzést megelőzően és a fertőzés felfutásával 1-es típusú immungének expresszióját is indukálta. A glükozinolát kiegészítés csökkentette a rákok immunszuppresszív hatását a halakon. A halak szervezete a glükozinolátokat toxiként értelmezte és további transzkriptóma vizsgálatok szignifikáns emelkedést mutattak a méregtelenítésért felelős gének májbeli expressziójában, a vesében, hasonlóan a bőrhöz, ugyanakkor az interferon gének expressziójának emelkedett szintje volt tapasztalható (*Skugor és mtsai, 2016*).

Az éhezés a halak életmenetében nem ritka jelenség, hiszen előfordul telelés, ivási vándorlás, szaporodási időszak során, de ennek fiziológiai hatásait kevesen vizsgálták. A csatornaharcsa (*Ictalurus punctatus*) táplálékhiány esetén különösen érzékenyvé válik a *Flavobacterium columnare* fertőzésre. Csatornaharcsa ivadék egy hetes éheztetése után a kopoltyú és a bőr transzkriptómáját analizálva azt tapasztalták, hogy az éhezés hatására a nyálkában a gének komoly hányadának, közöttük számos immunfunkcióért felelős gének expressziós szintje jelentősen lecsökkent (*Zhao és mtsai, 2015*). A transzkriptóma analízise tehát már rövid éheztetés után is felfedte az érintett immunfunkciókat.

Az 'omikai' eljárásoknak a közeljövőben nagy szerepe lehet a korai egyedfejlődési szakaszokban a takarmányozás hatásainak felderítésében, különösen a bél egészség és az immunfolyamatok, valamint a bélflóra kialakulásának terén.

KÖVETKEZTETÉSEK

Ahhoz, hogy növelni tudjuk akvakultúránk hatékonyságát, valamint a megtermelt halhús mennyiségét és minőségét, egyre inkább támaszkodnunk kell a modern technológiákra. A legfrissebb kutatási eredményeken alapuló módszerek lehetővé teszik, hogy többet és jobbat termelhessünk anélkül, hogy környezetünket egyre jobban szennyeznénk.

A nagyléptékű eljárásokon alapuló 'omikai' megközelítésekkel javítani lehet a tenyészállományok minőségét, szelektálva azokat a vonalakat, melyek legjobban alkalmazkodnak a zárt, intenzív rendszerek körülményeire. Ezzel párhuzamo-

san az 'omikai' módszerek alkalmazásával tovább lehet fejleszteni a tenyésztési technológia több komponensét is.

A közleményben ismertetett eljárások zömét egyes hazai kutatólaborok rutin-szerűen alkalmazzák, így elérhetőek a termelő egységek számára is. Kívánatos lenne mielőbbi bevezetésük a hazai haltenyésztési technológiákba, ezáltal segítve a hazai akvakultúra továbbfejlesztését és modernizálását.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

OL-t, BA-t és Szi-t a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal Él-vonal Kutatási Kiválósági Programja (KKP126764), míg HM-t és Szi-t az Euró-pai Regionális és Fejlesztési Alapnak, valamint Magyarország Kormányának a GINOP-2.3.2-15-2016-00025. számú kutatási programja támogatja.

IRODALOMJEGYZÉK

- Amemiya, C. T. – Litman, G. W.* (1990): Complete nucleotide sequence of an immunoglobulin heavy-chain gene and analysis of immunoglobulin gene organization in a primitive teleost species. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 87. 811-815.
- Aparicio, S. – Chapman, J. – Stupka, E. – Putnam, N. – Chia, J. M. – Dehal, P. – Christoffels, A. – Rash, S. – Hoon, S. – Smit, A.* (2002): Whole-genome shotgun assembly and analysis of the genome of *Fugu rubripes*. *Science*, 297. 1301-1310.
- Baeverfjord, G. – Krogdahl, A.* (1996): Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L, distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *J. Fish. Dis.*, 19. 375-387.
- Baird, N. A. – Etter, P. D. – Atwood, T. S. – Currey, M. C. – Shiver, A. L. – Lewis, Z. A. – Selker, E. U. – Cresko, W. A. – Johnson, E. A.* (2008): Rapid SNP discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers. *PLoS ONE*, 3: e3376.
- Bentzon-Tilia, M. – Sonnenschein, E. C. – Gram, L.* (2016): Monitoring and managing microbes in aquaculture – Towards a sustainable industry. *Microb. Biotechnol.*, 9. 576-584.
- Berthelot, C. – Brunet, F. – Chalopin, D. – Juanchich, A. – Bernard, M. – Noël, B. – Bento, P. – Da Silva, C. – Labadie, K. – Alberti, A.* (2014): The rainbow trout genome provides novel insights into evolution after whole-genome duplication in vertebrates. *Nat. Commun.*, 5. 3657.
- Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium – Elsik, C. G. – Tellam, R. L. – Worley, K. C.* (2009): The genome sequence of taurine cattle: a window to ruminant biology and evolution. *Science*, 324. 522-528.
- Bravo, S. – Midtlyng, P. J.* (2007): The use of fish vaccines in the Chilean salmon industry 1999-2003. *Aquaculture*, 270. 36-42.
- Brawand, D. – Wagner, C. – Li, Y. – Malinsky, M. – Keller, I. – Fan, S. – Simakov, O. – Ng, A. Y. – Lim, Z. W. – Bezaul, E.* (2014): The genomic substrate for adaptive radiation in African cichlid fish. *Nature*, 513É 375–381.
- Carnevali, O. – Zamponi, M. C. – Sulpizio, R. – Rollo, A. – Nardi, M. – Orpianesi, C. – Silvi, S. – Caggiano, M. – Polzonetti, A. M. – Cresci, A.* (2004): Administration of probiotic strain to improve sea bream wellness during development. *Aquac. Int.*, 12. 377e86.
- Chikwati, E. M. – Venold, F. F. – Penn, M. H. – Rohloff, J. – Refstie, S. – Guttvik, A. – Hillestad, M. – Krogdahl, A.* (2012): Interaction of soya saponins with plant ingredients in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Br. J. Nutr.*, 107. 1570-1590.
- Christoffels, A. – Koh, E. G. L. – Chia, J. M. – Brenner, S. – Aparicio, S. – Venkatesh, B.* (2004): *Fugu* genome analysis provides evidence for a whole-genome duplication early during the evolution of ray-finned fishes, *Mol. Biol. Evol.*, 21. 1146–1151.

- Conte, F. S. (2004): Stress and the welfare of cultured fish. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 86. 205–223.
- Coughlin, S. S. (2014): Toward a road map for global -omics: A primer on-omic technologies. *Am. J. Epidemiol.*, 180. 1188–1195.
- de Bruijn, I. – Liu, Y. – Wiegertjes, G. F. – Raaijmakers, J. M. (2018): Exploring fish microbial communities to mitigate emerging diseases in aquaculture. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 94. fix161.
- Ellegren, H. (2004): Microsatellites: Simple sequences with complex evolution. *Nat. Rev. Genet.*, 5. 435–445.
- FAO (2020): The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome, Italy; <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Finstad, B. – Bjørn, P. A. – Grimnes, A. – Hvidsten, N. A. (2000): Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture*, 31. 795–803.
- Gallardo-Escárate, C. – Arriagada, G. – Carrera, C. – Gonçalves, A. T. – Núñez-Acuña, G. – Valenzuela-Miranda, D. – Valenzuela-Muñoz, V. (2019): The race between host and sea lice in the Chilean salmon farming: a genomic approach. *Rev. Aquacult.*, 11. 325–339.
- Gentry, K. – Bui, S. – Oppedal, F. – Dempster, T. (2020): Sea lice prevention strategies affect cleaner fish delousing efficacy in commercial Atlantic salmon sea cages. *Aquacult. Environm. Interact.*, 12. 67–80.
- Gharbi, K. – Matthews, L. – Bron, J. – Roberts, R. – Tinch, A. – Stear, M. (2015): The control of sea lice in Atlantic salmon by selective breeding. *J. R. Soc. Interface*, 12. 20150574.
- Goddard, M. E. – Hayes, B. J. (2007): Genomic selection. *J. Anim. Breed. Genet.*, 124. 323–330.
- Goddard, M. E. – Hayes, B. J. (2009): Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes. *Ann. Rev. Genet.*, 10. 381–391.
- Groenen, M. A. – Archibald, A. L. – Uenishi, H. – Tuggle, C. K. – Takeuchi, Y. – Rothschild, M. F. – Rogel-Gaillard, C. – Park, C. – Milan, D. – Megens, H. J. – Li, S. (2012): Analyses of pig genomes provide insight into porcine demography and evolution. *Nature*, 491. 393–398.
- Guyomard, R. – Boussaha, M. – Krieg, F. – Hervet, C. – Quillet, E. (2012): A synthetic rainbow trout linkage map provides new insights into the salmonid whole genome duplication and the conservation of synteny among teleosts. *BMC Genet.*, 13. 15.
- Hannisdal, R. – Nøstbakken, O. J. – Hove, H. – Madsen, L. – Horsberg, T. E. – Lunestad, B. T. (2020): Anti-sea lice agents in Norwegian aquaculture; surveillance, treatment trends and possible implications for food safety. *Aquaculture*, 521. 735044.
- Hasin, Y. – Seldin, M. – Lusi, A. (2017): Multi-omics approaches to disease. *Genome Biol.*, 18. 83.
- Horgan, R. P. – Kenny, L. C. (2011): 'Omic' technologies: genomics, transcriptomics, proteomics and metabolomics. *Obstetr. Gynaecol.*, 13. 189–195.
- Houston, R. D. – Haley, C. S. – Hamilton, A. – Guy, D. R. – Tinch, A. E. – Taggart, J. B. – McAndrew, B. J. – Bishop, B. C. (2008): Major QTL affect resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Genetics*, 178. 1109–1115.
- Howe, K. – Clark, M. – Torroja, C. – Torrance, J. – Berthelot, C. – Muffato, M. – Collins, J. E. – Humphray, S. – McLaren, K. – Matthews, L. (2013): The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome. *Nature*, 496. 498–503.
- Hu, H. – Kortner, T. M. – Gajardo, K. – Chikwati, E. – Tinsley, J. – Krogdahl, A. (2016): Intestinal fluid permeability in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) is affected by dietary protein source. *PLoS One*, 11. e0167515.
- Huang, Z. – Wan, R. – Song, X. – Liu, Y. – Hallerman, E. – Dong, D. – Zhai, J. – Zhang, H. – Sun, L. (2016): Metagenomic analysis shows diverse, distinct bacterial communities in biofilters among different marine recirculating aquaculture systems. *Aquacult. Int.*, 24. 1393–1408.
- International Chicken Genome Sequencing Consortium (2004): Sequence and comparative analysis of the chicken genome provide unique perspectives on vertebrate evolution. *Nature*, 432. 695–716.

- Jiang, J. – Miyata, M. – Chan, C. – Ngoh, S. Y. – Liew, W. C. – Saju, J. M. – Ng, K. S. – Wong, S. F. – Lee, Y. S. – Chang, F. S. (2014): Differential transcriptomic response in the spleen and head kidney following vaccination and infection of Asian seabass with *Streptococcus iniae*. PLoS ONE, 9. e99128.
- Jiang, Y. – Xie, M. – Chen, W. – Talbot, R. – Maddox, J. F. – Faraut, T. – Faraut, T. – Wu, C. – Muzny, D. M. – Li, Y. – Zhang, W. (2014): The sheep genome illuminates biology of the rumen and lipid metabolism. Science, 344. 1168-1173.
- Jiang, Y. – Feng, S. – Zhang, S. – Liu, H. – Feng, J. – Mu, X. – Sun, X. – Xu, P. (2016): Transcriptome signatures in common carp spleen in response to *Aeromonas hydrophila* infection. Fish Shellfish Immunol., 57. 41-48.
- Jodaa Holm, H. – Wadsworth, S. – Bjelland, A. K. – Krasnov, A. – Skugor, S. – Evensen, Ø. (2016): Dietary phytochemicals modulate skin gene expression profiles and result in reduced lice counts after experimental infection in Atlantic salmon. Parasit. Vectors, 9. 271.
- Kasahara, M. – Naruse, K. – Sasaki, S. – Nakatani, Y. – Qu, W. – Ahsan, B. – Yamada, T. – Nagayasu, Y. – Doi, K. – Kasai, Y. (2007): The medaka draft genome and insights into vertebrate genome evolution. Nature, 447. 714–719.
- Kim, S. – Misra, A. (2007): SNP genotyping: technologies and biomedical applications. Ann. Rev. Biomed. Eng., 9. 289-320.
- Kircher, M. – Kelso, J. (2010): High-throughput DNA sequencing: concepts and limitations. Bioessays, 32. 524-536.
- Krogdahl, A. – Bakke-McKellep, A. M. – Baevefjord, G. (2003): Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquac. Nutr., 9. 361-371.
- Krogdahl, A. – Bakke A. M. (2015): Antinutrients in C.S. Lee, C. Lim, D.M. Gatlin III, C.D. Webster (Eds.), Dietary Nutrients, Additives and Fish Health, Wiley-Blackwell, Hoboken (NJ, USA), 211-235.
- Kumaresan, V. – Pasupuleti, M. – Paray, B. A. – Al-Sadoon, M. K. – Arockiaraj, J. (2019): Gene profiling of antimicrobial peptides, complement factors and MHC molecules from the skin transcriptome of *Channa striatus* and its expression pattern during *Aeromonas hydrophila* infection. Fish Shellfish Immunol., 84. 48-55.
- Kuroda, N. – Wada, H. – Naruse, K. – Simada, A. – Shima, A. – Sasaki, M. – Nonaka, M. (1996): Molecular cloning and linkage analysis of the Japanese medaka fish complement Bf/C2 gene. Immunogenetics, 44. 459-467.
- LaFramboise, T. (2009): Single nucleotide polymorphism arrays: a decade of biological, computational and technological advances. Nucleic Acids Res., 37. 4181-4193
- Lander, E. S. (1996): The new genomics: Global views of biology. Science, 274. 536-539.
- Lander, E. S. – Linton, L. M. – Birren, B. – Nusbaum, C. – Zody, M. C. – Baldwin, J. (2001): Initial sequencing and analysis of the human genome. Nature, 409. 860-921.
- Lindblad-Toh, K. – Wade, C. M. – Mikkelsen, T. S. – Karlsson, E. K. – Jaffe, D. B. – Kamal, M. – Clamp, M. – Chang, J. L. – Kulbokas, E. J. – Zody, M. C. – Mauceli, E. (2005): Genome sequence, comparative analysis and haplotype structure of the domestic dog. Nature, 438. 803-819.
- Llewellyn, M. S. – Boutin, S. – Hoseinifar, S. H. – Derome, N. (2014): Teleost microbiomes: the state of the art in their characterization, manipulation and importance in aquaculture and fisheries. Front. Microbiol., 5. Art 207.
- Lokman, P. M. – Symonds, J. E. (2014): Molecular and biochemical tricks of the research trade: -omics approaches in finfish aquaculture, New Zealand J. Mar. Freshw. Res., 48. 492-505.
- Magadan, S. – Sunyer, O.J. – Boudinot, P. (2015): Unique features of fish immune repertoires: Particularities of adaptive immunity within the largest group of vertebrates. Results Probl. Cell. Differ., 57. 235-264.
- Malmstrom, M. – Matschiner, M. – Tørresen, O. K. – Star, B. – Snipen, L. – Hansen, T. F. – Baalsrud, H. T. – Nederbragt, A. J. – Hanel, R. – Salzburger, W. (2016): Evolution of the immune system influences speciation rates in teleost fishes. Nat. Genet., 48. 1204-1210.

