

HALGENETIKAI KUTATÁSOK FAJTAJAVÍTÁSI ÉS ÁLLOMÁNY-MEGŐRZÉSI CÉLLAL

BERCSÉNYI MIKLÓS – SZÜCS RÉKA – ORBÁN LÁSZLÓ – LEHOCZKY ISTVÁN –
JENEY ZSIGMOND

ÖSSZEFOGLALÁS

Mivel a legtöbb hal utódszáma más tenyésztett állatainkhoz képest sok nagyságrenddel is magasabb lehet, ezért a genetikai beavatkozások itt – egyik generációról a másikra – lényegesen gyorsabb, hatékonyabb változásokat okozhatnak. Munkánkban megpróbáljuk felvázolni azokat az eljárásokat, eredményeket, problémákat, amiket a halak tenyésztésbe vonása során alkalmaztak, és amik növelték, vagy veszélyeztették az állományok genetikai értékét.

SUMMARY

Bercsényi, M. – Szűcs, R. – Orbán, L. – Lehoczky, I. – Jeney, Z.: FISH GENETIC RESEARCH FOR STOCK IMPROVEMENT AND PRESERVATION

Since the offspring number in most fish is higher than those of other farmed animals, the genetic manipulations – from one generation to the other – can lead to faster and more efficient changes. In this study the authors try to outline the methods, results and problems applied, reached or caused in the course of selection of fish, increasing or endangering the genetic values of the stocks.

A HALNEMESÍTÉS KEZDETEI

Már a piramiskamrák falfestményein is látszik, hogy a fáraó kerti tavaiban halakat tartottak. Ekkor még valószínűleg nem történt tudatos szelekció. Az ezer éves múltra visszatekintő kínai haltenyésztés is, szinte a legújabb időkig, az évről évre a természetes vizekből befogott ivadékokon alapult. Egy kivétel azonban biztosan volt, az aranyhal. Ennek, a kedvtelési célból az ezüstkárászból kitenyésztett hálnak a szelekciója már ezer évvel ezelőtt elkezdődött, és mára már több mint harminc jól elkülöníthető tenyésztési változatát alakították ki. Az étkezési céllal tenyésztett halak közül kétségtelenül a ponty volt az első, amelyiken a mai értelemben vett mesterséges tömegszelekció megkezdődött. Ez a középkorban, Európában, a kolostorok melletti halastavakban történt. Több ilyen, sok százéves tórendszer Bajorországban, Csehországban még ma is működik, de a Tatai Öregtó is már Zsigmond király óta üzemel. Ekkor alakították ki a ponty magas hátú, nemes változatát, és a pikkelymutáns tükrös pontyot is. Mivel a halak élő szállítása abban az időben igen nehéz feladat volt, ezért a halgazdaságok saját szaporító állományokat hoztak létre. Az idők során, a mesterséges szelekció segítségével helyi változatok, ún. tájfajták alakultak ki. Érdekes módon, a mesterséges szaporítást mégsem a pontyon, hanem pisztrágon alkalmazták először, és onnan kezdve a pisztráng nemesítése a ponttyal párhuzamosan folyt. Ma közel 100 édesvízi és tengeri halfajon végeznek házasítást, illetve fajtajavító genetikai munkát, ami komoly szerepet játszik az akvakultúra fejlődése imponáló ütemének fenntartásában (Jeney és mtsai, 2011).

A NEMESÍTÉS CÉLJAI ÉS MÓDSZEREI

A nemesítés céljai tekintetében a házasított nagyállatok és a halak között sok a hasonlóság. A növekedési erély fokozása igen fontos a haltenyésztők számára is. Ezen állhat vagy bukhat pl. az, hogy az étkezési méretű halat adott körülmények között két-, vagy hároméves üzem módban lehet-e megtermelni. A megmaradás, vagy túlélés szerepe már kevésbé lényeges. Ennek oka a nagy utódszám. A viszonylag alacsony megmaradás azonban a halak esetében is csak az egészen fiatal korosztályoknál – zsenge, vagy előnevelt ivadék – megengedett. Mivel pl. ponty, vagy süllő nagyüzemi tavi előnevelésnél az 50%-os megmaradás átlagosnak mondható, ezért ezen korosztály megmaradásának fokozására nem is folytatnak direkt szelekciós munkát. Az idősebb, és nagyobb méretű korosztályoknál már természetesen fontos, hogy a megmaradás is megfelelő legyen. Ezt, a tenyésztők számára fontos, komplex, több tulajdonság eredőjeként összeálló mutatót, ma már összetevőnként is vizsgálják. Egy betegség ellenálló képesség, vagy jó oxigénhiány tűrés éppúgy elősegíti a megmaradást, mint pl. a ragadozó elkerülés képessége. A takarmány-értékesítés a korábbi, extenzív nevelési körülmények között szintén nem volt igazán lényeges. Ma azonban, amikor intenzív nevelésnél a takarmányozás a költségek több mint felét teszi ki, már nagyon fontossá vált ez a tulajdonság is.

