

LÁTNI ÉS LÁTSZANI - AVAGY A FÉNY SZEREPE A HALAK ÉLETTANÁBAN

URBÁNYI BÉLA - HORVÁTH ÁKOS - STASZNY ÁDÁM - MÜLLER TAMÁS - LEFLER KINGA
- MÜLLERNÉ TRENOVSZKI MAGDOLNA - HORVÁTH LÁSZLÓ - FERINCZ ÁRPÁD - KO-
VÁCS RÓBERT - BOKOR ZOLTÁN - CSENKI-BAKOS ZSOLT

ÖSSZEFOGLALÁS

A halgazdálkodásban, hasonlóan a többi állattenyésztési ágazathoz, kiemelt jelentősége van a fénynek. Díszhalaink esetében a különleges színvilág kialakulásának egyik alapja, hogy a halak a korai fejlődésű stádiumban természetes és/vagy mesterséges fényben gazdag közegben nevelkedjenek. Haszonhalaink esetében a szaporodási készség és időpont egyik meghatározó tényezője a fény intenzitás és a nappalok hossza. Más haszonhalaink körében a fény befolyásolja az egyedek viselkedését, a predációs aktivitást, és a táplálkozási ingereket. A termelésben ún. fényprogramokat alkalmaznak, melyek a takarmányértékesítésre és a növekedésre egyaránt hatással vannak. Összességében a fény komplexen hat a halak fiziológiai folyamataira: a viselkedés, táplálkozás, szaporodás időben és térben egyaránt függ a fénytől.

SUMMARY

Urbányi, B. – Horváth, Á. – Staszny, Á. – Müller, T. – Lefler, K. – Müllerné Trenovszki, M. – Horváth, L. – Ferincz, Á. – Kovács, R. – Bokor, Z. - Csenki-Bakos, Zs.: TO SEE AND TO BE SEEN OR THE ROLE OF LIGHT IN FISH PHYSIOLOGY

Similarly to other areas of animal farming, light plays an important role in aquaculture. Growth in an environment rich in natural and/or artificial lighting is crucial for the development of color in ornamental fish. Light intensity and regime are determining factors in the reproduction and its timing in cultured fish. In other fish species, light influences behavior, predation and feeding. Light regimes are used in aquaculture production to regulate feed intake and growth. Generally, light has a complex effect on fish physiology: behavior, feeding and reproduction all depend on light in many aspects.

BEVEZETÉS

A halak életük során számtalan ingerrel találkoznak. A víz áramlása mechanikai, míg hőmérséklete hőingerként fejti ki hatását a halakra. A vízbe jutó fény fényingerként éri a halat, táplálkozása során pedig az ízingerek érzékelésével válik lehetővé számára, hogy a táplálékot megtalálja, majd elfogyassza. Az ingerek a hal testén belül is hatnak, amelyekre a halegyed érzékenyen reagál. A fény, mint szinte minden élőlény esetében kiemelt fontosságú a halak fiziológiájában. A fény befolyásolja a halak viselkedését, szaporodásbiológiai sajátosságait, táplálékszerzésüket, mozgásukat, vagyis szinte minden jelentősebb életfolyamatukat. Szinte nem találunk olyan halfajt, melyre a fény ne lenne kisebb-nagyobb hatással, ezért a fény szerepének kérdésköre komoly irodalommal és gazdasági alkalmazással bír.

A HALSZEM VÁZLATOS LEÍRÁSA ÉS A LÁTÁS

A halak szeme a filogenezis során a vízi életmódra specializálódott. Ezen felül a különböző fajok eltérő anatómiai és biokémiai specializációkkal rendelkeznek élőhelyüktől függően. Például az angolna szeme drasztikus változásokon megy keresztül, amikor egyik fejlődési szakaszból a másikba lép (Pankhurst, 1982).

A nyálkahalak látószerveit egy bőrréteg fedi, náluk még nem jelent meg a szemlencse és a szivárványhártya sem, ezért képlátásra nem képesek. Emellett kültakarójuk is tartalmaz fényérzékeny receptorokat.