- Martínez-Porchas, M. – Vargas-Albores, F. (2017): Microbial metagenomics in aquaculture: a potential tool for a deeper insight into the activity. *Rev. Aquacult.*, 9. 42-56.
- Meuwissen, T. H.- Hayes, B. J. – Goddard, M. E. (2001): Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*, 157. 1819-1829.
- Meyer, A. – Van de Peer, Y. (2005): From 2R to 3R: evidence for a fish-specific genome duplication (FSGD). *BioEssays*, 27. 937-945.
- Midtlyng, P. J. – Grave, K. – Horsberg, T. E. (2011): What has been done to minimize the use of antibacterial and antiparasitic drugs in Norwegian aquaculture? *Aquacult. Res.*, 42. 28-34.
- Moen, T. – Baranski, M. – Sonesson, A. K. – Kjøglum, S. (2009): Confirmation and fine-mapping of a major QTL for resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*): population-level associations between markers and trait. *BMC Genomics*, 10. 368.
- Moen, T. – Torgersen, J. – Santi, N. – Davidson, W. S. – Baranski, M. – Ødegård, J. – Kjøglum, S. – Velle, B. – Kent, M. – Lubieniecki, K. P. (2015): Epithelial cadherin determines resistance to infectious pancreatic necrosis virus in Atlantic salmon. *Genetics*, 200. 1313-1326.
- Ngoh, S. Y. – Tan, D. – Shen, X. – Kathiresan, P. – Jiang, J. – Liew, W. C. – Thevasagayam, N. M. – Kwan, H. Y. – Saju, J. M. – Prakki, S. R. S. (2015): Nutrigenomic and nutritional analyses reveal the effects of pelleted feeds on Asian seabass (*Lates calcarifer*). *PLoS ONE*, 10. e0145456.
- Novik, K. L. – Nimrich, I. – Genc, B. – Maier, S. – Piepenbrock, C. – Olek, A. – Beck, S. (2002): Epigenomics: genome-wide study of methylation phenomena. *Curr. Issues Mol. Biol.*, 4. 111-128.
- Palaikostas, C. – Cariou, S. – Bestin, A. – Bruant, J. S. – Haffray, P. – Morin, T. – Cabon, J. – Allal, F. – Vandeputte, M. – Houston, R. D. (2018): Genome-wide association and genomic prediction of resistance to viral nervous necrosis in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) using RAD sequencing. *Genet. Sel. Evol.*, 50. 30.
- Peterson, B. K. – Weber, J. N. – Kay, E. H. – Fisher, H. S. – Hoekstra, H. E. (2012) Double digest RADseq: an inexpensive method for de novo SNP discovery and genotyping in model and non-model species. *PLoS ONE*, 7. e37135.
- Raposo de Magalhães, C. S. F. – Cerqueira, M. A. C. – Schrama, D. – Moreira, M. J. V. – Boonanuntanasarn, S. – Rodrigues, P. M. L. (2018): A proteomics and other omics approach in the context of farmed fish welfare and biomarker discovery. *Rev. Aquacult.*, 12. 122-144.
- Robledo, D. – Palaikostas, C. – Bargelloni, L. – Martínez, P. – Houston, R. (2018): Applications of genotyping by sequencing in aquaculture breeding and genetics. *Rev. Aquacult.*, 10. 670-682.
- Rollo, A. – Sulpizio, R. – Nardi, M. – Silvi, S. – Orpianesi, C. – Caggiano, M. – Cresci, A. – Carnevali, O. (2006): Live microbial feed supplement in aquaculture for improvement of stress tolerance. *Fish Physiol. Biochem.*, 32. 167e77.
- Samuelsson, L. M. – Larsson, J. D. G. (2008): Contributions from metabolomics to fish research. *Rev. Mol. Biosyst.*, 4. 974-979.
- Sandve, S.R. – Rohlfs, R.V. – Hvidsten, T.R. (2018): Subfunctionalization versus neofunctionalization after whole-genome duplication. *Nat. Genet.*, 50. 908-909.
- Shen, Y. – Wang, D. – Zhao, J. – Chen, X. (2018): Fish red blood cells express immune genes and responses. *Aquacult. Fish.*, 3. 14-21.
- Shi, M. – Huang, R. – Du, F. – Pei, Y. – Liao, L. – Zhu, Z. – Wang, Y. (2014): RNA-seq profiles from grass carp tissues after reovirus (GCRV) infection based on singular and modular enrichment analyses. *Mol Immunol.*, 61. 44-45.
- Sudhagar, A – Kumar, G. – El-Matbouli, M. (2018): Transcriptome analysis based on RNA-Seq in understanding pathogenic mechanisms of diseases and the immune system of fish: A comprehensive review. *Int. J. Mol. Sci.*, 19. 245.
- Skugor, S. – Jodaa Holm, H. – Bjelland, A. K. – Pino, J. – Krasnov, A. – Evensen, Ø. – Wadsworth, S. (2016): Nutrigenomic effects of glucosinolates on liver, muscle and distal kidney in parasite-free and salmon louse infected Atlantic salmon. *Parasit. Vectors*, 9. 639.
- Snieszko, S. F. (1974): The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *J. Fish Biol.*, 6. 197-208.

- Star, B – Nederbragt, A. J. – Jentoft, S. –, Grimholt, U – Malmstrøm, M. – Gregers, T. F. – Rounge, T. B. – Paulsen, J. – Solbakken, M. H. – Sharma, A. (2011): The genome sequence of Atlantic cod reveals a unique immune system. *Nature*, 477(7363). 207-210.
- Teletchea, F. (2018): Fish Domestication: An Overview. A book chapter in *Animal Domestication* (Ed.: Teletchea, F.) IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.79628.
- Venter, J. C. – Adams, M. D. – Myers, E. W. – Li, P. W. – Mural, R. J. – Sutton, G. G. – Smith, H. O. – Yandell, M. – Evans, C. A. – Holt, R. A. (2001): The sequence of the human genome. *Science*, 291. 1304-1351.
- Vij, S. – Kuhl, H. – Kuznetsova, I. S. – Komissarov, A. – Yurchenko, A. A. – Van Heusden, P. – Singh, S. – Thevasagayam, N. M. – Prakki, S. R. S. – Purushothaman, K. – Saju, J. M. (2016): Chromosomal-level assembly of the Asian seabass genome using long sequence reads and multi-layered scaffolding. *PLoS Genet.*, 12. e1005954.
- Wakchaure, R. – Ganguly, S. – Praveen P.K. – Kumar A. – Sharma S. – Mahajan, T. (2015): Marker assisted selection (MAS) in animal breeding: A review. *J. Drug. Metab. Toxicol.*, 6. e127.
- Wang, L. – Liu, P. – Huang, S. – Ye, B. – Chua, E. – Wan, Z. J. – Yue, G. H. (2017): Genome-wide association study identifies loci associated with resistance to viral nervous necrosis disease in Asian seabass. *Mar. Biotechnol.*, 19. 255–265.
- Waterston, R. H. – Lindblad-Toh, K. – Birney, E. – Rogers, J. – Abril, J. F. – Agarwal, P. – Agarwala, R. – Ainscough, R. – Alexandersson, M. – An, P. (2002): Initial sequencing and comparative analysis of the mouse genome. *Nature*, 420. 520-562.
- Wittbrodt, J. – Meyer, A. – Schartl, M. (1998): More genes in fish? *BioEssays*, 20. 511-515.
- Wolf, J. B. W. (2013): Principles of transcriptome analysis and gene expression quantification: an RNA-seq tutorial. *Mol. Ecol. Resour.*, 13. 559-572.
- Wooley, J. C. – Godzik, A. – Friedberg, I. (2010): A primer on metagenomics. *PLoS Comput. Biol.*, 6. e1000667.
- Wu, N. – Song, Y. L. – Wang, B. – Zhang, X. Y. – Zhang, X. J. – Wang, Y. L. – Cheng, Y. Y. – Chen, D. D. – Xia, X. Q. – Lu, Y. S. (2016): Fish gut-liver immunity during homeostasis or inflammation revealed by integrative transcriptome and proteome studies. *Sci. Rep.*, 6. 36048.
- Würschum, T. (2012): Mapping QTL for agronomic traits in breeding populations. *Theor. Appl. Genet.*, 125. 201–210.
- Xia, J. H. – Bai, Z. – Meng, Z. – Meng, Z. – Zhang, Y. – Wang, L. – Liu, F. – Jing, W. – Wan, Z. J. – Li, J. (2015): Signatures of selection in tilapia revealed by whole genome resequencing. *Sci. Rep.*, 5. 14168.
- Xu, J. (2006): Microbial ecology in the age of genomics and metagenomics: concepts, tools, and recent advances. *Mol. Ecol.*, 15. 1713-1731.
- Yang, D. – Liu, Q. – Yang, M. – Wu, H. – Wang, Q. – Xiao, J. – Zhang, Y. (2012): RNA-seq liver transcriptome analysis reveals an activated MHC-I pathway and an inhibited MHC-II pathway at the early stage of vaccine immunization in zebrafish. *BMC Genomics.*, 13. 319.
- Zhao, H. – Li, C. – Beck, B. H. – Zhang, R. – Thongda, W. – Davis, D. A. – Peatman, E. (2015): Impact of feed additives on surface mucosal health and columnaris susceptibility in channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *Fish. Shellfish Immunol.*, 46. 624-637.
- Zhou, Q. – Chen, Y. D. – Lu, S. – Liu, Y. (2020): Development of a 50K SNP array for Japanese flounder and its application in genomic selection for disease resistance. *Engineering*, in press

Érkezett: 2020. szeptember

Szerzők címe: Orbán L. - Bognár A. - Szeverényi I.
Szent István Egyetem, Georgikon Campus, Állattudományi Tanszék
Élvonat Halgenomikai Kutatócsoport

Authors' address: Szent István University, Georgikon Campus, Department of Animal Sciences
Frontline Fish Genomics Research Group
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc u. 16.
orban.laszlo@szie.hu

Havasi M. - Szeverényi I.
Szent István Egyetem, Georgikon Campus, Állattudományi Tanszék
Állattan és Akvakultúra Csoport
Szent István University, Georgikon Campus, Department of Animal Sciences
Animal Science and Aquaculture Group
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc u. 16.

Varga L.
Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Biológiai tudományi Intézet
Genetika, Mikrobiológia és Biotechnológia Tanszék
Szent István University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences
Institute of Biological Sciences
Department of Genetics, Microbiology and Biotechnology
H-2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.
Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ
Haszonállat-génmegőrzési Intézet
National Centre for Biodiversity and Gene Conservation
Institute for Farm Animal Gene Conservation
H-2100 Gödöllő, Isaszegi út 200.

HORGÁSZVIZEINK PROBLÉMÁIRÓL TUDOMÁNYOSAN

FERINCZ ÁRPÁD - STASZNY ÁDÁM - WEIPERTH ANDRÁS - JUHÁSZ VERA - URBÁNYI
BÉLA - DÉRER ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A magyarországi halgazdálkodás szabályozása az elmúlt időszakban jelentős átalakuláson ment keresztül, melynek fő kedvezményezettje a horgásztársadalom. A természetes vizek halgazdálkodási jogának megszerzésével a horgászszervezetek új feladatokat is kaptak a vizek kezelése, halállományának fenntartása és védelme tekintetében. Jelen tanulmány fő célja, hogy azonosítsa és röviden bemutassa a horgászati célú halgazdálkodás azon aspektusait, melyek megoldandó feladatként, adott esetben konfliktusként jelentkeznek a halgazdálkodást végző horgászszervezetek és a hidrobiológiai, vízügyi, természetvédelmi szempontokat előtérbe helyező döntéshozók, illetve szakemberek számára. A tanulmány érinti (1) a szabályozási háttérrel, (2) a haltelepítéseket érintő kérdéseket, (3) az idegenhonos- és invazív fajok problémakörének sajátos szemléletmódját, (4) a természetvédelmi, halvédelmi és vízgazdálkodási konfliktusokat, (5) a horgászok által vízbe juttatott anyagok és a vízminőség kérdését, valamint (6) a kifogott hal potenciális élelmiszerbiztonsági kockázatát.

SUMMARY

Ferincz, Á. – Staszny, Á. – Weiperth, A. – Juhász, V. – Urbányi, B. – Dérer, I.: RECREATIONAL FISHERIES IN HUNGARY: ISSUES FROM SCIENTIFIC ASPECT

Regulations of Hungarian fisheries management and recreation fisheries have been changed significantly in the last decade. The beneficiaries of these changes are unequivocally the anglers. After acquiring the managing rights of natural waters in 2016, anglers associations get new duties and challenges in order to maintain and protect the fish assemblages. This study is aimed to identify and briefly assess the aspects of angling-aimed fisheries management, which may present lessons for fishery managers, stakeholders or conflicts with policy making hydrologists, hydrobiologists or natural conservation managers. The identified main topic areas are: (1) the inconsistencies of regulation background; (2) problems fish stocking; (3) problems caused by utilized non-indigenous and invasive species; (4) conflicts with nature conservation and water management; (5) potential effects of groundbaits and other products on water quality; (6) potential food security issues of caught fish.

BEVEZETÉS

A magyarországi halgazdálkodás az elmúlt évtizedben jelentős átalakuláson ment keresztül. A természetes vizek hasznosításának céljai és kezelési módszerei a kereskedelmi célú természetesvízi halászat 2016-os megszűntetése óta alapjaiban változtak meg: a vizek „gazdái” a horgászok lettek – általában az államot megillető halgazdálkodási jog kijelölés útján történő átengedésével a Magyar Országos Horgász Szövetség (MOHOSZ) a haszonbérelő az állami tulajdonú halgazdálkodási vízterületeken –, akik ezzel a nagy kiterjedésű vízfelület (összesen: 132 541 ha) mellé számos új feladattal és óriási felelősséggel lettek gazdagabbak. Természetes vizeinken kívül a horgászok régóta kezelnek változatos méretű mesterséges eredetű vízterületeket (víztározók, holtágak, öntözőtavak, bányatavak, csatornák), melyek jellemzően kapcsolatban állnak természetes vizeinkkel, így a rajtuk zajló tevékenység is hatással van ezek (ökológiai) állapotára.

A horgászvizek a halgazdálkodási hasznosításból eredő gazdasági érték mellett a legtöbb esetben természetvédelmi és/vagy ökológiai értéket is képviselnek. A jellemzően kis kiterjedésű (50 ha alatt), mesterséges eredetű víztestek táji léptékben (pl. részvízgyűjtő szint) gyakran nagyobb biodiverzitás fenntartó potenciállal rendelkeznek, mint az adott térrészen található természetes víztestek (Davies és *mtsai*, 2008). Ez a jelenség, illetve ennek tudományos háttere számos esetben konfliktust generál a halgazdálkodók, illetve a vízügyi- és természetvédelmi szakemberek között (Lewin és *mtsai*, 2006). Jelen munka elsődleges célja a fentiek alapján, hogy (1) azonosítsa a legfontosabb problémákat, illetve (2) leírja tudományos hátterüket.

A szabályozási háttér hiányossága: halgazdálkodási tervek megalapozása

Magyarországon a horgászati tevékenységet alapvetően a 2013. évi CII. törvény (a halgazdálkodásról és a hal védelméről), illetve az ehhez kapcsolódó végrehajtási rendelet (133/2013. (XII. 29.) VM rendelet) szabályozza. A jogszabály kimondja, hogy „a nyilvántartott halgazdálkodási vízterületeken a halgazdálkodásra jogosult a halállomány és élőhelyének megújulása érdekében érdekes az élőhelyre jellemző fajú évenkénti állománypótlás mellett oly módon gazdálkodni, hogy az élőhelynek megfelelő korú és méretű halállomány tartósan fennmaradjon.” Ennek érdekében 5 évre szóló halgazdálkodási tervet szükséges készíteni, melyet a területileg illetékes halgazdálkodási hatóság hagy jóvá, és jól definiáltan tartalmazza a jövőbeli hasznosítás (halgazdálkodás) keretrendszerét az adott vízre vonatkozóan. Ökológiai és természetvédelmi szempontból kiemelendő, hogy az idegenhonos, invazív halfajok visszaszorítására tervezett intézkedéseket is be kell mutatni.

A nemzetközi viszonylatban is korszerűnek mondható szabályozási oldal gyakorlati végrehajtásának legnagyobb hiányossága, hogy a tervezésnél mért és validált adatok hiányában nem veszi, pontosabban nem is veheti figyelembe az alapállapotot, mert jelenleg nem feltétel az adott horgászvíz halállományának, haltáplálék-szervezeteinek és vízminőségének együttes és komplex felmérése. A tudományos igényű mintavételek alapján gyűjtött adatok (vízminőség, haltáplálék szervezetek, halállomány, befolyó- és elfolyó vizek biotikus és abiotikus paramé-

terei) elemzése rávilágíthat olyan összefüggésekre, melyek alapjaiban határozzák meg a szükséges kezelési beavatkozások típusát. Véleményünk szerint a jövőben (a hasznosítási intenzitás szerinti fokozatos bevezetéssel) a halgazdálkodási tervnek részét kellene, hogy képezze a vízterület alapállapotának felmérése is, amelynek alapján kijelölhetők a konkrét kezelési célok is.