A halakon alkalmazott nemesítési módszerek alapvetően azonosak a háziállatokon alkalmazott módszerekkel. A különbségek leginkább abból adódnak, hogy

sok tenyésztésbe vont halfajnál még gyakorlatilag vad állományokkal állunk szembe, és csak most kezdődik meg a mesterséges szelekció, illetve, hogy halaknál szélesebb az a paletta, ami a gyakorlatban alkalmazható. A csuka, süllő, vagy kecsge szaporítása például a legutóbbi időig, kevés kivételtől eltekintve vad állományokból történt. A módszerek palettája pedig a halaknál azért szélesebb, mert pl. egyszerű szaporítás, ivarátalakítás, poliploid, steril, vagy monoszex állományok létrehozása a halak szaporodási módjának sajátosságai következtében ma még csak ezen állatainknál végezhető el. Az alkalmazott nemesítési módszerek, és az ezektől várt termelési mutatók generációnkénti változásának elvi sémáját az 1. ábra mutatja.

1. ábra Nemesítési eljárások hatása a termelési mutatókra a generációk függvényében

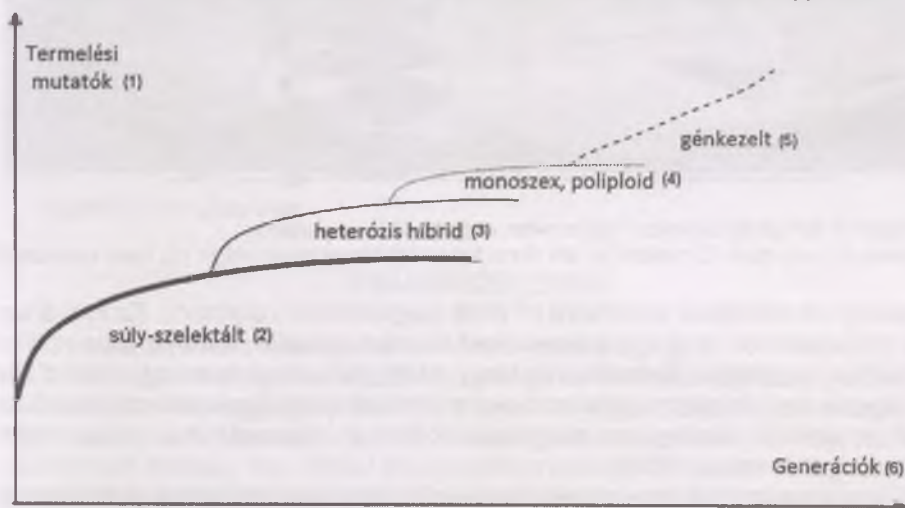


Figure 1. Effect of genetic methods on production traits in function of generations
Production parameters (1), weight selected (2), heterosis hybrid (3), monosex, polyploidy (4), gene-manipulated (5), generations (6)

TÖMEGSZELEKCIÓ A HALAK FAJTAJAVÍTÁSÁBAN

A tömegszelekció, a szülők fenotípus szerinti kiválogatásán alapuló ősi módszer, a halakon rendkívül hatékony lehet. Ennek oka az, hogy a magas utódszám lehetővé teszi, hogy a populációt kevés, extrém esetben egy szaporító pár utódaival reprodukáljuk. Elvileg egy, a Balatonban élőnek megfelelő nagyságú ponty populáció, akár egy szaporító pártól is létrehozható volna. A haltenyésztő számára nem csak az a fontos, hogy a termelő tavában a halak gyorsan növekedjenek, hanem az is, hogy az egyedek közel azonosak legyenek, azaz kicsi legyen a szórás (2. ábra). A kis szórás kívánalma majd minden más tulajdonságra is vonatkozik.