Az ingoláktól kezdve a fejlettebb halak páros és általában nagy, oldalállású fejlett hólyagszemekkel rendelkeznek, amelyek segítségével képesek a képlátásra. Mivel szemeik a fej két oldalán helyezkednek el, látótereik alig, vagy egyáltalán nem fedik egymást. Előfordulnak azonban kicsi és felső állású szempárok is (*Siluridae*, *Ictaluridae*).

A szemek külön-külön is mozgathatók. Alakja a beérkező fény irányában lapított gömb. Felszínét porcokkal erősített ínhártya burkolja – ehhez tapadnak a szemmozgató izmok –, alatta pedig a szemet ellátó hajszalerek hálózatából álló érhártya található. Kívülről látható felületét az alig görbült, átlátszó szaruhártya alkotja, mögötte többnyire fehér gyűrűként látszik a szivárványhártya (írisz), melynek nyílása a pupilla. Ebben helyezkedik el a gömbölyű szemlencse, melyet a hozzákapcsolódó izmos sarlónyúlvány tart és mozgat (Dröscher, 1990).

A halak szeme szemhéj és könnyüreg nélküli (mivel a víz folyamatosan nedvesen tartja), fajonként változó fejlettségű. A környezethez való alkalmazkodás tehát a látás (szemek) közvetítésével megy végbe, ez a tulajdonság a megvakult halaknál elvész. Ilyen például a pontylazacfélék (*Characidae*) közé tartozó vak mexikói barlanglazac (*Astyanax mexicanus*), amelyek egész teste halvány rózsaszínű, mivel náluk nincs pigmentképződés.

A halak rövidlátóak (élesen általában 1-2 méterre látnak). A pontyalkatúak csak 1-5 centiméterre látnak élesen. A szem felépítése a szárazföldi gerincesekéhez hasonlít azzal a különbséggel, hogy szemlencse domborúságát a halak nem képesek változtatni, csak az ideghártyához való távolságát. Ha a szemlencsét az úgynevezett sarló alakú nyúlvány idegrostjai hátrébb húzzák, és ezzel az ideghártyához közelítik, akkor a hal számára lehetővé válik, hogy akár 10-12 méteres

távolságba is elláthasson. Ez a távolság körülbelül a maximum határ, de természetesen az egyes halfajok maximális „látótávolsága” változik. Ezt befolyásolja a környezet és az egyed szemének fejlettsége. A szem belsejét szintelen kocsonyás anyag, az üvegtest tölti ki, amelyen át a fénysugarak akadálytalanul érik el a szemgolyó hátsó falának belső rétegét, az ideghártyát (retina). A retinában található a receptorsejtek, a fényre érzékeny pálcikák és a színek érzékelésére szolgáló csapok. Az érzékelősejtekben keletkező ingerületet a látóideg szállítja a szemből az agyi központokba. A halaknál jelenik meg az ideghártya mögött elhelyezkedő ezüstös fényvisszaverő réteg, az úgynevezett tapetum lucidum (Dröscher, 1990).

Régóta tudják, hogy a környezeti hatások befolyásolni tudják a fejlődő látási rendszert. Ez különösen igaz olyan fajokra, amelyeknek születésükkor még fejletlen a látásuk. Ez fontos, mert a világítás egyes kezeléseknél, inkubátornál káros lehet a szemre nézve. Az utóbbi néhány évben az idegrendszer kutató tudományok a zebradániót (*Danio rerio*) használják modellállatként, mert ezek jól fejlett látási rendszerrel rendelkeznek. Emellett ugyanolyan a retinarendszerrel rendelkezik, mint a többi gerinces (Bilotta, 2000).