Milyen hal és honnan kerül a horgászvízbe: kérdések a haltelepítések körül

A halgazdálkodók egy jelentős része sajnos napjainkban is a haltelepítést tekinti az egyetlen és univerzális módszernek a horgászvízek halállományának fenntartására, ugyanakkor a telepítésre fordítható forrás limitáltsága miatt a telepítőanyag minősége gyakran háttérbe szorul. Annak ellenére, hogy a hatályos szabályozás előírja a folyamatba beépített állatorvosi kontrollt, ez a gyakorlatban sok esetben hiányzik, ami (1) gyenge kondíciójú, esetenként betegséget, parazitát hordozó halak telepítéséhez; (2) ha csökkenő mértékben is, de idegenhonos elemekkel (ezüstkárász (*Carassius gibelio*), razbóra (*Pseudorasbora parva*), amurgéb (*Perccottus glenii*), fekete törpeharcsa (*Ameiurus melas*)) kevert állomány betelepítéséhez vezet. A telepítőanyag közé keveredő idegenhonos fajok hatása rendszerint nem korlátozódik az adott horgászvízre, hanem a kapcsolt vízrendszeren (be- és kifolyók) keresztül tovább terjedve eljuthatnak olyan természetes élőhelyekre, ahol tevékenységükkel jelentős kárt képesek okozni. Erre kitűnő példa az amurgéb magyarországi terjedése. Az eredetileg távol-keleti elterjedésű faj 1997-ben jelent meg a Tisza-mellékén (Harka, 1998). Folyásirányban gyorsan terjedt, 2002-ben már Szerbiáig jutott (Gergely és Tucakov, 2003). Először 2008-ban, valószínűleg egy halszállítmánnyal került át a Dunántúlra (Erős és mtsai, 2008), ezen belül a Kis-Balaton vízgyűjtőre, amely az endemikus lápi póc (*Umbra krameri*) világszinten legnagyobb refúgium-területének tekinthető. Nem sokkal később, az előzőtől függetlenül, de hasonló módon a Dráva-vízgyűjtőre (Keleti-Gyöngyös) is megérkezett a faj (Takács és mtsai, 2015).

Mivel hazánk területének teljes egésze a Duna-vízgyűjtőhöz tartozik, ezért az országon belüli halszállítás ökológiai szempontból „veszélytelennek” tűnhet. Ez azonban – ahogy az amurgéb példája is illusztrálja – nem így van. Takács és mtsai 2017-es áttekintő munkájában megállapítja, hogy az ország teljes területén, 767 felmért mintavételi hely 79%-án előfordulnak idegenhonos halak. Az adatok rámutatnak arra is, hogy az idegenhonos fajok száma és tömegessége pozitív összefüggésben van a halastavak közelségével, így a gyakorlatban nagy a kockázata a véletlenszerű transzlokációnak az egyes részvízgyűjtők között, amely adott esetben hatékony problémakezelés (szelektív halászat, varszász stb.) esetén is folyamatosan biztosítja az utánpótlást. A helyzet javítása egyrészt a jelenleginél hatékonyabb ellenőrzéssel, másrészt a szállítmányok útjának rövidítésével lehetséges.

Az idegenhonos és invazív halak megítélése a horgászok körében

Az idegenhonos halak megítélése a horgászok körében elsősorban az adott faj „horgászati értékén” alapul, nem pedig az általuk jelentett ökológiai (és számos esetben gazdasági) kockázaton. A horgászok nagy többsége támogatná példá-

ul az amur nagymérvű telepítését, illetve szívesen zsákmányolja a faj egyedeit, mivel nagyra nő, a horgon intenzíven küzd. Ha figyelembe vesszük az ökológiai szempontokat is, a faj egyedeinek jelenléte különösen a természetes vizekben nem kívánatos, mivel a makrovegetáció fogyasztásával jelentős mértékben képes degradálni a metafitikus fajok (széles kárász *Carassius carassius*, lápi póc) élőhelyét, illetve elfogyasztja a védett növényfajokat (pl.: tündérrózsa *Nymphaea alba*) is. Ezzel ellentétben a kis testméretű törpeharcsa-fajok a legtöbb horgász számára csak bosszúságot jelentenek, így visszaszorításukban sok esetben aktívan részt is vesznek (pl. varsázással). Hazánk vizeit tekintve a legmagasabb ökológiai kockázattal és a leginkább széles elterjedéssel jellemezhető idegenhonos faj az ezüstkárász (*Takács és mtsai, 2017; Ferincz és mtsai, 2016*). Intenzív terjedése hazánkban az 1960-as '70-es évekre datálható, melyben a horgászoknak is jelentős szerepe volt. Mivel szinte mindig jól és gyakran tömegesen fogható, egyes vizeken akár 1,5 kg-os testtömeget is elér, a horgászok kedvelik és egészen a telepítését tiltó jogszabály 2013-as életbe lépéséig telepítették is. Ennek másik oka lehet, hogy az ezüstkárász ára mintegy fele volt a keszgefélékének. Egy speciális anyagcsereútnak köszönhetően (*Lutz és Nillson, 1994*) oxigénhiánytűrése kiemelkedő, így jól bírja a szállítást, ezért fiatalabb példányait előszeretettel alkalmazzák csalihalként. A horgászathoz fel nem használt egyedeket szándékosan vagy véletlenül szabadon engedve akár egy-két egyed is képes lehet újabb populáció alapítására, mivel egyes élőhelyeken napjainkban is megtalálhatóak ginogenetikus szaporodásmódú állományai (*Beukeboom és Vrijenhoek, 1998*). Ezen szaporodásmód esetén a triploid ezüstkárász ikrás bármely csapatosan ívó pontyféle tejesével összeívva képes ikrás ezüstkárászok újabb generációját létrehozni, így pedig dinamikusan növelni az új populáció méretét (*Ferincz és mtsai, 2016*). Meglátásunk szerint a horgásztársadalom szemléletformálása az idegenhonos fajok problematikája tekintetében következetes módon fejlesztendő, kiemelt feladat mind a tudományos közösség, mind pedig a horgászvezetők számára.

A nagy halak védelme – a „catch and release” megítélése

A „Catch and Release” vagyis a „fogd meg és engedd vissza” (C&R) horgászat lényege, hogy a halat megakasztása, majd partra segítése után szabadon engedik. A C&R horgászat elvének alapja, hogy a horgászat minden izgalma átélhető anélkül, hogy a hal elpusztuljon, ezáltal világszerte széles körben alkalmazzák a halgazdálkodók, mint az adott faj populációjának szempontjából „kíméletes” kezelési módszert (*Pollock és mtsai, 2007*). A feltételezések szerint így a horgászatból, valamint turizmusból származó bevételek megtartása, sőt fokozása mellett minimalizálható a halállományra ható horgászati nyomás. Fontos szerepet tölthet be népszerű, de sérülékeny állományokkal rendelkező fajok védelmében, a halpopulációk méret-struktúrájának, növekedési ütemének fejlesztésére, anélkül, hogy teljes fogási tilalmat kellene bevezetni (*Arlinghaus és mtsai, 2007; Greg és mtsai, 2020*). Ez a vélemény napjainkra népszerű és elterjedt a horgászok, a döntéshozók, a vízkezelők, sőt a tudományos kutatók körében is, azonban a gyakorlat és az elvégzett vizsgálatok azt mutatják, hogy a fajspecifikus és denzitás-függő folyamatok, illetve a környezeti variabilitás meggátolhatja ezen

célok elérését (Gilbert és Sass, 2016; Pedersen és mtsai, 2018). Míg például a ponty (*Cyprinus carpio*) esetében a megfogás és a hozzá kapcsolódó, a legtöbb esetben kíméletes procedúra (rövid tárolás, gyors fényképezés stb.) nem jelent hosszabb távú, egyedi szintű károsodást (Raat, 1985; Rapp és mtsai, 2012), addig a süllő esetében már minimálisan, de megnövekedett mortalitásról számol be a szakirodalom (Arlinghaus és Hallermann, 2007).

A C&R szemléletű horgászat térnyerése Magyarországon vitathatatlan és üdvözlendő, ugyanakkor ez a kezelési módszer sem „csodafegyver”. Ahhoz, hogy jól működjön az adott vízterületen, előzetes vizsgálatok és modellszámítások szükségesek (Post és mtsai, 2003; Arlinghaus és mtsai, 2007).

Konfliktusok a halgazdálkodásra jogosultak, a vízügy és a természetvédelem között

A halgazdálkodási vízterületek elsődleges funkciója, hasznosítása gyakran nem a halgazdálkodási tevékenység. A legtöbb horgászkezelésű víztározó elsődlegesen ivóvízkészlet, ipari/technológiai víz, öntözővíz tározására, vagy árvízvédelmi célokra létesült, a vízkormányzást pedig a területileg illetékes vízügyi igazgatóságok végzik az üzemrendben foglaltaknak megfelelően. A szabályozási beavatkozások, illetve ezek időpontjai (pl. jelentős vízszintcsökkentés ívási időszakban; haltartó helyek teljes eltávolítása a vízfolyás medréből és a partról is) gyakorta generálnak konfliktust az érintett szervezetek között és hidroökológiai szempontból is nehezen érthető. Ezen probléma megoldása véleményünk szerint elsősorban az „emberi tényező”, a kompromisszumkészségen alapul. Hisszük, hogy szakmailag jól alátámasztott érveléssel a jelenlegi gyakorlaton sok helyütt javítani lehet.

A természetvédelem és a horgászvízkezelők közti fő konfliktusforrás a védett fajok (pl. kárókatona *Phalacrocorax* sp., vidra *Lutra lutra*) halfogyasztása. A kis- és nagy kárókatona (*Phalacrocorax pygmaeus* és *P. carbo sinensis*) – főként az utóbbi – 1970-es években kezdődő visszatelepülése a magyarországi természetvédelem egyik sikertörténete volt. A hazai és európai állomány erőteljes növekedése azonban konfliktust generált a természetvédelmi törekvések és a halgazdálkodók között. A magyarországi állományt tekintve 2001-ben 3285 volt a költő párok maximális száma, amely 2013-ra 2500-ra csökkent (Szinai, 2005), köszönhetően a hatékony gyérítésnek. Az, hogy a halgazdálkodók nem érzékelik a kártétel csökkenését, elsősorban még csak nem is a nyugati-palearktikus területek kormoránállományának trendjével magyarázható – hiszen ez is csökkenő trendet mutat (Bregnballe és mtsai, 2014) – hanem a klímaváltozással. A hazánkban egyre inkább enyhévé váló teleken tavaink és folyóink nem, vagy rövidebb időre fagynak be, így a vermelő, szűkebb térrészen összegyűlő halakat a nagyobb csapatokban kóborló kormoránok sajnálatos módon nagy mennyiségben fogyasztják. Ezen probléma megoldása véleményünk szerint túlmutat a hazai halgazdálkodókon és természetvédelmi szakembereken.

Az etetés potenciális hatása a vízminőségre

A pontyfélék horgászatának egyik alapvető módszertani sajátossága az etetés, melynek célja, hogy a halakat a horgon felkínált csali közelébe vonzzák. Az

etetésre szánt anyagok rendszerint tápanyagdúsak, alapvetően szemestakarmányból (búza, kukorica, tigrismogyoró), illetve ezek őrleményeiből, hallisztból és aromákból állnak. A felhasznált mennyiséget tekintve pontos adatokkal nem rendelkezünk, mivel nehezen becsülhető: az egy főre jutó, horgászatónként felhasznált mennyiség jellemzően 0-15 kg között változhat. Ellentmondásos információkkal rendelkezünk az etetéssel bejuttatott és a halak által el nem fogyasztott (illetve elfogyasztott, de a vízbe visszaürített) tápanyagok vízminőségre gyakorolt hatásáról. Több korábbi vizsgálat (*Wolos és mtsai*, 1992; *Niesar és mtsai*, 2004; *Arlinghaus és Niesar*, 2005) szerint az etetés miatt trofikus állapot alakul ki, vagy éppen kedvezőtlenül változik a makroszkopikus gerinctelen fauna. Egy Portugáliában, a Maranhão-víztározón végzett, modell alapú vizsgálat viszont azt mutatta, hogy az etetésnek, amennyiben 5-10 kg/horgászat mennyiséget nem lép túl, nincs érdemi hatása a vízminőségre (*Amaral és mtsai*, 2013). Megjegyzendő továbbá, hogy egy a Döllnsee-n (Németország) végzett kísérlet eredményei alapján az etetés ugyan nem befolyásolja jelentősen a tó szénháztartását, viszont az omnivor pontyfelék táplálkozási és viselkedési szokásait jelentősen módosítja, ami indirekt módon további hatással lehet a vízminőségre (*Mehner és mtsai*, 2019). Ezen kérdéskörnek a hazai viszonyokra vonatkozó vizsgálata ezidáig nem történt meg, azonban a folyamatos és jelentős horgászlétszám növekedésével szükség van a helyzet tisztázására.

A horgászvízből kifogott hal lehetséges élelmiszerbiztonsági kockázata

Az analitikai módszerek fejlődésével egyre pontosabb képet kapunk a felszíni vizek antropogén eredetű mikroszennyező (gyógyszerhatóanyag-maradvány, peszticid, stb.) terheléséről (*Maász és mtsai*, 2019; *Kondor és mtsai*, 2020). Ezen vizsgálatok eredményei felhívják a figyelmet arra, hogy a vízi élőlények, így a halak is folyamatosan ki vannak téve ezen bioaktív anyagok potenciális hatásának. A közvetlenül, az adott halegyed élettani folyamataira kifejtett hatásokon (*Tribskorn és mtsai*, 2017; *Zhou és mtsai*, 2019) kívül lehetséges a mikroszennyezők akkumulációja is, amely a hal emberi fogyasztása esetén élelmiszerbiztonsági kockázatot is rejthet. A tógazdaságban termelt ponty (piaci méret: 3 nyaras, 2-3 kg) esetében a közelmúltban készült vizsgálat nem állapított meg releváns élelmiszerbiztonsági kockázatot (*Micsinai*, 2019), azonban a természetes vizek esetén a potenciális kitétség, illetve a horgászok által feldolgozásra kerülő halak korstruktúrája és táplálkozásmódja jelentősen eltér a vizsgálatban szereplő értékektől. A horgászok által fogott halak potenciális élelmiszerbiztonsági kockázatának megítéléséhez további multiplex, több vízterület, több halfajának több korosztályát érintő vizsgálatra van szükség.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzői kollektívát támogatták az NKFIH-831-10/2019 és az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-0000 projektek.