A tömegszelekció sikere, a genetikai előrehaladás alapvetően két dologtól függ: a tulajdonság populációra vonatkozó örökölhetőségi értékétől (h^2), valamint az alkalmazott szelekciós indextől. Egyéb tenyésztett állatainkhoz képest halakon

2. ábra A tógazda szelekciós munkájának célja: nagyobb átlagsúly és kisebb szórás

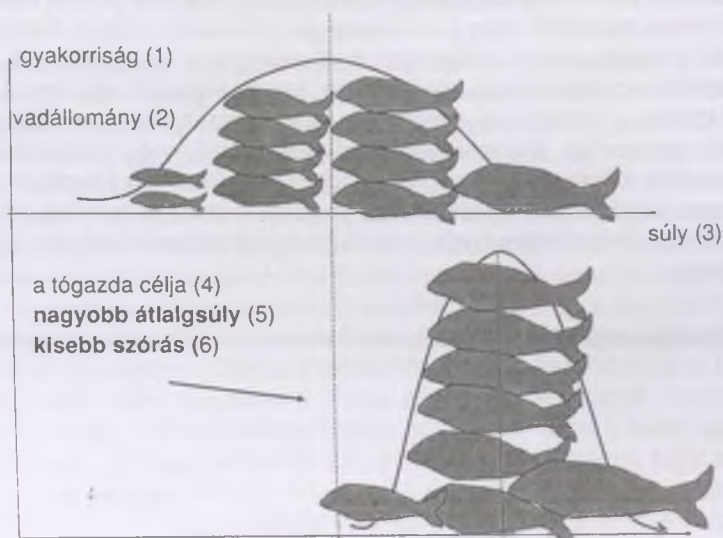


Figure 2. Aim of the selection: higher mean weight and lower variance
frequency (1); wild stock (2); weight (3); aim of the farmer (4); higher mean weight (5); lower variance (6)

a testsúly növekedésre vonatkozó h^2 érték meglehetősen alacsony. Ez nyilvánvalóan abból adódik, hogy a méréseket néhány tömegszelekción már túlesett állományokon vizsgálták. (Bercsényi és Nagy, 1986; Bercsényi és mtsai, 1987) Ezzel szemben a tenyésztésbe újonnan bevont fajoknál, vagy azok vad populációinál ezek az értékek lényegesen magasabbak ($\leq 0,3$) (Bercsényi és mtsai, 1991; Dupontnivet és mtsai, 2008).

Ekkor azonban, bár az első néhány generációban igen jelentős a genetikai előrehaladás, a populáció additív genetikai varianciája rendkívül gyorsan kimerül. Ez az örökölhetőség (h^2) extrém csökkenéséhez vezet, és a továbbiakban a tömegszelekció hatástalanná válik. Több olyan eset is ismert, amikor kisszámú, vagy csupán egy családból származó halakból próbáltak meg szelekciós programmal fajtajavítást végezni, sikertelenül. Az egyik ilyen a II. világháború után a Našici halgazdaságból Izraelbe kivitt néhány egyed pontyból végzett szelekció, amit a harmadik, eredménytelen tömegszelekciós kiválogatás után abba kellett hagyni. A ma ott használt pontyfajtákat később máshonnan importált fajták hibridizációjával hozták létre. A nyolcvanas évek végén a Brazíliába exportált hibrid pontyaink ugyan az első generációban kitűnően teljesítettek, de az azokon végzett helyi tömegszelekcióval már csak gyöngébb állományokat tudtak létrehozni.

Egy hazai tógazdaságban több generáción keresztül végeztek kiválogatást egy bőrponty vonalra. A munka eredményeként ma olyan bőrpontyuk van, amelyik a gyakorlati haltermelésben is kiválóan megállja a helyét és az utódokban semmiféle letalitást nem mutat. Ez azért is érdekes, mert ellentmond annak a modellnek, amivel közel nyolcvan éve leírták a pikkelymintázat öröklődését, és amit azóta majd minden haltenyésztési tankönyv átvett (Kirpichnikov és Balkashina, 1935 és 1936). A pikkelymintázat öröklődésének vizsgálatában előrelépést jelentett a pon-

tyon és zebradánió is meglévő tükrös fenotípusok (3. ábra) genetikai feltérképezése. Kiderült, hogy a korábbi modell S génjének két allélje egy fibroblaszt növekedési faktor receptorgénje (Rohner és mtsai, 2009). Most úgy tűnik, hogy a pikkelymintázat öröklésének leírása jóval bonyolultabb, mint ahogy azt a korai modellben feltételezték. A közelmúltban találtak egy olyan amúrt (*Ctenopharyngodon idella*) is ami az oldalvonal-soros pontyével mutat egyezést (3. ábra, *Simonics és Sári, 2011*).