Tíz méteres mélységig a fény teljes tartománya eljut a vízbe, ezért eddig a mélységig elképzelhető lenne a halak színlátása. Azok a halak, amelyek ebben a mélységben élnek érzékelik a színeket, a mélytengeri halfajok esetében azonban teljes színvaktság figyelhető meg. Egyes porcos halak színvakok, míg mások, például a korallszirti halak színlátása még az emberénél is jobb. Biológusok a közelmúltban megállapították, hogy a korallszirti halak vagy korallsügérek az ultraibolya mintázat alapján ismerik fel fajtársaikat. Ha a szivárványos guppi (*Poecilia reticulata*) felfelé néz, csak a zöld színt ismeri fel, ha azonban tekintetét lefelé irányítja, színérzékelésük kiegészül a kékkel és az ibolyaszínnel. Ezért van az, hogy a hímek udvarlaskor az egyébként sárgás-szürke nőstények alatt táncolnak. A nász idejére jellemző színpompa is arra utal, hogy a halak látják egymás színét.

A látás élessége a környezet és az életmód függvényében szolgálja a halakat. A csuka (*Esox lucius*) és a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) látása igen éles, míg a fenékjáró küllő (*Gobio gobio*) meglehetősen gyenge látási viszonyok között kevésbé hagyatkozik élete során a látására. Megállapítható, hogy a sekély, világosabb vizekben élő halak látása a legfejlettebb. Növekvő mélységben, vagy zavaros vízben a halak fokozatosan átállnak egyéb érzékszerveik (hallás, vibrációérzékelés, szagérzékelés stb.) használatára.

Bilotta (2000) vizuális magatartásokat vizsgáló kísérlete kettős célt szolgált: egyfelől vizsgálta az optomotor hasznosságát a látási viselkedéssel kapcsolatosan, másfelől pedig a szélsőséges világítási körülmények hatását írta le. Ennek a módszernek előnye, hogy a jutalmazásra alapuló magatartáson (reflexive behaviour) alapul. Továbbá kényelmesen lehet a halakat vizsgálni, mert reakcióik a vizsgálati kamrában nem tér el az otthonukként szolgáló akváriumétól. A tanulmány azt is szemléltette, hogy a zebradánió látása a korral javul. Azt a gondolatot, miszerint a látási rendszer fejlődik születés után, a vizsgálatok alátámasztják, az eredmények hasonlóak más fajokon végzett kutatásokéhoz.

A tanulmány továbbá megmutatta, hogy a látási képességek bizonyos feltételek hatására megváltozhatnak. A folyamatos megvilágítás sokkal károsabb a látás fejlődésére, mint a folyamatos sötét. Úgy tűnt a világítás ciklikussága kiemelkedően fontos szempont a látási rendszer kifejlődésében. A késői folyamatos

megvilágítási szakasz is káros a látásra nézve, de koránt sem olyan káros, mint a korai szakasz esetén. Utólagos labormunkák során kiderült, hogy egy hiányzó sötét periódus elég ahhoz, hogy a követő megtermékenyítésnél a normális látási képességek csökkenését idézze elő a halakban. Fontos megjegyezni, hogy a korai látási visszamaradottságból fel tudnak épülni a zebadániók. (A hat napos korban abnormális körülmények között elmaradott látású egyedeket normális megvilágítási körülmények közé helyezték, és 21napos korukra minden teszt eredményük átlagos volt.)

VISELKEDÉS

A halak szeme elég lassan alkalmazkodik a gyors fényváltozásokhoz. Ez szerepet játszhat abban, hogy számos ragadozó hal hajnalban és alkonyatkor fokozottan aktív. Sok halfaj például kerüli a direkt erős fényt, és rögtön árnyékba vagy mélyebbre húzódik, amint felkel a nap, hiszen szemhéjuk hiányában mást nem nagyon tehetnek. Akváriumi halak esetében is megfigyelhető, hogy a lámpa felkapcsolásakor megijedhetnek. Hosszabb-rövidebb időszakra van szükségük, amíg magukhoz térnek, azaz el nem érik a nappal megszokott aktivitásukat.

A fény intenzitásának jelentős hatása van a ragadozó-zsákmány kölcsönhatásra. Erős fényben sokkal kisebb a zsákmányszerzésre irányuló hajlam, míg alacsony megvilágítás mellett a ragadozó viselkedés felerősödik (Cerri, 1983). Vizsgálatok szerint a menekülési kényszert maga a ragadozó viselkedés váltja ki, és csak másodlagos jelentősége van a ragadozó felismerésének.