IRODALOMJEGYZÉK

- Amaral, S. D. - Brito, D. - Ferreira, M. T. - Neves, R. - Franco, A. (2013): Modeling water quality in reservoirs used for angling competition: Can groundbait contribute to eutrophication? *Lake Reservoir. Manage.*, 29. 257-269.
- Arlinghaus, R. - Niesar, M. (2005): Nutrient digestibility of angling baits for carp, *Cyprinus carpio*, with implications for groundbait formulation and eutrophication control. *Fish. Manage. Ecol.*, 12. 91-97.
- Arlinghaus, R. - Cooke, S. J. - Lyman, J. - Policansky, D. - Schwab, A. - Suski, C. - Thorstad, E. B. (2007): Understanding the complexity of catch-and-release in recreational fishing: an integrative synthesis of global knowledge from historical, ethical, social, and biological perspectives. *Rev. Fish. Sci.*, 15. 75-167.
- Arlinghaus, R. - Hallermann, J. (2007): Effects of air exposure on mortality and growth of undersized pikeperch, *Sander lucioperca*, at low water temperatures with implications for catch-and-release fishing. *Fish. Manage. Ecol.*, 14. 155-160.
- Beukeboom, L. W. - Vrijenhoek, R. C. (1998): Evolutionary genetics and ecology of sperm-dependent parthenogenesis. *J. Evol. Biol.*, 11. 755-782.
- Bregnballe, T. - Lynch, J. - Parz-Gollner, R. - Volponi, S. - Marion, L. - Paquet, J.-Y. - van Eerden, M. R. - Carss, D. N. (2014): Status of the breeding population of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* in the Western Palearctic in 2012. – In: Bregnballe, T. - Lynch, J. - Parz-Gollner, R. - Marion, L. - Volponi, S. - Paquet, J.-Y. - Carss, D.N. - van Eerden, M.R. (eds.): Breeding numbers of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* in the Western Palearctic, 2012-2013. – IUCN-Wetlands International Cormorant Research Group Report. Scientific report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University. No. 99: 13-58. <http://dce2.au.dk/pub/SR99.pdf>
- Davies, B. R. - Biggs, J. - Williams, P. - Whitfield, M. - Nicolet, P. - Bray, S - Maund, S. (2008): Comparative biodiversity of aquatic habitats in the European agricultural landscape. *Agriculture Ecosyst. Environ.*, 125. 1-8.
- Erős, T. - Takács, P. - Sály, P. - Specziár, A. - György, Á. I. - Bíró, P. (2008): Az amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) megjelenése a Balaton vízgyűjtőjén. *Halászat*, 101. 75-77.
- Ferincz, Á. - Horváth, Zs. - Staszny, Á. - Ács, A. - Kováts, N. - Vad, Cs. F. - Csaba, J. - Sütő, Sz. - Paulovits, G. (2016): Desiccation frequency drives local invasions of non-native gibel carp (*Carassius gibelio*) in the catchment of a large, shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Fish. Res.*, 173. 37-44.
- Ferincz, Á. - Staszny, Á. - Takács, P. - Urbányi, B. - Vilizzi, L. - Paulovits, G. - Copp, G. H. (2016): Risk assessment of non-native fishes in the catchment of the largest Central-European shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia*, 780. 85-97.
- Gergely, J. - Tucakov, M. (2003): Az amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) első előfordulása a Vajdaságban. *Halászat*, 96. 158-160.
- Gilbert, S. J. - Sass, G. G. (2016): Trends in a northern Wisconsin muskellunge fishery: results from a county-wide angling contest, 1964–2010. *Fish Manage. Ecol.* 23. 172–176.
- Greg, G. - Sass, S. - Shaw, L. (2020): Catch-and-release influences on inland recreational fisheries. *Rev. Fish. Sci. Aquacult.*, 28. 211-227.
- Harka, Á. (1998): Magyarország faunájának új halfaja: az amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). *Halászat*, 91. 32-33.
- Kondor, A. Cs. - Jakab, G. - Vancsik, A. - Filep, T. - Szeberényi, J. - Szabó, L. - Maász, G. - Ferincz, Á. - Dobosy, P. - Szalai, Z. (2020): Occurrence of pharmaceuticals in the Danube and drinking water wells: efficiency of riverbank filtration. *Env. Poll.*, 265. Paper: 114893.

- Lewin, W. C. - Arlinghaus, R. - Mehner, T. (2006): Documented and potential biological impacts of recreational fishing: Insights for management and conservation. *Rev. Fish Sci.*, 14. 305–367.
- Lutz, P. L. - Nilsson, G. E. (1994): The brain without oxygen, causes of failure and mechanisms for survival. Austin: R.G. Landes Company. USA.
- Maasz, G. - Mayer, M. - Zrinyi, Z. - Molnár, E. - Kuzma, M. - Fodor, I. - Pirger, Zs. - Takács, P. (2019): Spatiotemporal variations of pharmacologically active compounds in surface waters of a summer holiday destination. *Sci. Total Environ.*, 677. 545-555.
- Mehner, T. - Rapp, T. - Monk, C. T. - Beck, M. E. - Trudeau, A. - Kiljunen, M. - Hilt, S. - Arlinghaus, R. (2019): Feeding aquatic ecosystems: Whole-lake experimental addition of angler's ground bait strongly affects omnivorous fish despite low contribution to lake carbon budget. *Ecosystems*, 22. 346-362.
- Micsinai, A. (2019): A happyfish projekt élelmiszerbiztonsági eredményei, https://hu.wessling-group.com/fileadmin/user_upload/wessling_hu/Egyeb/ HappyFish/05_HappyFish_Zaro_Konferencia_20191003_A_HappyFish_projekt_elelmiszer-biztonsagi_eredmenyei.pdf
- Niesar, M. - Arlinghaus, R. - Rennert, B. - Mehner, T. (2004): Coupling insights from a carp, *Cyprinus carpio*, angler survey with feeding experiments to evaluate composition, quality and phosphorus input of groundbait in coarse fishing. *Fish. Manag and Ecol.*, 11. 225–235.
- Pedersen, E. J. - Goto, D. - Gaeta, J. W. - Hansen, G. J. A. - Sass, G. G. - Vander Zanden, M. J. - Cichosz, T. A. - Rypel, A. L. (2018): Longterm growth trends in northern Wisconsin walleye populations under changing biotic and abiotic conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 75. 733–745.
- Pollock, K. H. - Pine, W. E. (2007): The design and analysis of field studies to estimate 'catch and release' mortality. *Fish. Manage. Ecol.*, 14. 123-130.
- Post, J. R. - Mushens, C. - Paul, A. - Sullivan, M. (2003): Assessment of alternative harvest regulations for sustaining recreational fisheries: model development and application to bull trout. *N. Am. J. Fish. Manage.*, 23. 22–34.
- Raat, A. J. P. (1985): Analysis of angling vulnerability of common carp, *Cyprinus carpio* L., in catch-and-release angling in ponds. *Aquacult. Fish. Manage.*, 16. 171–187.
- Rapp, T. - Hallermann, J. - Cooke, S. J. - Hetz, S. K. - Wuertz, S. - Arlinghaus, R. (2012): Physiological and behavioural consequences of capture and retention in carp sacks on common carp (*Cyprinus carpio* L.), with implications for catch-and-release recreational fishing. *Fish. Res.*, 125–126. 57-68.
- Szinai, P. (2014): Status of the breeding population of Great Cormorants in Hungary in 2013. – In: IUCN-Wetlands International Cormorant Research Group Report. Scientific report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Eds.: Bregnballe, T. - Lynch, J. - Parz-Gollner, R. - Marion, L. - Volponi, S. - Paquet, J. Y. - van Eerden, M. R., Aarhus University, Denmark, <http://dce2.au.dk/pub/SR99.pdf>
- Takács, P. - Czeglédi, I. - Ferincz, Á. (2015): Amurgéb (*Perccottus glenii*) a Dráva vízgyűjtőjéről. *Halászat*, 108. 15.
- Takács, P. - Czeglédi, I. - Ferincz, Á. - Sály, P. - Specziár, - A. - Vitál, Z. - Weiperth, A. - Erős, T. (2017): Non-native fish species Hungarian waters: historical overview, potential sources and recent trends in their distribution. *Hydrobiologia*, 795. 1-22.
- Triebtskorn, R. - Casper, H. - Scheil, V. - Schwaiger, J. (2017): Ultrastructural effects of pharmaceuticals (carbamazepine, clofibrac acid, metoprolol, diclofenac) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and common carp (*Cyprinus carpio*). *Anal. Bioanal. Chem.*, 387. 1405–1416.
- Wolos, A. - Teodorowicz, M. - Grabowska, K. (1992): Effect of groundbaiting on anglers' catches and nutrient budget of water bodies as exemplified by Polish lakes. *Aquacult. Fish. Manage.*, 23. 499–509.
- Zhou, S. - Chen, Q. - Di Paolo, C. - Shao, Y. - Hollert, H. - Seiler, T. B. (2019): Behavioral profile alterations in zebrafish larvae exposed to environmentally relevant concentrations of eight priority pharmaceuticals. *Sci. Total Environ.*, 664. 89-98.

Szerzők címe: Ferincz Á. - Staszny Á. - Weiperth A. - Juhász V. - Urbányi B.
Szent István Egyetem, Gödöllői Campus

Authors' address: Szent István University, Gödöllő Campus
H-2100 Gödöllő, Péter Károly u. 1.
urbanyi.bela@szie.hu

Déjer I.

Magyar Országos Horgász Szövetség
National Federation of Hungarian Anglers
H-1124 Budapest, Korompai u. 17.

BOLDOG HALAK ÉS BOLDOG FOGYASZTÓK? - AVAGY A HAPPYFISH PROJEKT ÖSSZEFOGLALÓ EREDMÉNYEI

URBÁNYI BÉLA - KRISZT BALÁZS - SZOBOSZLAY SÁNDOR - KASZAB EDIT -
HÁHN JUDIT - BERNÁTH GERGELY - CSENKI-BAKOS ZSOLT - CZIMMERER ZSOLT -
BOCK ILLÉS - JÓNÁS GÁBOR - FRIEDRICH LÁSZLÓ - KASZA GYULA -
CSENKI ESZTER - IZSÓ TEKLA - PALOTÁS PÉTER - RÁKÓCZI KATALIN -
NYÍRŐ-FEKETE BRIGITTA - MICSINAI ADRIENN - ZANATHY LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Európai Unió tagországainak lakossága által elfogyasztott akvakultúrából és halászatból származó termékek 60%-a import áru. E nagyfokú kereskedelmi kitettség csökkentése érdekében az EU Tengerügyi és Halászati biztosa 2010-ben kijelentette, hogy az import függőséget csökkenteni kell, melynek egyik alapja a tógazdasági, édesvízi haltenyésztés fejlesztése. A tógazdasági haltenyésztés központja a Közép-Kelet-Európai térség, tradicionálisan ez a gazdálkodási módszer termeli meg a térség akvakultúras termékeinek a 85%-át. Ahhoz, hogy kontrollált, biztonságos és jó minőségű haltermékeket állítson elő a szektor, két kritérium együttes teljesülésére van szükség:

- 1) ellenőrzött termelési és feldolgozási technológia kidolgozása;
- 2) olyan halászati termékek előállítása, melyek beltartalmi értéke minősített és lehetőség szerint standardizált.

Hazánkban a tógazdasági haltenyésztés földmedrű tavakban folyik. A tenyésztő minimális információval rendelkezik a tótalaj (iszap, üledék, termőtalaj) minőségéről és annak komplexitásáról, valamint a termelőközeg, a víz minőségi jellemzőiről. A megtermelt hal jelentős hányada (közel 85%-a) ponty, melynek húsmínősége (állaga, íze) nagymértékben a termelés technológiától, így a termelési alapok (tómeder és vízminőség) milyenségétől függ. Napjainkig nem volt olyan átfogó elemzés, mely tómeder-vízminőség-halhús relációban vizsgálta volna meg a termelés technológia elemeinek hatását a fogyasztó elé kerülő haltermékek vonatkozásában. A projekt lehetőséget nyújt ezen összefüggések feltárására, a termelés során érintett közegek szerves (peszticidek, gyógyszermaradványok) és szervetlen (As, Se, I) szennyezőinek megismerésére, kockázataik kivédésére. A halhús feldolgozási technológiájának (vágás, csomagolás) optimalizálásával, a késztermék tanúsításával (védjegy) olyan modellrendszer jönne létre, mely egyértelműen jelezne az áru élelmiszerbiztonsági követelményeknek való magas szintű megfelelését és kiváló beltartalmi értékét a fogyasztók felé.

SUMMARY

Urbányi, B. - Kriszt, B. - Szoboszlai, S. - Kaszab, E. - Háhn, J. - Bernáth, G. - Csenki-Bakos, Zs. - Czimmerer, Zs. - Bock, I. - Jónás, G. - Friedrich, L. - Kasza, Gy. - Csenki, E. - Izsó, T. - Palotás, P. - Rákóczi, K. - Nyíró-Fekete, B. - Micsinai, A. - Zanathy, L.: HAPPY FISH AND HAPPY CONSUMERS? - THE SUMMARY RESULTS OF THE HAPPY FISH PROJECT

60% of the fish products originating from aquacultures and fisheries and consumed by the population of European Union member states are imported goods. To reduce this high level of exposure, the Commissioner for Maritime Affairs and Fisheries declared in 2010 that import dependence should be reduced by the development of pond-based and freshwater aquacultures. The Central and Eastern European region is the traditional center of pond-based fish farming. This farming method produces 85% of the region's aquaculture products. To ensure the controlled, safe, and high-quality fish products of this sector, two conditions should meet:

- 1) the development of controlled production and processing technologies,
- 2) the production of fish products with a certified and, where it is possible, standardized nutritional value.

In Hungary, pond-based aquacultures are using earthen ponds. Fish farmers usually have

minimal information about the quality and the complexity of the bed (sludge, sediment, topsoil) or about the quality of water, the production medium. A significant proportion of the produced fish (almost 85%) is carp. The meat quality (texture, taste) of this species is strongly depending on the production technology, thus the quality of the production environment (earth and water quality). Until recently, there has been no comprehensive analysis to evaluate the impact of production technology elements in the context of lakebed - water quality - fish meat relationship to evaluate the effects of these parameters on final, consumed fish products. The Happy Fish project provides an opportunity to explore these relationships, to reveal the organic (pesticides, drug residues) and inorganic (As, Se, I) contaminants in the production media and to prevent their risks. By optimizing the fish meat processing technology (slaughtering, packaging), and certifying the final product (trademark), a model system would be created indicating the high level of compliance of the goods with food safety requirements and their excellent nutritional value for customers.

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Magyarországon a halhús-fogyasztás elmarad az európai átlagtól, míg hazánkban évente és fejenként mindössze 6, addig az Európai Unióban átlagosan 20 kilogrammnyi halat fogyasztanak. Ennek egyik oka az alacsony fogyasztói bizalom, hiszen számos más termékcsoporttal (zöldség-gyümölcs, sertés, baromfi) ellentétben, a magyar halhús minőségéről igen keveset tudunk. A vázolt probléma megoldására alakult a több hazai laboratóriumot, kutatóhelyet és egyéb szakmai partnereket tömörítő „HappyFish” kezdeményezés, amely a tótól az asztalig kísérté végig a haltermék minőségét befolyásoló tényezőket a hazai hálhús-fogyasztás növelése érdekében.

Az ökotoxikológia különböző vegyi anyagok ökoszisztémákra gyakorolt káros hatásainak mérésével foglalkozó tudományterület, melynek egyik alapvető célja, hogy meghatározza azokat az egyénekre gyakorolt hatásokat, melyek populáció szintjén is megjelennek (Walker, 2014). Az ökotoxikológia tárgyát a bioszférában előforduló vegyületek és ezeknek a bioszféra elemeire, köztük az emberre gyakorolt hatásai adják (Newman, 2015). Ökotoxikusnak számít minden olyan hatás és anyag a 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet szerint, amely „az élő szervezeteket, azok utódait vagy populációit közvetlenül vagy a táplálékláncon át, azonnal vagy meghatározott idő elteltével károsítja”. Az ökotoxikológiai vizsgálatokat általában az adott trofikus szint szempontjából leginkább reprezentatív fajok egyedein végzik ellenőrzött laboratóriumi körülmények között, mely során a vizsgált végpontok általában a növekedés, fejlődés, reprodukció és mortalitás, melyek mind olyan tényezők, amik befolyásolják az adott populáció méretét és egészségi állapotát (Robinson és Thorn, 2005). További mérési végpontok lehetnek a stressz-fehérvég megjelenései, enzimek aktivitásának változásai, a vizsgált egyedek mozgásképtelensége, vagy pusztulása, a vizsgált fajok kölcsönhatásai, stb. (Gruiz, 2001). Fontos kiemelni továbbá az elővigyázatosság elvét, ami azon a konzervatív megközelítésen alapul, hogy minden környezeti veszélyre úgy kell tekintenünk, még elegendő tudományos bizonyíték hiányában is, hogy az kárt okozhat az élővilágra nézve. Ezért ez az elv alapvető az ökotoxikológusok számára, hiszen kiemelt feladatuk olyan módszerek kidolgozása, melyek lehetővé teszik a toxikológiai ártalmak előrejelzését még bekövetkezésük előtt (Hoffman és mtsai, 2003). A tesztszervezetek kiválasztása során további fontos szempont az adott

ökológiai rendszerre nézve legérzékenyebb modellszervezet meghatározása és alkalmazása, mely lehetővé teszi a potenciális káros biológiai hatás legpontosabb kimutatását, kiegészítve a műszeres analitikai vizsgálatokat.

Ezek alapján a munkánk egyik célja az volt, hogy 7 magyarországi halastavi gazdaságban vett víz és üledékmintákat kémiai analitikai és ökotoxikológiai módszerekkel mikroszennyező anyagok jelenlétét vizsgáljunk és azok összegzett biológiai hatásait biológiai módszerekkel mérjük.