3. ábra Oldalvonal-soros amúr



Figure 3. Linear grass carp

CSALÁDSZELEKCIÓ

Ezt a fajtajavítási módszert halakon csak viszonylag későn alkalmazták. Ez abból ered, hogy a halakat születésükkor sokáig nem tudták megjelölni. Jelölés hiányában viszont az együttnevelést követően nem lehetett azonosítani az egyedek származását, ami lehetetlenné tette, a fenotípusos teljesítménynek egy származáshoz való kötését. Ha viszont elkülönítetten nevelték az ivadékokat, úgy az eltérő környezeti hatás (tóhatás) olyan erősen befolyásolta a teljesítményt, hogy az elfedte a genetikai variációt. Elvileg ezt kellően nagyszámú tavi ismétléssel ugyan ki lehetett volna védeni, azonban anyagi korlátok miatt erre nem került sor. Ebben a tekintetben az hozott változást, hogy néhány fajnál kifejlesztették azok kimondottan iparszerű, uniform környezetben való nevelését. Norvégiában például az atlanti lazac és a szivárványos pisztráng tenyésztése kizárólag mesterséges tápon, és mesterséges környezetben, kádakban vagy ketrecekben folyik. Itt a kádak által okozott környezeti variancia szinte teljesen elhanyagolható, és a lazac, vagy pisztráng családok teljesítménye jól köthető a genetikai háttérhez. Ez az elvileg egyszerű módszer, nagyon komoly szervezettséget, tervszerű nevelést és az adatok számontartását igényli. Eredményességét igazolja, hogy egy 5 generáción át folytatott család szelekcióval az 1. táblázatban látható, imponáló eredményeket érték el (*Thodesen és mtsai, 1999*).

Hasonlóan eredményes volt egy francia csoport sebes pisztrágon 4 generáción át folytatott család szelekciója is, ahol a szelektált vonal a kontrollhoz képest több, mint 110%-os testsúly többletet ért el egy 260 napos nevelési tesztben (*Chevassus és mtsai, 2004*) (4. ábra).

Egy ilyen család szelekciós modell került alkalmazásra az EUROCARP projekt során is, amelyben ponty fajták és hibridjeik növekedésének vizsgálata mellett

1. táblázat

Az atlanti lazac termelési mutatóinak változása 5 generációs súlyszelekció után

Változás a vad (kontroll) populációhoz képest(1)	(%)
Növekedés(2)	+113
Takarmány fogyasztás(3)	+40
Fehérje visszatartás(4)	+9
Energia visszatartás(5)	+14
Takarmányértékesítés (FCR)(6)	-20

Table 1. Change of production parameters of Atlantic salmon following 5 generations of body weight selection

Change compared to the wild (control) population (1); growth (2); feed consumption (3); protein retention (4); energy retention (5); feed conversion rate (6)

igen fontos volt azok specifikus kórokozókkal szembeni ellenállásának a tanulmányozása. A munka érdekes megállapítása volt, hogy pl. az *Aeromonas hydrophilla* fertőzésnek jól ellenálló családok a vírussal (CSV) szemben meglehetősen fogékonyak voltak, míg a baktériumra fogékonyak jobban ellenálltak a vírusfertőzésnek.

4. ábra Négy generáción át család szelekcióval javított pisztrángok utódjainak és a kontrollnak a növekedése (Chevassus és mtsai, 2005)

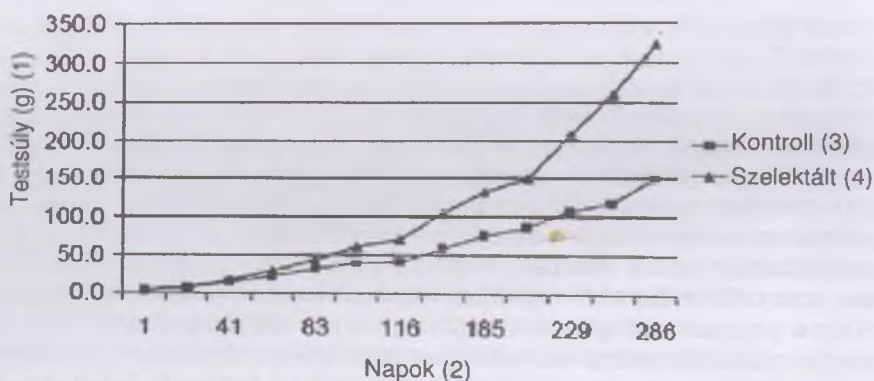


Figure 4. Growth of four generation family selected and control rainbow trout (Chevassus et al. 2005)

body weight (g) (1); days (2); control (3); selected (4)