Norvég kutatók megállapították, hogy a ketreces tartásban nevelt atlanti lazac (*Salmo salar*) viselkedését egyaránt befolyásolják a fényviszonyok. Megfigyelték, hogy mind a víz alatti lámpák elhelyezése, mind a világítás erőssége hat a halak ketrecen belüli helyválasztására. Azok a csoportok, melyeket a ketrec alsó harmadában világítottak meg, rendszeresen mélyebbre úsztak és jobban szétszóródtak, mint azon csoport egyedei, melyek a felszínhez közel kapták a megvilágítást. Abban az esetben, amikor a lámpákat a felszíni rétegből mélyebbre (15m) helyezték, a halak mozgása is megváltozott, bátran úsztak mélyebbre. Ha a megvilágítás csak a természetes fotoperiódusra és a felszínhez közel (1m) lévő lámpákra korlátozódott, a lazacok a felszínhez közel tömörültek, függetlenül a napszakoktól és az évszakoktól.

A halak alapvető viselkedéséhez, életciklusukhoz hozzátartozik a kisebb-nagyobb távolságra történő vándorlás. Legismertebbek a lazacok és a tokfélék, valamint az angolnák vándorlási szokásai. Az ívási időszak közeledtével a lazacok és a tokfélék a tengerekből a folyón felfelé gyakran több ezer kilométer távolságot is megtesznek, míg az angolnák az édesvizekből a tengerek felé vándorolnak. A hazai halfajok a vízfolyások mentén változtatják helyüket. A hossz-menti vándorlás mellett fontos az oldalirányú, mellékágakba, csendesebb élőhelyekre, vagy nagyvíznél a holtágakba történő kijutás, vándorlás is. Ezeknek a vándorlásoknak nem csak az ívóhelyek felkeresése az oka, hanem folyamatos mozgás a kedvezőbb táplálék ellátottsággal rendelkező szakaszok felkutatása érdekében. Fontos továbbá, hogy a víztesten keresztül tudnak nézni és az égitestek helyzete alapján tájékozódnak. Téves azonban az a nézet, miszerint a vándorló fajok azért jönnek fel gyakran a felszínre vagy ugranak ki a vízből, hogy több mindent lássanak. A fény

visszaverődésének szöge is segíti a halakat a tájékozódásban. A halak extraoptikus fotoreceptorairól már a '90-es évek kezdete óta rendelkezünk információkkal. A halak tobozmirigye szövettanilag hasonló a gerincesek retinájához. Számos kutatási eredmény bebizonyította, hogy a tobozmirigy fotoszenzikus képességgel rendelkezik, azonban arra még nem találtak választ, hogy önmagában ez a mirigy elegendő lenne-e a tájékozódáshoz (Smith, 2011).

SZAPORODÁSBIOLOGIA

A sziámi harcoshal (*Betta splendens*) esetében a fényperiódus változása, azaz a világos (V) és sötét órák száma (S) jelentősen befolyásolta a szaporodásbiológiai tulajdonságokat. Kiegyenlített megvilágítás esetében (16V:8S és 12V:12S) szignifikánsan nőtt a párok ívási gyakorisága és a leívtott ikraszemek száma, mint a szélsőségesebb fényperiódus (24V:0S, 20V:4S és 8V:16S) esetében. Az ikraszemek térfogata és a perivitellinális tér szignifikánsan nagyobb volt a 24V:0S megvilágítás mellett tartott halakban, amelyek egyébként a legkevesebb ikrát is termelték (Giannecchini és mtsai, 2012).