A miRNS-ek rövid, ~22 nukleotid hosszúságú, fehérjét nem kódoló, egyszálú RNS molekulák, melyek a génkifejeződés poszt-transzkripció szabályozásában vesznek részt a célpont mRNS-ek degradációjának kiváltásán, vagy a róluk történő fehérjeszintézis gátlásán keresztül (Bartel, 2004, Huntzinger és Izaurralde, 2011). Diagnosztikai és prognosztikai markerként történő felhasználási lehetőségeik feltérképezése az orvostudomány egy intenzíven kutatott területe (Ojha és mtsai, 2018, Fyfe, 2020). Számos irodalmi adat áll rendelkezésre arról, hogy több xenobiotikum képes egyes miRNS-ek kifejeződését befolyásolni különböző sejtes kultúrák rendszerében és modellszervezetekben (Schraml és mtsai, 2017). Annak ellenére, hogy a miRNS mintázatban bekövetkező változások már jóval korábban előrejelezhetik egy vegyület káros hatását, mint a patológiás tünetek, a toxikológiai biomarkerként történő alkalmazásukban rejlő lehetőségek jelenleg még kiaknázatlanok.

A tógazdasági pontyállományokat érintő toxikus stressz vizsgálata céljából a miRNS-ek toxikológiai és élelmezésbiztonsági biomarkerként történő alkalmazási lehetőségeit is tanulmányozni kívántuk a munka során ponty modellszervezeten toxikológiai és globális miRNS kifejeződési mintázat meghatározására alkalmas vizsgálmódszerek integrált alkalmazásával.

A tárolt ponty szélsőségesen gyorsan romló élelmiszer, melynek következtében a hűtött pontytermékek szavatossági ideje igen rövid (Gram és Huss, 1996). Óriási piaci igény mutatkozik a tárolhatóság javítására, melynek kulcskérdése a romlásban szerepet játszó mikroszervezetek minél hatékonyabb azonosítása, megismerése. A romlási folyamatok ugyanis az instabil kémiai összetétel mellett döntően a mikrobiális tevékenységnek tudhatók be (Sterniša és mtsai, 2016). A kifogás és lehalászás pillanatában az egészséges hal húsa szinte steril (Mahmoud és mtsai, 2004), a terméket szennyező mikroszervezetek elsősorban a bőr és a belsőségek mikrobiótájából, vagy a környezetből származnak. A szakirodalmi adatok alapján a kiindulási összes telepkepző egység szám (CFU – colony forming units) tekintetében nyers halnál elvárás a 10^6 CFU/g alatti érték (Odeyemi és mtsai, 2020). A tárolási paraméterek beállítása nagyban befolyásolja a formálódó, romlásban esetlegesen szerepet játszó mikrobaközösség számát és összetételét, ezáltal létfontosságú, hogy a tárolási folyamat kezdeti szakaszában minél jobban kontrolláljuk a mikrobiális növekedés folyamatát. A környezet-mikrobiológiai mérések a hazai halastavak mikrobiológiai állapotának feltárása mellett annak tisztázását tűzték ki célul, hogy megvizsgálják, milyen szerepet játszanak a halastavi mikrobiális ökoszisztéma képviselői a hűtve tárolt haltermék romlásának kezdeti, kritikus szakaszában. Ennek megvalósításához nyomon követtük egy választott halastavi gazdaságból származó haltermék teljes termékpályáját. Távlati célunk volt a pontytermék állapotának javítását célzó beavatkozások előkészítése, mely során tárolási kísérleteket állítottunk be a haltermék romlásában szerepet játszó mikroszervezetek számának és összetételének megállapítása érdekében.

Mivel az élő hal kezelése alapvetően meghatározza a halhús minőségét, ízét, állományát és technofunkcionális tulajdonságait, a halat érő kémiai és fizikai stresszhatások kedvezőtlen ízváltozáshoz és rendellenes húséresi folyamathoz vezethetnek. Az ilyen alapanyagból készült élelmiszerek negatív hatást fejthetnek ki a halételek megítélésére és fogyasztására egyaránt. Ennek szellemében a halastavi környezet és a feldolgozás egyes lépéseinek hatását is vizsgáltuk a halhús élelmiszerbiztonsági szempontból fontos paraméterei nézve.

A projekt egyik fontos eleme a hazai halfogyasztási szokások primer információinak megszerzése volt a fogyasztói kockázatok becslése céljából, hiszen az egy főre eső halhús-fogyasztás kívánatos növekedését (Popp és mtsai, 2018) célzó programok egyik alapfeltétele, hogy a fogyasztás növekedése ne okozzon egészségügyi kockázatot a társadalom számára. Annak érdekében tehát, hogy fényt derítsünk az említett kockázatokra a fogyasztáskutatási alapelveknek megfelelően három különböző területen végeztünk felméréseket a területet érintő élelmiszerbiztonsági tényezők és a különböző fogyasztói csoportok tekintetében.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mikroszennyező-terheltség és ökotoxikológiai állapotfelmérés

A 7 tógazdaságban vett 36-36 víz- és üledékminta kémiai analitikai vizsgálatát a Wessling Hungary Kft végezte. A mintákból általános vízkémiai paramétereket, oldott elemtartalmat, összes alifás szénhidrogént, benzolt és alkilbenzolokat (BTEX), poliaromás szénhidrogéneket (PAH), poliklórozott bifenileket (PCB), illékony halogénezett alifás szénhidrogéneket, klórbenzolt, nonil- és oktilfenolt, gyógyszer- és peszticidmaradványokat, ftalátokat, perfluorooktánsavat és perfluorooktán-szulfonátot mértek.

Az ökotoxikológiai vizsgálatok során vizsgáltuk az üledék és vízminták akut és krónikus citotoxicitását, valamint direkt hormonhatását. A tesztekhez az üledékmintákból vizes kivonatot készítettünk, majd a szuszpenziók centrifugálása után a felülúszót, valamint a vízmintákat 0,45 µm porúsátmérőjű szűrőn szűrtük.

A citotoxicitást a fénykibocsátás-csökkenésen alapuló *Aliivibrio fischeri* (AVF) teszttel mértük. Az akut citotoxikus hatás detektálására a 30 perces szabványos Microtox® tesztet alkalmaztuk Microtox® Model 500 Toxicity Analyzer System (Azur Environmental, Carlsbad, CA) segítségével. Tesztstruktúráként a Gram-negatív, pálcika alakú, fakultatív aerob biolumineszcens tengeri baktériumot, az *A. fischeri*-t használtuk (DSM 7151, NRRL B-11177). Az *A. fischeri* baktériumban a *luxCDABEG* gének felelősek a biolumineszcenciáért, amit a luciferáz enzim katalizál molekuláris oxigén, hosszú szénláncú alifás aldehidek, valamint redukált flavin-mononukleotidok (FMNH₂), mint szubsztrátok felhasználása során (Miyashiro és Ruby, 2012). A metabolikus energia konvertálás látható fény kibocsátásával jár, amennyiben tehát a normális metabolikus aktivitás sérül a baktériumban, a fénykibocsátás csökken. A minták toxicitásának meghatározása tehát a lumineszcencia gátlása révén mérhető, melyet az ISO 11348-1 (1998) szabvány alapján végeztünk el.

A mintákban potenciálisan krónikus citotoxicitást okozó anyagok biológiai hatását az akut AVF teszt meghosszabbított kontaktidejű (25 óra), mikrotiter lemezre

adaptált verziójával vizsgáltuk. A mérés során mintákból 100 μL -t pipettáztunk fekete, lapos-aljú PS mikrotiter lemezre, majd 100 μL frissen előkészített *A. fischeri* inokulumot mértünk rá (*Háhn és mtsai*, 2017 alapján). A biolumineszcencia értékeket (fotonbecsapódás/másodperc, CPS) Victor™ X Light 2030 Luminescence Reader (Perkin Elmer, Egyesült Államok) segítségével mértük 3,5, 10, 15 és 25 órás kontaktidő után. A minták biolumineszcenciára gyakorolt hatását a kontroll értékeivel összevetve állapítottuk meg, hogy mérhető-e krónikus toxicitás.

A citotoxikus hatás mellett vizsgáltuk azt is, hogy a minták mutatnak-e ösztrogén-, illetve androgénhatást, melyhez a Tennessee Egyetem kutatói által kifejlesztett és rendelkezésünkre bocsátott *Saccharomyces cerevisiae* alapú bioripporter tesztek használtuk. A *Saccharomyces cerevisiae* törzsek BLYES és BLYAS konstrukcióit úgy alkották meg, hogy azok kromoszómájába humán ösztrogén és androgén receptorokat kódoló géneket integráltak, továbbá a sejtbe olyan plazmidokat, melyek ösztrogén és androgén válaszlemeket, ill. a prokarióta *Photorhabdus luminescens lux*-génjeit hordozzák. Imennyiben olyan anyaggal exponáljuk a *S. cerevisiae* BLYES és BLYAS sejteket, melyek képesek közvetlenül humán ösztrogén- vagy androgén-receptorhoz, majd komplexként a válaszlemekhez kötődni, aktiválódnak a *lux*-gének, biolumineszcenciát eredményezve. A biolumineszcens bioripporterek tehát alkalmasak ösztrogén és androgén hatás mérésére (*Eldridge és mtsai*, 2007; *Sanseverino és mtsai*, 2005, 2009). A szűrt mintákból 20-20 μL -t fehér, lapos-aljú PS mikrotiter lemezre mértük, majd 180 μL , frissen előkészített élesztő-inokulumot mértünk rá. Pozitív kontrollként 17β -ösztradiolt és dihidrotesztoszteront használtunk. A biolumineszcenciát Victor™ X Light 2030 Luminescence Reader (Perkin Elmer, Egyesült Államok) készülékkel mértük 5 óra inkubáció (30 °C) után.

Toxikus stressz kimutatására alkalmas miRNS markerek keresése

A tógazdaságokat érintő analitikai vizsgálatok eredményei alapján 15 tógazdasági mikroszennyező (fluorantén, 4,4-DDE, terbutilazin, trifloxystrobin, buprofezin, difenilamin, tebukonazol, permetrin, spiromezifen, perfluorooktánsav, glifozát, AMPA, propamokarb, piridilil, dietiltoluamid) került kiválasztásra, melyet az OECD 203 (*OECD*, 2019) szabvány alapján vizsgáltunk első körben, a Halgazdálkodási Tanszék saját szaporítású, toxikus stressztől mentes pontyállományán. A toxikus stresszt az akut vizsgálat eredményeiből meghatározott dózis-hatás görbék alapján számított LC50*1/50-es koncentrációk segítségével váltottuk ki minden egyes mikroszennyező esetében. Az expozíciós idő 14 nap volt, a vizsgálati koncentrációkat félstatikus beállításban kétnaponkénti teljes vízcserével tartottunk fenn a kezeléseket alatt. Az expozíciókat minden anyag esetében 3 ismétlésben, ismétlésenként 15, $3\pm 0,2$ standard testhosszúságú pontyon végeztük el. A kezeléseket végén minden egyedből 3-3- hús és májminta került begyűjtésre Trizol reagensben (MRC), melyekből RNS izolálás történt a gyártó protokollja alapján. Az RNS minták integritásának ellenőrzése Agilent BioAnalyzeren Total Eukaryota RNA Nano reagenssel történt. A kis RNS könyvtár készítés során 1 μg totál RNS került felhasználásra, a könyvtárak elkészítése a NEBNext Small RNA Library Prep Set for Illumina (New England BioLabs) reagenssel történt a gyártó protokollja alapján. A könyvtárak az Illumina NextSeq 500-as készülékkel kerültek megszekvenálásra. Az újgenerációs szekvenálás során kapott szekvenciák a

ponty referencia genomra (NCBI GENOME ID: 10839) kerültek visszatérképezésre a *NovoAlign* illesztőprogram alapbeállításainak segítségével. A visszatérképezés után, első lépésben meghatározásra kerültek azok a régiók a ponty genomban, ahol legalább 100 illesztett szekvencia volt található, valamint a régiók mérete 17-26 bázispár közé esett. Az így definiált genomi régiók a miRbase adatbázisban elérhető érett mikroRNS szekvenciák alapján voltak annotálhatók szekvencia azonosság alapján. Az annotált régiók kvantifikálása és a szignifikánsan differenciális expresszáldó miRNsek meghatározása a *featureCounts* és *DESeq2* R csomagok alkalmazásával történt. A potenciális markerek validálása stem-loop RT-qPCR módszerrel történt független mintasorozatokon.

Környezeti mikrobiológiai vizsgálatok

A pontytermék tárolhatóságát esetlegesen befolyásoló, környezeti eredetű mikroszervezetek megismerése érdekében hagyományos, tenyésztéses mikrobiológiai vizsgálatokat hajtottunk végre a szakirodalomban ajánlott általános (tripton-glükóz-élesztőkivonat agar), szelektív és differenciáló táptalajok felhasználásával (*Dalgaard és mtsai, 1996; Urbanová, 1999*). A környezeti mintákban releváns opportunisták mikroszervezetek azonosítása érdekében *Acinetobacter* CHROMagar™ (Franciaország), és *Aeromonas* (LabM, Neogen, Egyesült Királyság) táptalajokat alkalmaztunk, valamint az MSZ 21470-77:1988 szabvány alapján meghatározott protokoll szerint vizsgáltuk a *Pseudomonas aeruginosa* jelenlétét. A lemezöntések 96-120 órás, megfelelő hőmérsékleten történő inkubáció után kerültek leolvasásra. A telepszám leolvasások mellett a típusos telepekből tisztatenyészeteket készítettünk, majd 16S rDNS szekvenáláson alapuló módszerrel (*Radó és mtsai, 2019*) az izolátumokat faj szinten azonosítottuk.

A mikrobióta tenyésztéses eljárással nem elkülöníthető tagjainak detektálása érdekében közösségi, 16S rDNS alapú ujjenyomat módszert (T-RFLP) alkalmaztunk az intézetünkben adaptált protokoll szerint (*Farkas, 2017*), a hűtve tárolás folyamatának megismerése érdekében pedig 16S rDNS amplikonszekvenálás módszerével azonosítottuk a mikrobaközösséget domináló OTU-kat (operative taxonomic unit – operatív taxonómiai egység).

A halhús eltarthatóságát befolyásoló tényezők vizsgálata

Az arzén és szelén mikroelem vizsgálatokat ponty húskokban végeztük, MSZ EN 15763: 2010 és MSZ EN 13805:2002 minta-előkészítési eljárással, EPA Method 6020A:2007 mérési módszerrel. A vizsgált pontyokat élő állapotban, a vizsgálatba bevont hazai halgazdaságokból szereztük be. A mintavételezések március-május (tavasz) és szeptember-november (ősz) időszakokban kerültek sor.

A szállítás okozta stresszhatás vizsgálatához a lehalászást követően hal vágásokat végeztünk az alábbiak szerint:

1. A lehalászást követő 10 percen belül,
2. 15 perc szállítást követően pihentetés nélkül,
3. 15 perc szállítást és 30 perc pihentetést követően,
4. 120 perc szállítást követően,
5. 120 perc szállítást és 3 óra pihentetést követően.

A szállítás minden esetben tartálykocsiban történt, az élő állatok szállítására vonatkozó előírások betartása mellett. A glikogén, kortizol és kortizon meghatározáshoz a halak mechanikus kábítását követően a testből a törzstájék középső részéből 100 g húst metszettünk ki. A kimetszett mintákat vákuumcsomagoltuk, majd maghőmérsékletüket Nortech QCF 103 (Normann Srl., Fontanafredda, Olaszország) sokkoló/mikrokristályos gyorsfagyasztóban 3 perc alatt -30°C alá csökkentettük és a mérések megkezdéséig fagyasztva tároltuk. A glikogéntartalom meghatározását abcam Glycogen Assay kit II v4 ab169558:2016 (Abcam Plc., Cambridge, Egyesült Királyság) kittel, a kortizol és kortizon meghatározást pedig HPLC-MS/MS mérés technikával végeztük.