GYORS BELTENYÉSZTÉSI MÓDSZEREK, KLÓNOK

Ahhoz, hogy termelési célra, évről évre, kis genetikai szórású, de egyedeiben nem túl magas homozigotizált állományokat hozzunk létre, kellően homozigóta vonalakkal (halak esetében elég esetleg 1–2 egyed is) kell, hogy rendelkezünk. Bár sok halgazdaság hosszú évek óta csak saját anyaállománnyal dolgozik, azonban önkéntelenül is elkerüljük a magas homozigotizációt, mert a szaporító állomá-

nyok kiválasztásánál a legjobb fenotípusokat válogatják ki. Ezek pedig sok gén tekintetében is heterozigóták. A hagyományos beltenyésztési módszerekkel a tógazda számára nagyon hosszú, költséges, és bizonytalan a megfelelően beltenyésztett vonalak kialakítása. Halakon sikerült olyan, a gyakorlatban is használható egyszülős szaporítási módszereket kidolgozni, amikkel akár az első generációban is lehetséges egymástól genetikailag különböző, de egyedeiben szinte teljes homozigotizást mutató utódokat létrehozni. A második egyszülős szaporítású generációban pedig már minden utód homozigóta, és egymással izogén. A módszer *Hertwignek* (1911) egy éppen száz éves megfigyelésén alapul. Röntgensugárral kezelt békaspermával termékenyített békapetéket, és a dózis függvényében talált olyan túlélőket, amelyek parthenogenikusak voltak.

Az egyszülős szaporítások közül megkülönböztetünk anyai (gynogenikus) és apai (androgenikus) változatokat, annak megfelelően, hogy az utódnak átadott genetikai anyag az ikrából, vagy a spermiumból származik.

A gynogenikus szaporítási technikák kifejlesztésében pontyon orosz kutatók jártak elől, akik pontyon, csikhalon és tokon is dolgoztak (*Golovinskaya és Romashov*, 1965; *Neifakh*, 1956) az ötvenes évek végétől. A hetvenes években azonban egy nagyszabású hazai ponty genetikai munka is indult, az ELTE és a TEHAG együtt-működésében. Ebben sok alapkutatási és gyakorlati eredményt sikerült elérni. A program során előállították egy anyahal 4. gynogenikus generációját. Az első három generációt meiotikus (a második poláris test visszatartásával) az utolsót pedig mitotikus (az első mitózis citoplazma feleződésének megakadályozásával) hozták létre. A külső fenotípusos markereken túl biokémiai úton is (vérférfje polimorfizmus) igazolták a gynogenezis megtörténtét (*Nagy és mtsai*, 1978).

Az androgenikus szaporítás kifejlesztése halakon jóval később történt, mint a gynogenikus. *Purdom* (1969) lepényhalon még csak embriókat tudott létrehozni androgenezissel, *Thorgaard és mtsai* (1990) viszont már életképes pisztrángivadékot hoztak létre ilyen módon tetraploid tejes spermájával. *Grunina és mtsai* (1995) tokhalon is létrehoztak diploid életképes ivadékokat. Magyar kutatók két faj közötti androgenezissel diploid aranyhalakat keltettek ki ponty ikrából (*Bercsényi és mtsai*, 1998) Ma már igen sok halfajon végeztek egyszülős szaporítást, amiről *Komen és Thorgaard* (2007) adnak jó összefoglalást. Az egyszülős szaporítási móddal létrehozott kiőnokat a tenyésztői alkalmazásokon túl jól fel lehet használni az alapkutatásokban is.