A folyamatos, 24 órás megvilágítás csökkentette a nem kívánatos módon korán ivaréretté váló tejes egyedek számát tengeri süllő (*Dicentrarchus labrax*) fajban. Az éjszakai sötét időszak hatására megnőtt a spermatogenezis és spermáció során termelődő luteinizáló hormon (LH) koncentrációja. Folyamatos megvilágítás mellett a hormonszint-növekedés elmaradt. A spermatogenezis során a folyamatos megvilágítás gátolta a szexuáliszteroidok, különösen a tesztoszteron szekrécióját (Bayarri és mtsai, 2009). A folyamatos megvilágítás hasonló hatását figyelték meg sügérben (*Perca fluviatilis*) és tengeri süllőnél. A 24 órás megvilágítás gátolta a gametogenezist, és az ennek kitett halak gonadoszomatikus indexe (GSI) 1% alatt maradt a vizsgálati időszak során. Jelentős különbséget figyeltek meg a folyamatos 16V:8S fényperiódus mellett tartott halak és a természetes megvilágításnak megfelelő körülmények között tartott halak gametogenezisében is. Az állandó fényperiódus esetén az ikrás egyedek 20%-ában, míg a tejesek 40%-ában indult meg az ivarsejtek fejlődése, szemben a természetes körülmények között tartott egyedekkel, amelyek mindegyike gyors és az évszaknak megfelelő fejlődést mutatott (Migaud és mtsai, 2004).

Medaka vagy rizshal (*Oryzias latipes*) fajban a fényklíma 16V:8S-ről 8V:16S-re változtatása után 14 nappal teljesen megszűnt az ívás. Az eredeti fényklíma visszaállítása után újabb 14 nap kellett ahhoz, hogy az összes kihelyezett pár újra elkezdjen ívni (Koger és mtsai, 1999). Szívárványos pisztrángban már viszonylag korán megfigyelték a fényklíma ivarérett és ívást befolyásoló hatását. Ikrás halakat tettek ki 24V:0S, 16V:8S, illetve 8V:16S megvilágításnak februártól kezdve. A kontroll csoportként használt, természetes napi és évi ritmusú megvilágítás mellett tartott, és decemberben ívó egyedekhez képest a 24V:0S és 16V:8S csoport tagjai két hónappal korábban, a 8V:16S csoport tagjai pedig öt hónappal később kezdtek el ívni (Duston és Bromage, 1986).

A japán killifish (*Fundulus heteroclitus*) állományban a tavasszal emelkedő hőmérséklet és a hosszabbodó nappalok hatására indul be az ivarsejtek fejlődése, érése. Nyáron, mikor csökkenni kezd a megvilágított órák száma, intenzív regressziós folyamatok zajlanak az ivarszervekben, amit az őszi hűvösebb idő

és az újra beinduló ivarsejt fejlődés követ. Télen a fejlődés lelassul, szinte megáll, egészen addig, míg a hőmérséklet újra el nem éri a 22 °C fokot és a megvilágított órák száma 16-ra növekszik. Ehhez hasonló éves ritmus jellemző a halak többségére (Akio, 2003).

Egy amerikai sügérnél (*Cichlasoma dimerus*) a megvilágított órák száma hat az ívást megelőző viselkedésre, ennél a fajnál ugyanis az ívást megelőzi a párválasztás. Azonos hőmérsékleten tartott halak esetében azokban a csoportban, ahol a megvilágított órák száma alacsony volt (8V:16S), a territoriális viselkedés és az agresszivitás nem volt annyira jellemző, mint abban a csoportban, ahol a megvilágított órák száma magasabb volt (14V:10S). A nőstények a kísérlet során egyszer sem választottak párt maguknak az alacsony fotoperiódusos csoportból. Hormon vizsgálatokkal igazolták, hogy a rövid ideig megvilágított medencéből kikerült egyedekben a GnRH, valamint a β -LH, PRL és a GH szint is alacsony szinten maradt. Megállapítható, hogy a megvilágítás hossza hatással van a *Cichlasoma dimerus* szaporodási viselkedésére és élettanára (Ana és mtsai, 2010).

GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

A hosszabb nappali megvilágítás technikája a kezdeti próbálkozások után bevezetésre került a pisztrángtenyésztés gyakorlatába és mára lehetővé tette, hogy akár júliusban is sikeresen lehessen a halakat szaporítani. A módszer hátrányar, hogy az ívás időpontjának korábbra hozatalával arányosan csökkent a stimulációra reagáló és sikeresen szaporítható egyedek száma (Bromage és mtsai, 2001). A nagy egyedszámú (több ezer) tenésszállományokkal rendelkező pisztrángtelepeken ez nem jelent problémát, mivel az ívási időszakon kívül nyert szempontos ikra magasabb értékesítési ára kompenzálja a termelőket.