A kábítási kísérleteket műanyag kádban végeztük, amelyben egymással párhuzamosan, 65 x 45 cm méretű alumínium lapok kerültek elhelyezésre. A lapok közötti távolság 45 cm. Az egyik lap felületét vékony polietilén fólia borította, abból a célból, hogy elkerüljük az áramkör által rövidre zárását. A lapok potenciométerrel ellátott 230 V, 50 Hz transzformátorhoz kapcsolódtak. A kábítást szinuszos váltóárammal, a potenciométerrel beállított 45, 65 és 85 V feszültség értékekkel végeztük 30 másodpercig. Az áramerősség értéke a kábított hal testének ellenállásától függően 20-30 mA között alakult. Egy kábítási művelet alkalmával egy darab hal került a kábítókádba.

A nyers halhúsok mosását, tisztítását 100, 200, 300 ppm szabad klór tartalmú aktív vízben, 0,5, 1,0 és 1,5 %-os H_2O_2 oldatban végeztük 2 és 5 perc időtartamig. Kontroll mintaként a hálózati csapvízben mosott halhúsok szolgáltak. A mosások mikrobiológiai hatásának vizsgálatára a mosásokat követően összcsíraszám meghatározást (MSZ EN ISO 4833-1:2014) végeztünk. A mosást követően a halhúsok klorát és perklorát szermaradvány tartalmát WBSE-103:2015 módszerrel határoztuk meg.

A termékgyártás műveletében pontyfiléket füstöltünk bükk, tölgy és akác fahasábok felhasználásával CS 350 Korax (Kerres Anlagenbau GmbH, Backnang, Németország) kombinált füstölő-hőkezelő berendezésben, hideg (20°C) és meleg (50°C) füstölési technikával, 30, 60, 90, 120, 180 és 360 perc ideig. A füstöléseket követően a halhúsokban a policiklikus aromás szénhidrogén (PAH) vegyületek mennyiségét WBSE-130:2018 mérési módszerrel határoztuk meg. A mérési eredményeket a 835/2011/EU rendelet alapján a benzo(a)antracén, benzo(a)pirén, benzo(b)fluorantén, krizén összes mennyiségére megadott határérték (max. 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$) értékeltük.

A hosszabb eltarthatósági idő elérését célzó csomagolási kísérlet során az anti-oxidáns hatású alfa-tokoferol hatását vizsgáltuk. Az alfa-tokoferol csomagolóanyagból termékbe történő migrációját ún. tasakos módszerrel vizsgáltuk. Ennek során 150 g (± 15 g) tömegű halfilét, illetve darált és formázott halhús terméket („pontyburger”) vákuumcsomagoltunk 10 μm vastagságú, béta-ciklodextrin-komplexált alfa-tokoferol (Cyclolab Kft., Budapest) tartalmú HDPE csomagolóanyagba (Kalle Hungária Kft., Budapest). A HDPE csomagolóanyag DL-alfa-tokoferol tartalmát kromatográfias módszerrel, származékképzési eljárással határoztuk meg (67 800 mg/kg). A kísérletben használt HDPE csomagolóanyagból kioldódó nem illékony anyagok összes mennyiségét, valamint a műanyag különböző összetevőinek kioldódását 10%-os etanol élelmiszer-utánzó modellanyaggal vizsgáltuk. A pontyburger-termék esetében 180°C , 10 perc készre sütést követően ASU L

00.00-17, GC/TEA mérési módszer alapján nitrozamin-tartalom meghatározást végeztünk.

Fogyasztói felmérések

A kutatás módszertani megalapozását a fogyasztókutatási alapelveknek megfelelően végeztük (Lakner és mtsai, 2007, Pieniak és mtsai, 2008, Olsen és mtsai, 2014). Első lépésként a fogyasztók otthonában feltártuk a gyakorlatban előforduló, jellegzetes élelmiszerbiztonsági kockázatokat. Tíz háztartásban folytattunk le felmérést, amely során végigkövettük a vásárlás, a hazaszállítás, majd az ételkészítés folyamatát egészen az ételmaradékok kezeléséig. A kiértékelést a Geppert és mtsai (2019) által is alkalmazott kockázat-megfigyelési rendszer halétel készítésére adaptált változatával végeztük. A vizsgálat második eleme reprezentatív (nem, kor, NUTS-2) kérdőíves felmérés (n=1002) keretében tárta fel a pontyhús-fogyasztás mértékét és demográfiai csoportonkénti eloszlását annak érdekében, hogy beazonosíthatók legyenek a kockázati csoportok a mikrobiológiai és kémiai szennyezők viszonylatában. A kutatásorozat harmadik elemeként a pontyot nagy mennyiségben fogyasztó csoport célzott felmérését végeztük el. Ebben a kutatásban 1004 olyan fogyasztót kérdeztünk meg, akik kifejezetten a kockázati csoportba tartoznak a második kutatás eredménye alapján. Klaszteranalízissel szegmentáltuk a mintát a pontyfogyasztás gyakorisága és az egy alkalommal elfogyasztott mennyiség alapján, majd a kitett csoportok esetében kockázatbecslést végeztünk DDT-re, propamokarbra, triadimenolra és linuronra vonatkozóan.

EREDMÉNYEK ÉS MEGBESZÉLÉS

Toxikus stressz kimutatására alkalmas miRNS markerek keresése

Összehasonlítva a vizsgált mikroszennyezők által a májban szabályozott miRNS-eket megállapítható volt, hogy vannak átfedések az egyes mikroszennyezők között az általuk szabályozott miRNS-ekben. A fluorantén és trifloxistrobin egyaránt szignifikáns változást indukált az oldószer kontrollhoz képest 59 miRNS, köztük a miR-9, miR-125a és miR-199 esetében. A permetrin, a fluorantén és a trifloxistrobin mikroszennyezők esetén sikerült olyan miRNS-eket is azonosítanunk, amelyek kizárólag egy mikroszennyező által voltak szabályozottak a vizsgált pontyok májmintáiban. A permetrin indukált NW.017539588.1_58042_58065, a fluorantén által gátolt miR-122-3p, a trifloxistrobin indukált miR-181a kifejeződés stem-loop RT-qPCR módszerrel egyaránt validálható volt független mintasorozaton. Így annak ellenére, hogy nem sikerült a májban olyan miRNS markert azonosítanunk, amelyet minden általunk alkalmazott mikroszennyező szabályozott volna, valamint az egyes mikroszennyezők miRNS kifejeződési mintázatra gyakorolt hatása is jelentős különbségeket mutatott, a permetrin, a fluorantén és a trifloxistrobin esetén sikerült azonosítanunk több olyan miRNS-t, amelyek specifikusan válaszolnak az adott mikroszennyezőre és ezért a későbbiekben potenciálisan mikroszennyező-biomarkerként alkalmazhatóak.

Az izomszövetben sem sikerült olyan miRNS markert azonosítanunk, amelyet

minden általunk alkalmazott mikroszenyező szabályozott volna, valamint az egyes mikroszenyezők miRNS kifejeződési mintázatra gyakorolt hatása ezekben a biológiai mintákban is jelentős különbségeket mutatott. Azonban öt vizsgált mikroszenyező, köztük a difenilamin, a fluorantén, a spiromezifen, a tebukonazol és a trifloxistobin esetén sikerült olyan miRNS-t azonosítani, amelyek csak egy mikroszenyező esetén mutattak szignifikáns eltérést az oldószer DMSO kontrollal kezelt pontyokból származó izomszövethez viszonyítva. Ezen miRNS-ek közt található a trifloxistobin indukált miR-181 és az általa gátolt miR-34a, valamint a tebukonazol indukált NC.031707.1_13481756_13481779, melyek kifejeződése stem-loop RT-qPCR módszerrel egyaránt validálható volt független mintasorozaton.

Környezeti mikrobiológiai vizsgálatok

Eredményeink alapján a vizsgálatba vont akvakultúrák mikrobiológiai állapota kiváló volt. Az összes élősejtszám a hazai felszíni vizekre jellemző értékek körül mozgott (10^4 - 10^5 CFU/ml). A célzott tenyésztéses vizsgálatokkal keresett oportunisták mikroorganizmusok közül a kiemelt környezetbiztonsági aggrályt keltő mikroszervezetek (*Aeromonas*, *Acinetobacter* nemzetségek képviselői) jellemzően az összes élősejtszám alatt két nagyságrenddel voltak detektálhatók. A humánegészségügyi szempontból kiemelkedő jelentőségű *P. aeruginosa* mindössze két esetben volt kimutatható elenyésző (10^1 CFU/ml) sejtszámban, míg *Acinetobacter baumannii* nem volt azonosítható.

A haltermék termékpályájának vizsgálata alapján a pontyfelület és a haltenyésztésre szolgáló felszíni víz élősejtszámai között nagyságrendi különbség nem volt, ám a ponty nyálkahártyáján mérhető sejtszám a szállítást követően a tárolótartályban 24 óra alatt két nagyságrendet emelkedett. A halfeldolgozás folyamatában az *Aeromonas* és *Acinetobacter* szelektív táptalajokon növekvő mikroszervezetek végig kimutathatók voltak (1. ábra).

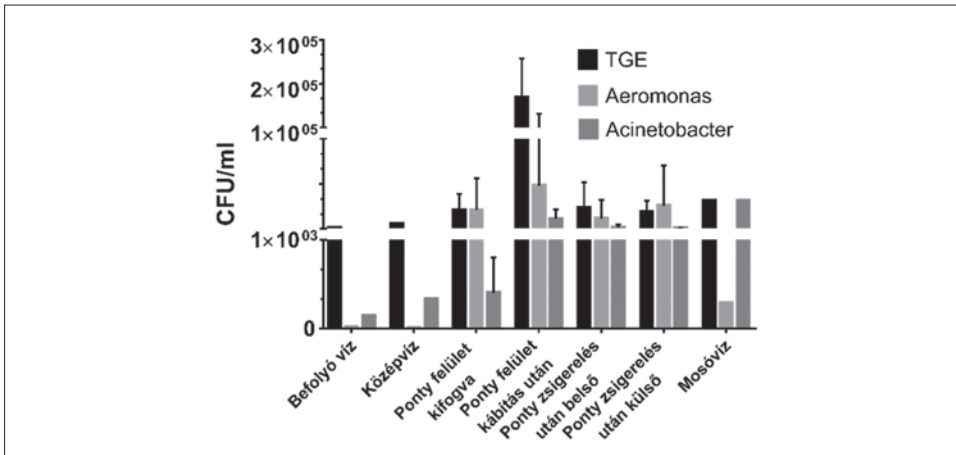
A tárolási folyamat során a 2-4°C-on tárolt filénél és a vákuumcsomagolt halszeletnél tapasztaltuk a legalacsonyabb élősejtszámokat. A vizsgált kezelések (EO víz, hidrogén-peroxid, lizozim, tejsav és ezek kombinációi) környezeti mikrobiológiai szempontból nem befolyásolták szignifikáns mértékben sem a halszeleteken mérhető, környezeti eredetű mikrobaszámot, sem a tenyészhető mikrobaközösség összetételét. A mért eltérések a hagyományos mikrobiológiai vizsgálatok hibahatárán belül voltak.

Az T-RFLP vizsgálatok eredményei alapján a tárolt pontyszelet mikrobaközössége 6-8°C-on a második napra, 2-4°C-on a harmadik napra állandósul és diverzitása lecsökken. A tárolási folyamat végére az *Enterobacter*, *Pseudoalteromonas*, *Aeromonas*, *Brochothrix*, *Psychrobacter*, *Acinetobacter*, *Shewanella* és a *Pseudomonas* nemzetségek dominanciája figyelhető meg (2. ábra).

Az amplikonszekvenálás eredményei alapján, a T-RFLP és tenyésztéses mikrobiológiai vizsgálatok eredményeivel összhangban megállapítottuk, hogy a hűtve tárolás folyamatának végén (3. nap) a tárolási hőmérséklettől és vákuumcsomagolástól függetlenül a *Pseudomonas*, *Shewanella*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Psychrobacter* és *Brochothrix* nemzetségek dominanciája figyelhető meg (3. ábra).

A tenyésztéses mikrobiológiai vizsgálatok alapján a 16S rDNS molekuláris biológiai vizsgálatok feltárták a haltermék romlásában feltételezhetően szerepet

1. ábra A tógazdasági felszíni víz minták és a ponty feldolgozása folyamán mérhető élősejtszámok változása



TGE: tripton-glükóz-élesztőkivonat táptalaj; CFU: telepképző egység

Figure 1. Changes in surface water samples of aquacultures and the viable cell counts during carp processing

TGE: tryptone glucose yeast extract medium; CFU: colony-forming unit

2. ábra A hűtve tárolt ponty mikrobaközösségének idősoros változása különböző hőmérsékleten történő tárolás során, T-RFLP ujjlenyomatmódszer alapján

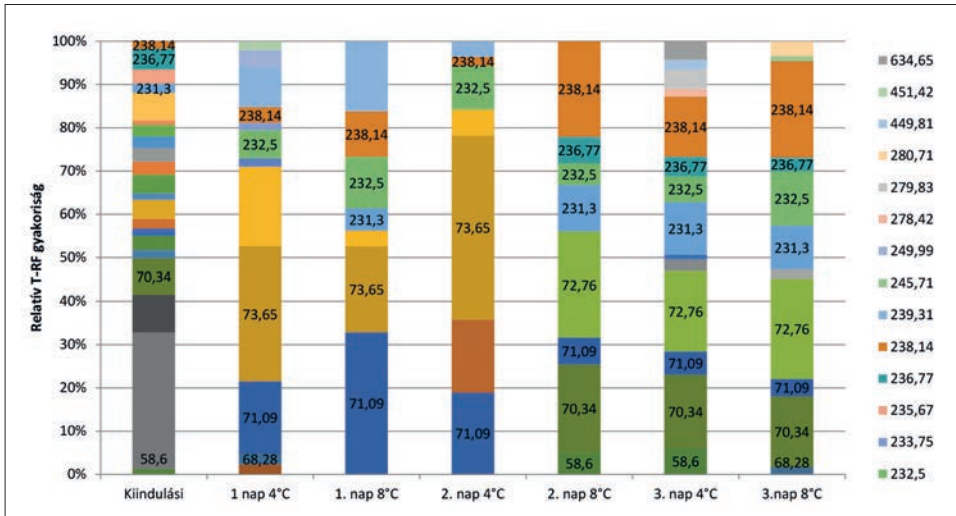


Figure 2. Time-series change of the microbial community of common carp during chilled storage at different temperatures, based on the T-RFLP fingerprinting method

3. ábra A pontyfilé tárolási folyamatának 3. napján, amplikonszekvenálással azonosított, domináns baktériumnemzetségek

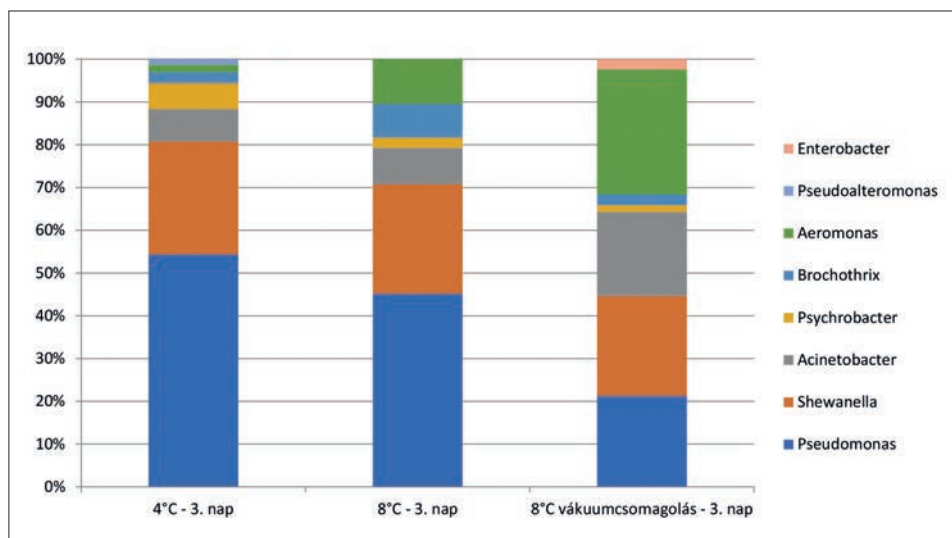


Figure 3. The dominant bacterial genera identified by amplicon sequencing on the 3rd day of chilled storage of carp fillet

játszó nemzetségeket, melynek képviselői az alábbi fajok: *Aeromonas* – *A. veronii*/*ichthiosmia*, *A. salmonicida*; *Acinetobacter* – *A. oryzae*; *Shewanella* – *S. baltica*, *S. putrefaciens*; *Pseudomonas* – *P. azotoformans*, *P. lactis*, *P. psychrophila*. A humánegészségügyi jelentőséggel is bíró *Acinetobacter baumannii* és *Pseudomonas aeruginosa* célzott kimutatására irányuló elemzések alapján a két opportunista patogén baktérium faj előfordulása a vizsgált tavi környezetben és a pontyból készült filé tárolásának folyamatában elhanyagolható.