HETERÓZIS HIBRIDEK

A heterózis hibridizációnak a halakon messze nincs olyan múltja, mint a tömegszelekciónak. Ennek sok oka közül kettő a döntő:

- A tenyésztő számára nagyon összetett és nyűgös a vonalak fenntartása és keresztezése.
- Az első ránézésre egyszerűnek tűnő hal növekedési tesztek szakszerű elvégzése túl sok gyakorlati nehézségbe ütközik, és komoly szakértelmet igényel. A gyakorlati nehézségek közül eddig a legdöntőbb az ivadékok megjelölhetősége volt.

Mégis, kitartó munka és sok ismétlés eredményeként kiderült, hogy egyes hazai ponty „tájfajtáknak” a keresztezéséből igen jól teljesítő hibrideket lehetett létrehozni, pl. a 215-ös vagy P31-es jelű hibridek (Bakos, 1979). Ugyanakkor meglepő volt, hogy egy nagyon magasan beltenyésztett ponty vonal egy-egy harmadik, illetve negyedik gynogenikus generációjának keresztezésével jobban növekedő utódokat kaptak, mint a korábbi legjobb hibridek (Nagy és mtsai, 1984). Az is látszott, hogy egyáltalán nem minden hibrid teljesít jobban, mint a szülők jobbika. Ezt egy újabban végzett nagyszabású vizsgálat is igazolta. A hibridek testsúly teljesítményének különbözősége a tiszta fajtákétól -14% -tól $+27\%$ -ig terjedt (Nielsen és mtsai, 2010). Míg a tömegszelekció hatékonyságának előrejelzésére megfelelő, más állatokon is eredményesen alkalmazott modell állt rendelkezésre, addig a hibridizációs fajtajavítás lehetőségének előrejelzésére ki kellett dolgozni egy matematikai modellt. A modell segítségével előre jelezhetővé vált annak a valószínűsége, hogy az akkor a HAKI fajtagyűjteménye használatával, mekkora tesztkapacitással, milyen valószínűséggel hozhatók létre az átlagot

5. ábra Az átlagnál 0–90%-kal jobban teljesítő hibridek megtalálásának valószínűsége, 1–20 hibrid tesztelése során, a HAKI fajtagyűjteményéből

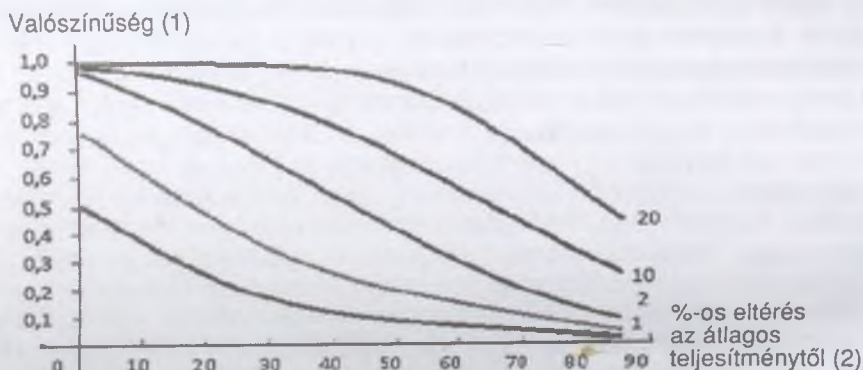


Figure 5. Probabilities of finding 0-90% better than average performing hybrids if testing 1–20 crosses from the HAKI's live gene bank
Probability (1), difference from average in % (2)

egy kívánt értékkel meghaladó teljesítményű hibridek (5. ábra) (Bercsényi és Nagy, 1986).

A fajhibridek néhány kivételtől eltekintve halak esetében nem rendelkeznek előnyös tulajdonságokkal. A kivételek közé tartozik pl. a viza és a kecsege hibridje, aminek előnye a kecsegénél jóval intenzívebb növekedése mellett a vízénél sokkal korábbi ivari érése. Egy másik jól bevált fajhibrid a napfény sügér (sunshine bass), amelyiket egy édesvízi és egy brakkvízi sügérféle keresztezésével hoznak létre. A természetben egymással szinte soha nem szaporodó két süllőfaj, a fogassüllő és a kőüllő hibridjét is előállították, de egyelőre nem lát-szik olyan előnye, ami miatt tenyésztésre érdemes volna (Müller és mtsai, 2010).