Az atlanti lazac tenyésztésben a korábban végzett kísérletek eredményeként mesterséges fénytesteket használva, a 25m mély ketrecekben irányíthatóvá vált a halak elhelyezkedése. A fénytestek egyedi elhelyezésével megakadályozható a halak felszíni tömörülése és elérhetővé válik az egyedek egyöntetűbb eloszlása a különböző vízrétegekben. Ez maga után vonja az élettér jobb kihasználtságát, a takarmányfelvétel-képesség fokozódását, a halak növekedésének optimális ütemét, vagyis a gazdaságos termelést.

IRODALOMJEGYZÉK

- Akio, S. (2003): Effect of photoperiod and temperature on gonadal activity and plasma steroid levels in a reared strain of the mummichog (*Fundulus heteroclitus*) during different phases of its annual reproductive cycle. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 131. 310-324.
- Ana, F. – Maximiliano, C. – Graciela, R. V. – Cristina, M. – Matías, P. (2010): Photoperiodic modulation of reproductive physiology and behaviour in the cichlid fish *Cichlasoma dimerus*. *Physiol. & Behav.*, 99. 425–432.
- Bayarri, M.J. – Zanuy, S. – Yilmaz, O. – Carrillo, M. (2009): Effects of continuous light on the reproductive system of European sea bass gauged by alterations of circadian variations during their first reproductive cycle. *Chronobiol. Int.*, 26.2.184-199.

- Bilotta, J.* (2000): Effects of abnormal lighting on the development of zebrafish visual behavior. *Behav. Brain Res.*, 116:81-7.
- Bromage, N.R. – Porter, M.J.R. – Randall, C.F.* (2001): The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture*, 197. 63-98.
- Cerri, R.D.* (1983): The effect of light intensity on predator and prey behaviour in cyprinid fish: factors that influence prey risk. *Anim. Behav.*, 31. 736-742.
- Dröscher, V.B.* (1990): Ahogy az állatok látnak, hallanak és éreznek. Tessloff és Babilon Kiadó.
- Duston, J. – Bromage, N.* (1986): Photoperiodic mechanisms and rhythms of reproduction in the female rainbow trout. *Fish Physiol. Biochem.*, 2. 35-51.
- Gianecchini, L.G. – Massago, H. – Kochenborger Fernandes, J.B.* (2012): Effects of photoperiod on reproduction of Siamese fighting fish *Betta splendens*. *R. Bras. Zootec.*, 41. 821-826.
- Jon-Erik, J. – Jan, E. F.* (2004): Use of artificial light to control swimming depth and fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in production cages. *Norway Aquaculture*, 233. 269–282.
- Kroger, C.S. – Teh, S.J. – Hinton, D.E.* (1999): Variations of Light and Temperature Regimes and Resulting Effects on Reproductive Parameters in Medaka (*Oryzias latipes*). 61. 1287-1293.
- Migaud, H. – Fontaine, P. – Kestemont, P. – Wang, N. – Brun-Bellut, J.* (2004): Influence of photoperiod on the onset of gonadogenesis in Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture*, 241. 561-574.
- Pankhurst, N.W.* (1982): Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel, *Anguilla anguilla* L. *J. Fish Biol.*, 21. 417-428.
- Smith, R.J.F.* (2011): The Control of Fish Migration in Zoophysiology, Springer-Verlag, Berlin, 1-243.

Érkezett: 2015 október

A szerzők címe: Urbányi B. – Horváth Á. – Staszny Á. – Müller T. – Leffler K. –
Müllerné Trenovszki M. – Horváth L. – Ferincz Á. – Kovács R. – Bokor Z. -
Csenki-Bakos Zs.
Szent István Egyetem, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet,
Halgazdálkodási Tanszék

Author's address: Szent István University, Department of Fishbreeding
H-2100 Gödöllő, Páter János utca 1.
urbanyi.bela@szie.mkk.hu