A halhús eltarthatóságát befolyásoló tényezők vizsgálata

A vizsgált hazai halastavakból származó halak húzában az arzén tartalom 0,04-0,20 mg/kg, a szelén tartalom pedig 0,08-0,20 mg/kg közötti értékeket mutatott (1. táblázat). Halhúsokra vonatkozóan jelenleg nincs szabályozás ezen elemek tekintetében. Összehasonlításként: a hatályban lévő 1881/2006/EK rendeletet módosító 2015/1006/EK rendeletben az előfőzött, hántolt rizs maximálisan megengedhető arzén tartalma 0,20 mg/kg. Az eredményekkel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy az élelmiszerekben az arzén szerves vegyületek formájában fordul elő, amelyek sokkal kevésbé veszélyesek, mint a szervetlen formák és nem halmozódnak fel a szervezetben.-

A halhúsban a vágás után 24 órával mért végső pH értékek negatív korrelációt mutattak a glikogén mennyiségével (4. ábra). A pH szerepe a halhúsok eltarthatósága szempontjából nagy jelentőséggel bír: a kisebb pH érték hosszabb és biztonságosabb eltarthatóságot jelent. A legkisebb pH értékeket (pH 6,60) két esetben tapasztaltuk: a) amikor a halak a lehalászt követően 10 percen belül

vágásra kerültek, b) amikor 120 perc szállítást 3 óra pihentetést követően kerültek vágásra. A szállítási időtartam és a stresszhatást jelző kortizol mennyiségét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a 120 percig tartó szállítás hatására a kortizolszint a nyugalmi érték (26,6 µg/kg) több mint négyszeresére nőtt (124,7 µg/kg). A kábítóáram feszültségét (U) vizsgálva a nagyobb kábító feszültség (85 V) és a vágást megelőző pihentetés együttesen vörösebb, friss húsról jellemzőbb színt eredményezett, mint a kisebb feszültség és pihentetés nélküli kombinációban vágott halak húsa (5. ábra).

Az üzemi gyakorlatban alkalmazott csapvizet mosáshoz képest mind az aktív vizes, mind a H₂O₂ mosóoldatok esetében 1,0-2,0 CFU/g nagyságrendnyi összcsíraszám-csökkenés mutatkozott. Az aktív vizes mosási kísérletben a halhúson maradó klorát mennyisége 0,014-0,236 mg/kg között alakult, míg a perklorát mennyisége kimutathatósági szint (< 0,01ppm) alatt maradt.

A füstből a halhúsról jutó PAH vegyületek (benzo(a)antracén, benzo(a)pirén, benzo(b)fluorantén, krizén) mennyisége a pontyfiléken a bükk és tölgyfával történő füstölések esetén a leghosszabb, 360 percen (6 óra) át tartó füstölés esetén is a 835/2011/EU rendeletben meghatározott egészségügyi határérték (<12 µg/kg) alatt alakult. Az akáccal történő füstölés során azonban a PAH vegyületek mennyisége már a füstölés 90. percében közel kétszeres mennyiségben (23,3 µg/kg) meghaladta a határértéket. A meleg füstölések esetében a 30 perctől a halhúsokban fehérjedenaturáció volt megfigyelhető.

A hosszabb eltarthatósági idő elérését célzó csomagolási kísérlet során azt tapasztaltuk, hogy a halhús és darált halhús DL-alfa-tokoferol-tartalma telítési görbével leírhatóan, a kiindulási 9-16 mg/kg értékről az 1 hétig tartó tárolás végére 116-164 mg/kg-ra nőtt. Az avasodás mértékét jelző tiobarbitursav (TBA) szám ezzel fordított arányban változott, ami a termékekbe migrált DL-alfa-tokoferol antioxidáns hatásának eredménye.

A kísérletben használt α-tokoferol-tartalmú csomagolóanyagból kioldódó nem illékony anyagok, fémek és rákkeltő primer aromás aminok mennyisége kimutat-

1. táblázat

Hazai halgazdaságokból, tavaszi és őszi időszakban lehalászott pontyhúsok arzén- (As) és szelén- (Se) tartalma

Mintavételezési időszak (1):	Tavaszi (2)					
	Csongrád	Hajdú-Bihar	Nógrád	Somogy 1.	Somogy 2.	Tolna
As (mg/kg)	0,06	0,06	0,04	0,11	0,08	0,04
Se (mg/kg)	0,15	0,15	0,10	0,11	0,12	0,12
Mintavételezési időszak (1):	Ősz (3)					
	Csongrád	Hajdú-Bihar	Nógrád	Somogy 1.	Somogy 2.	Tolna
As (mg/kg)	0,20	0,12	0,05	0,10	0,05	0,10
Se (mg/kg)	0,19	0,16	0,18	0,08	0,09	0,20

Table 1. Arsenic (As) and selenium (Se) content of carp meat harvested from domestic fish farms in spring and autumn

sampling period (1); spring (2); autumn (3)

4. ábra A pontyhús glikogéntartalmának (mg/kg) és a kialakuló végső pH értékének összefüggése

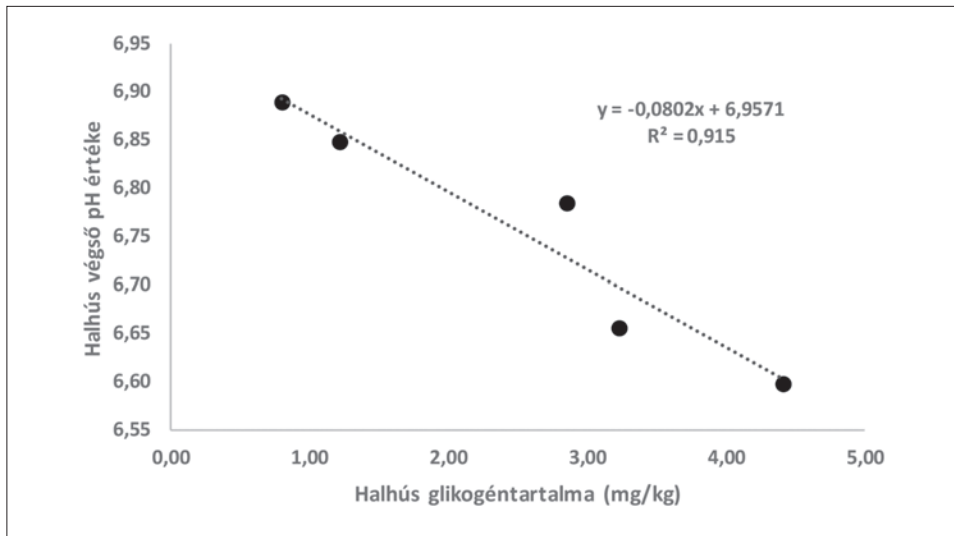


Figure 4. Correlation between the glycogen content (mg/kg) of carp meat and the final pH

hatósági szint alatt volt, így az élelmiszerbiztonsági szempontól biztonságosnak tekinthető. A készre sült pontyburgerekben az N-nitrozo-dibutil-amin, N-nitrozo-dietil-amin, N-nitrozo-dimetil-amin, N-nitrozo-di-n-propil-amin mennyisége kimutathatósági határ alatt volt (<0,5 µg/kg).

Fogyasztói felmérések

A háztartási felmérések eredményei alapján azonosítottuk a leggyakrabban előforduló helytelen élelmiszerbiztonsági gyakorlatokat, melyek az alábbiak voltak:

- A háztartások mindegyikében problémát okozott a meleg vízzel és szappannal történő kézmosás elmaradása, rendszertelensége.

- A háztartások 90%-ánál helytelenül történt a lefagyasztott ponty és más élelmiszerek felengedtetése.

- Az interjúalanyok 80%-a megmosta a halat az ételkészítés kezdetén, mely az egyik legjelentősebb, keresztzennyeződéshez köthető kockázat.

Az 1000 fős, reprezentatív kérdőíves felmérés legfőbb eredményei a következőképpen alakultak:

- Egy átlagos magyar felnőtt 2,49 kg pontyhúst fogyaszt évente.

- A fogyasztási szokásokban szélsőséges eloszlás figyelhető meg: a legtöbb pontyot fogyasztó klaszter („Ponty fanatikuskok”, 26,86 kg/fő/év) a legkevesebb pontyot fogyasztó klaszter („Finnyás fiatalok”, 0,19 kg/fő/év) által elfogyasztott pontyhús mennyiségének több mint 140-szeresét fogyasztja évente.

- Az általunk becsült pontyfogyasztási alkalmak száma évi 10,96 alkalom/fő (leggyakoribb válaszok: évente 1-2 alkalommal), az egy alkalommal elfogyasztott ponty mennyisége 210,68 g (175-232 g/alkalom).

5. ábra Pontyfilék vizuális megjelenése különböző feszültséggel végzett elektromos kábítás és pihentetés kombinációk esetén

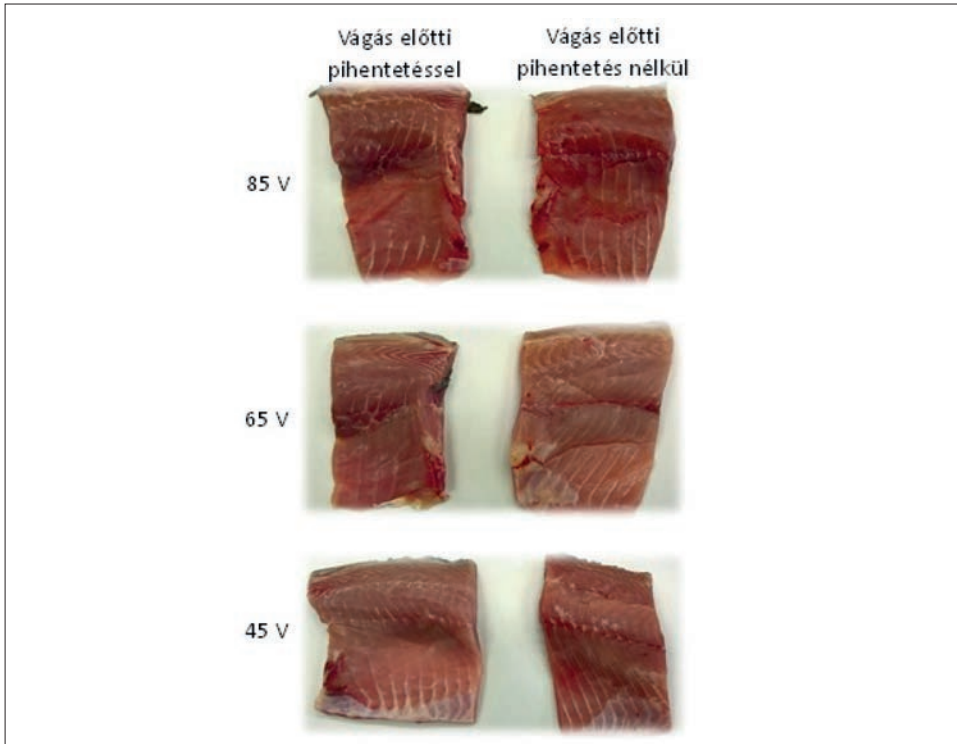


Figure 5. The visual appearance of carp fillets in combinations of electrical stunning at different voltages and different resting times

- Három beazonosított klaszter esetében fordulhat elő nagyobb kitétség („Horgászok”, „Jó étvágyúak”, „Ponty fanatikusok”) a pontyfogyasztással összefüggő élelmiszerbiztonsági kockázatokat illetően, így az ő további vizsgálatukat szükségesnek tartottuk, és el is végeztük.

A nagyobb kitétségű csoportokba tartozó, „extrém” halfogyasztókat célzó 1000 fős kérdőíves felmérés főbb megállapításai:

- Az extrém halfogyasztók körében az átlagos éves pontyfogyasztás 4,81 kg/fő/év.

- E válaszadók átlagosan évi 19,93 alkalommal fogyasztanak pontyot (leggyakoribb válaszok: évente 6-8 alkalommal), alkalmanként átlagosan 241,77 g (módusz: 298 g) mennyiségben.

- A klaszteranalízis eredményeképp a magyar extrém fogyasztók 4 alcsoportját tudtuk elkülöníteni a fogyasztási gyakoriság és az alkalmanként elfogyasztott mennyiség szerint: „Jó étvágyúak”, „Az átlagos pontykedvelő”, „Fiatal pontykedvelők” és „Ponty fanatikusok.”

- A kémiai kockázatbecslés alapján elmondható, hogy az élelmiszerekkel bevitt DDT mennyisége lehetséges kockázatot jelent minden alcsoport számára, de a

rákos megbetegedések kialakulásának kockázatát nagyon nagy valószínűséggel nem emeli a bevitt mennyiség.

- A többi vizsgált növényvédőszer-maradék esetében nincsen kockázat.

A kémiai analitikai mérések közel 700 paraméter vizsgálatára terjedtek ki, ezek között egyedülállóan több, mint 450 peszticid hatóanyagra és metabolitra, valamint 110 gyógyszer hatóanyagra történtek mérések. Összességében a 7 tó vizében 12 peszticidet (tebukonazol, ciprokonazol, boszkalid, dimoxistrobin, epoxikonazol, klórtoluron, izoproturon, glifozát, terbutilazin, metolaklór, metazaklór, metszulfuron-metil), 1 rovar repellens anyagot (DEET) és 3 peszticid-bomlásterméket (deizopropil-atrazin, 4'-DDE, AMPA) detektáltunk. A vízből kimutatható volt 6 gyógyszermaradvány (acetaminofén, jopromid, jopamidol, flumekvin, karbamazepin, szulfametoxazol). Az üledékben csupán a glifozát peszticidet és bomlástermékét (AMPA) mutattuk ki, gyógyszereket nem.

Az akut és krónikus *Allivibrio fischeri* biolumineszcencia gátlási teszt eredményei alapján a vizsgált víz és iszapminták egyike sem bizonyult citotoxikus hatásúnak. A minták továbbá egy esetben sem gyakoroltak induktív hatást a BLYES és BLYAS tesztszervezetek fénykibocsátására, azaz ösztrogén, ill. androgénhatás nem volt kimutatható.

A detektált peszticidek és gyógyszerhatóanyagok koncentrációja minden esetben csak az igen alacsony kimutatási határ körül alakult, egészségügyi kockázatokról tehát nem beszélhetünk. A vizsgált halastavak vízszennyezettségi paraméterei a peszticidek tekintetében a legtöbb esetben még az ivóvíz határértékeket is kielégítik, a halastavi környezetben folytatott ökototoxicitási vizsgálatok nem tártak fel ökológiailag káros hatásokat.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Mikroszennyező-terheltség és ökotoxikológiai állapotfelmérés

A halastavak vizéből detektált gyógyszermaradványok és növényvédő szerek forrását feltételezhetően az azokat tápláló vízfolyások diffúz terhelései, illetve a termelési technológiákhoz köthető anyagbevitel jelentik. Az üledékekből gyógyszerhatóanyagokat egyáltalán nem, a peszticidek közül pedig csak a Magyarországon legnagyobb mennyiségben forgalmazott és felhasznált glifozátot és metabolitját (AMPA) lehetett kimutatni. Eredményeink is utalnak a vegyület hazai túlhasználására, amit a szabad forgalmi kategóriába sorolás, ill. az állományszáritásra való alkalmazás szigorításával lehetne ellensúlyozni. A jövőben javasolható a rendszeres halastavi monitoring folytatása, az értékelésbe vonható mintaszámok növelése.

Toxikus stressz kimutatására alkalmas miRNS markerek keresése

Vizsgálataink során sem a májban, sem az izomszövetben nem találtunk olyan miRNS-t, amely általános biomarkerként lenne alkalmazható a vizsgált xenobiotikum csoport esetén. Azonban több olyan miRNS-t is azonosítottunk, amely a májban és/vagy az izomszövetben szignifikáns különbséget mutatott egy-egy mikroszennyező kezelést követően. Mivel ezek a markerek specifikusan

válaszolnak az adott mikroszennyezőre, ezért a későbbiekben potenciálisan mikroszennyező-biomarkerként alkalmazhatóak lesznek, azonban ehhez még további tesztek szükségeltetnek.

Környezeti mikrobiológiai vizsgálatok

Eredményeink összhangban állnak a szakirodalomban fellelhető információkkal, miszerint a mikrobaközösség a ponty hűtve tárolásának első napjaiban intenzív változáson megy keresztül. A hazai ponty mikrobiológiai állapotának stabilizálódása eredményeink alapján 72 óra elteltével történik meg. A már ismert pszichofil, élelmiszerekben szerepet játszó mikroorganizmusok, mint a *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter* és a *Shewanella* (Gram és Huss, 1996) jelentősége a hazai tárolt pontyfilé esetében is megfigyelhető, kiegészülve a *Brochothrix*, *Psychrobacter*, *Pseudoalteromonas* és *Aeromonas* nemzetségekkel. Az érzékelhető romlás és ezzel a termék elutasítása általában 10^7 - 10^9 CFU/g sejtszám mellett következik be (Mikš-Krajnik és mtsai, 2016), mely alapján a vizsgált termék eltarthatósága eredményeink alapján jelentősen hosszabb vákuumcsomagolt formában és ideális (2-4°C) tárolási hőmérsékleten. A jövőben a projekt keretében létrehozott törzsgyűjtemény további, célzott vizsgálatokra nyújt lehetőséget a pontyfilé eltarthatóságát célzó tárolási paraméterek optimalizálása érdekében.

A halhús eltarthatóságát befolyásoló tényezők vizsgálata

A kutató munka során vizsgált pontyfeldolgozás folyamatában a szállítás okozta stressz és kábítás paraméterei a halhús glikogéntartalmán keresztül hatással vannak a friss halhús eltarthatóságára, minőségére és élvezeti értékére egyaránt. Ezért a feldolgozás során nagy jelentősége van mind a vágás előtti pihentetésnek, mind a kábítási módjának és paramétereinek.

A klorát és perklorát szermaradványokra tekintettel, valamint a halhús érzékszervi tulajdonságai alapján a halhúsok és testek tisztítására használt oldatok közül a legkisebb koncentrációkat javasoljuk. Az aktív víz esetében kimutatható mennyiségű klorát szermaradvány jelenlétével kell számolni, ezért alkalmazása esetén ennek eltávolításáról, pl. plusz öblítés beiktatásával gondoskodni kell.

A policiklikus aromás szénhidrogén vegyületekre vonatkozó 835/2011/EU rendelet alapján a füstölési időtartamot a használt fajok esetében 60 percben maximalizáljuk és a nyers, füstölt pontyfilétermék szempontjából a hideg (20°C) füstölési technikát javasoljuk. A vágott haltestek és filék mosására használt oldatok mikrobiológiai szempontból hatásosnak bizonyultak a csapvizet mosáshoz képest.

A pontyfilé- és pontyburgertermékek csomagolására használt alfa-tokoferol- (E vitamin) tartalmú csomagolóanyag a migrációs teszt alapján hatásosnak bizonyult, ami jellemzően a nagyobb zsírtartalmú pontyburgertermék esetében az egyik jellemző fizikai romlási folyamat, az avasodás megelőzésében játszik szerepet.

Fogyasztói felmérések

Hazánkban a halfogyasztás mértéke az Európai Unió átlag alatti, ennek ellenére jelen vannak olyan fogyasztói csoportok, amelyek tagjai extrém pontyfogyasztók.

Az elvégzett kockázatbecslés alapján megállapítható, hogy a pontyhús-fogyasztás még extrém esetben sem okozza az egészségügyi kockázatokszignifikáns növekedését. Az esetlegesen előforduló alacsony kockázatot pedig messzemenőig ellensúlyozzák a pontyfogyasztás szakirodalmából ismert pozitív élettani hatásai (Rödler, 2004). Az empirikus kutatás során feltárt helytelen háztartási gyakorlatokat célzott kockázatkommunikációval lehet jó irányba terelni (Kasza és mtsai, 2013). E tekintetben különösen fontos a gyermekkori szemléletformálás, valamint a kiemelt halfogyasztók és a horgászok célzott elérése.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a Nemzeti Versenyképességi és Kiválósági Program (NVKP_16-1-2016-0023, HappyFish) projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A kutatómunka megvalósításához az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt és az NKFIH-831-10/2019 Tudományterületi Kiválósági Program is hozzájárult.

IRODALOMJEGYZÉK

- 1881/2006/EK rendelet az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeinek meghatározásáról
- 2015/1006/EK rendelet az 1881/2006/EK rendeletnek az élelmiszerekben előforduló szerves arzén mennyiségének felső határértékei tekintetében történő módosításáról
- 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet a veszélyes anyagokkal és a veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól
- 835/2011/EU rendelet az 1881/2006/EK rendeletnek az élelmiszerekben előforduló policiklikus aromás szénhidrogének felső határértékei tekintetében történő módosításáról
- Bartel, D. P. (2004): MicroRNAs: genomics, biogenesis, mechanism, and function. *Cell*, 116. 281–297.
- Dalgaard, P. – Mejholm, P. – Huss, H. H. (1996): Conductance method for quantitative determination of *Photobacterium phosphoreum* in fish products. *J. Appl. Bacteriol.*, 81. 57–64.
- Eldridge, M. L. – Sanseverino, J. – Layton, A. C. – Easter, J. P. – Schultz, T. W. – Saylor, G. S. (2007): *Saccharomyces cerevisiae* BLYAS, a new bioluminescent bioreporter for detection of androgenic compounds. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73. 6012–6018.
- Farkas, M. (2017): Monoaromás szénhidrogének mikrobiális lebontása oxigénlimitált közegekben. Disszertáció, Szent István Egyetem, Gödöllő 119.
- Fyfe, I. (2020): MicroRNAs - diagnostic markers in Parkinson disease? *Nat. Rev. Neurol.*, 16., 65.
- Geppert, J. – Struchtrup, S. S. – Stamminger, R. – Haarhoff, C. – Ebert, V. – Kock, S. – Lohmann, M. – Böhl, G. F. (2019): Food safety behaviour observed in German TV cooking shows. *Food Control*, 96. 205–211.
- Gram, L. – Huss, H. H. (1996): Microbiological spoilage of fish and fish products. *Int. J. Food Microbiol.*, 33. 121–137.
- Gruiz, K. (2001): Környezettoxikológia. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 158.
- Háhn, J. – Szoboszlai, S. – Tóth, G. – Kriszt, B. (2017). Assessment of bacterial biodegradation of herbicide atrazine using *Alivibrio fischeri* cytotoxicity assay with prolonged contact time. *Ecotoxicology*, 26. 648–657.
- Hoffman, D. – Rattner, B. – Burton, A. – Cairns, J. (2003): Handbook of Ecotoxicology. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1290.
- Huntzinger, E. – Izauralde, E. (2011): Gene silencing by microRNAs: contributions of translational repression and mRNA decay. *Nat. Rev. Genet.*, 12. 99–110.

- Kasza, Gy. – Józwiak, Á. – Bódi, B. – Zsoldos, L. – Lakner, Z. (2013): Élelmiszerlánc-biztonsági stratégia: kihívások és elvárások. A stratégia megalapozását szolgáló felmérések legfontosabb tapasztalatai. *Magy. Állatorvosok*, 135. 481–493.
- Lakner, Z. – Hajdú, I. – Bánáti, D. – Szabó, E. – Kasza, Gy. (2007): The application of multivariate statistical methods for understanding food consumer behaviour. *Studies in Agricultural Economics*, 105. 59–70.
- Mahmoud, B. S. M. – Yamazaki, K. – Miyashita, K. – Il-Shik, S. – Dong-Suk, C. – Suzuki, T. (2004): Bacterial microflora of carp (*Cyprinus carpio*) and its shelf-life extension by essential oil compounds. *Food Microbiol.*, 21. 657–666.
- Mikš-Krajník, M. – Yoon, Y. J. – Ukuku, D. O. – Yuk, H. G. (2016): Volatile chemical spoilage indexes of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) stored under aerobic condition in relation to microbiological and sensory shelf lives. *Food Microbiol.*, 53. 182–191.
- Miyashiro, T. – Ruby, E. G. (2012): Shedding light on bioluminescence regulation in *Vibrio fischeri*. *Mol. Microbiol.*, 84. 795–806.
- MSZ 21470-77 (1988): Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Mikrobiológiai vizsgálatok.
- Newman, M. C. (2015): *Fundamentals of Ecotoxicology*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 633.
- Odeyemi, O. A. – Alegbeleye, O. O. – Strateva, M. – Stratev, D. (2020): Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin. *Comp. Rev. Food Sci. Food Safety*, 19. 311–331.
- OECD (2019): Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing, Paris, France.
- Ojha, R. – Nandani, R. – Chatterjee, N. – Prajapati, V. K. (2018): Emerging role of circular RNAs as potential biomarkers for the diagnosis of human diseases. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 1087. 141–157.
- Olsen, N. V. – Røssvoll, E. – Langsrud, S. – Scholderer, J. (2014): Hamburger hazards and emotions. *Appetite*, 78. 95–101.
- Pieniak, Z. – Verbeke, W. – Scholderer, J. – Brunsø, K. – Olsen, S. O. (2008): Impact of consumers' health beliefs, health involvement and risk perception on fish consumption. *Brit. Food J.*, 110.
- Popp, J. – Váradi, L. – Békefi, E. – Péteri, A. – Gyalog, G. – Lakner, Z. – Oláh, J. (2018): Evolution of integrated open aquaculture systems in Hungary: results from a case study. *Sustainability*, 10. 177.
- Radó, J. – Kaszab, E. – Benedek, T. – Kriszt, B. – Szoboszlay, S. (2019): First isolation of carbapenem-resistant *Acinetobacter beijerinckii* from an environmental sample. *Acta Microbiol. Immunol. Hung.*, 66. 113–130.
- Robinson, L. – Thorn, I. (2005): *Toxicology and Ecotoxicology in Chemical Safety Assessment*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 157.
- Ródlér, I. (2004): *Táplálkozási ajánlások a magyarországi felnőtt lakosság számára*. Országos Egészségfejlesztési Intézet, Budapest.
- Sanseverino, J. – Eldridge, M. L. – Layton, A. C. – Easter, J. P. – Yarbrough, J. – Schultz, T. W. – Saylor, G. S. (2009): Screening of potentially hormonally active chemicals using bioluminescent yeast bioreporters. *Toxicol. Sci.*, 107. 122–134.
- Sanseverino, J. – Gupta, R. K. – Layton, A. C. – Patterson, S. S. – Ripp, S. A. – Saidak, L. – Simpson, M. L. – Schultz, T. W. – Saylor, G. S. (2005): Use of *Saccharomyces cerevisiae* BLYES expressing bacterial bioluminescence for rapid, sensitive detection of estrogenic compounds. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71. 4455–4460.
- Schraml, E. – Hackl, M. – Grillari, J. (2017): MicroRNAs and toxicology: A love marriage *Toxicol. Rep.*, 4. 634–636.
- Sterniša, M. – Mraz, J. – Možina, S. (2016): Microbiological aspects of common carp (*Cyprinus carpio*) and its processing – relevance for final product quality: a review. *Aquacult. Int.*, 24. 1569–1590.
- Urbanová, E. (1999): Selective medium for primary isolation of members of the tribe Proteeeae. *Folia Microbiol.*, 44. 629–634.
- Walker, C. (2014): *Ecotoxicology - Effects of pollutants on the Natural Environment*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 209.

Érkezett: 2020. szeptember

Szerzők címe: Urbányi B. - Bernáth G. - Csenki-Bakos Zs. - Bock I.
Szent István Egyetem, Halgazdálkodási Tanszék

Authors' address: Szent István University, Department of Aquaculture
H-2100 Gödöllő, Páter K. 1.
Urbanyi.Bela@szie.hu

Kriszt B. - Szoboszlai S. - Kaszab E. - Háhn J.
Szent István Egyetem, Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai
Tanszék
Szent István University, Department of Environmental Safety and
Ecotoxicology
H-2100 Gödöllő, Páter K. 1.

Czimmerer Zs.
Debreceni Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Biokémiai és
Molekuláris Biológiai Intézet
University of Debrecen, Faculty of Medicine, Department of
Biochemistry and Molecular Biology
H-4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

Jónás G. - Friedrich L.
Szent István Egyetem, Hűtő és Állattermék Technológiai Tanszék
Szent István University, Department of Refrigeration and Livestock
Product Technology
H-1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Kasza Gy. - Csenki E. - Izsó T.
Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
National Food Chain Safety Office
H-1024 Budapest, Keleti Károly út 24.

Palotás P.
Fishmarket Kft.
Fishmarket Ltd.
H-2040 Budaörs, Törökbálinti út 23.

Rákóczi K.
Innoprofit Kft.
Innoprofit Ltd.
H-2030 Érd, Budai út 3.

Nyíró-Fekete B. - Micsinai A. - Zánathy L.
Wessling Hungary Kft.
Wessling Hungary Ltd.
H-1045 Budapest, Anonymus u. 6.

Állattenyésztés és Takarmányozás

A szerkesztőbizottság (Editorial board):

Elnök (President): SCHMIDT János (Mosonmagyaróvár)

Főszerkesztő (Editor-in-chief): FÉBEL Hedvig

Társfőszerkesztő (Co-editor): MÉZES Miklós

Technikai szerkesztő: SIPICZKI Bojana

MANABE, N. (Japán),

ROSATI, A. (EAAP, Olaszország),

ANTON István (Herceghalom),

BALOGH Krisztián (Gödöllő),

BODÓ Imre (Szentendre),

DUBLECZ Károly (Keszthely),

HIDAS András (Gödöllő),

HOLLÓ István (Kaposvár),

HORN Péter (Kaposvár),

HULLÁR István (Budapest),

HUSVÉTH Ferenc (Keszthely),

KOMLÓSI István (Debrecen),

KOVÁCSNÉ GAÁL Katalin

(Mosonmagyaróvár),

MIHÓK Sándor (Debrecen),

PÓTI Péter (Gödöllő),

RÁTKY József (Budapest),

RÓZSA László (Herceghalom),

SZABÓ Ferenc

(Mosonmagyaróvár),

URBÁNYI Béla (Gödöllő),

WAGENHOFFER Zsombor

(Budapest),

ZSARNÓCZAI Gabriella (Szeged)

Szerkesztőség: NAIK Állattenyésztési, Takarmányozási és Húsipari Kutatóintézet

(Editorial office): NARIC Research Institute for Animal Breeding, Nutrition and Meat Science

2053 Herceghalom, Gesztenyés út 1.

mobil: (+36) 30 714 87 65, e-mail: sipiczki.bojana@athk.naik.hu

A cikkeket kivonatolja a CAB International (UK) a CAB Abstracts c. kiadványban

The journal is abstracted by CAB International (UK) in CAB Abstracts

Felelős kiadó (Publisher): Bozzay Péter ügyvezető, HOI Nonprofit Kft.

HU ISSN: 0230 1614

A lap az Agrárminisztérium tudományos folyóirata

This is a scientific quarterly journal of the Ministry of Agriculture founded in 1952

(„Állattenyésztés”) by Prof. József Czákó

A kiadást támogatja (sponsored by): Agrárminisztérium

MTA Könyv- és Folyóiratkiadó Bizottsága

Megjelenik évente négyszer

A folyóiratokra a kiadónál fizethet elő az alábbiak szerint.

Előfizetési szándékát kérjük, jelezze az info@agrarlapok.hu címen, vagy az alábbi postacímen:

Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., 1223 Budapest, Park u. 2.

A borítékra kérjük, írja rá: „Folyóirat-rendelés”.

Az előfizetési díjat a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. 10032000-00286662-00000017 számlaszámára való utalással egyenlítheti ki. Az átutalás közlemény rovatában szíveskedjen a folyóirat és az előfizető nevét feltüntetni. Előfizetési díj: 8500Ft/év

Bármely más információért forduljon bizalommal kollégáinkhoz a lenti elérhetőségek bármelyikén:

e-mail: info@agrarlapok.hu, telefon: 06-1/362-8100

Nyomta: OOK Press Kft.

8200 Veszprém, Pápai út 37/A