POLIPLOID ÉS MONOSZEX ÁLLOMÁNYOK LÉTREHOZÁSA

Poliploid, vagy monoszex állományok létrehozásának csak olyan fajoknál van jelentősége, amelyeknél ez az állapot valami előnyös tulajdonsággal jár. Ilyen lehet pl. jobb növekedés, szaporodás képtelenség, előnyösebb magatartás, vagy az ivarra jellemző értékes termék (pl kaviárnak való ikra). A triploid halak általában zavart ivari fejlődésűek, legtöbbször sterilek. A sterilitás oka többek között az, hogy az ivarsejtek kialakulásához vezető meiózis során a homológ kromoszómák párosodása, illetve az utódsejtben történő megoszlása nem tökéletes, és így normális továbbfejlődésre képtelen aneuploid sejtek jönnek létre. Ez a sterilitás előnyös pl. abban az esetben, ha valahol tájidegen halat szeretnének nevelni, és minimalizálni akarják annak a veszélyét, hogy az természetes vizekbe kerülve nem kívánatos módon elszaporodjon. A triploidok növekedési képességéről fajok szerint különböző, néha egymásnak ellentmondó beszámolók jelentek meg (*Tiwarý és mtsai, 2004*) Jelen cikk szerzőinek személyes tapasztalata, hogy triploid pontyok és amúrok teljesítménye lényegesen elmarad a normál diploid társaikéhoz képest.

Monoszex állományok használata a gyakorlati tenyésztésben nagyobb jelentőséggel bír, mint a triploidoké. Ennek egyik oka a rendkívül dinamikus fejlődő, az akvakultúra „brojlerének” számító tilápiák termelése. Ezeknél a bölcsőszájú fajoknál a hímek 2–3-szor nagyobbra nőnek, mint a nőtények. E mellett az igen korai, az étkezési méret elérése előtt már ivarérett, és szaporodást megkezdő tilápiák növekedés helyett reprodukcióra használják fel az energiájukat. A szaporodás megakadályozásának egyik módszere monoszex állományok kihelyezése, lehetőség szerint a jobban növekedő hímekből. A közel 100%-os hím monoszex állományok előállítása történhet hormonos ivarátfordítással is, vagy pedig bizonyos fajhibridek alkalmazásával. Ilyen monoszex utódállomány keletkezik pl. *Oreochromis nilotica* x *O. aureus* keresztezéskor (Eknath és Hulata, 2009). Pontyon nálunk már közel harminc éve állítottak elő monoszex utódcsoportokat, azonban, mivel az étkezési méret eléréséig ez nem jelent lényeges előnyt a normál, kevert ivarú csoportokhoz képest ezért ezek használata nem terjedt el. Tokhalakon, ahol a kaviárt biztosító nőtények jelentősen értékesebbek a hímeknél az ivari érés előtt két évvel biopsziás előválogatást végeznek. Valószínűleg nagyon közel vagyunk azonban ahhoz, hogy genom manipuláció és hormonos ivarátfordítás kombinálásával sikerüljön monoszex tokhalállományokat is létrehozni.

TRANSZGENIKUS (GÉNKEZELT) HALAK

Külföldön a halakon végzett génátültetési kísérleteket nagyjából abban az időben kezdték el, amikor az emlősökön is. Hazánkban az első kísérleteket pontyon, mikroinjektálós technikával végezték, és ehhez humán növekedési hormon génjével készített konstrukciót alkalmaztak (*Bercsényi és mtsai, 1987*) Ezt követően több átviteli technikát is sikerült kifejleszteni, köztük spermiumok mikroporációjával és liposzómális átvittel működött is (*Szelei és mtsai, 1994*) Ekkor nem csak a gén jelenlétét, hanem markergének működését is sikerült kimutatni. A gyakorlat számára fontos, pl. növekedés fokozó faktorok bevitelével többen is foglalkoztak

(Zhu, 1992; Moav és mtsai, 1996), azonban a kis egyedszám, vagy a nagyon rövid nevelési idővel végzett tesztek nem voltak alkalmasak arra, hogy a transzgent hordozó hal előnyét bizonyítsák. Megdöbbentő hatású és bizonyító erejű volt azonban Yoon és mtsai, (2001) kísérlete melyben egy csíkkal saját növekedési hormon génjét új konstrukcióban vitte be. Ekkor olyan, gigantikusnak nevezhető halat kaptak, ami természetes körülmények között sohasem fordult még elő (6. ábra).

6. ábra A természetben elő nem forduló nagyságú, a normálisnál 35-ször nagyobb súlyú transzgenikus csíkkal (*Misgurnus mizolepi*) (Yoon és mtsai, 2001)



Figure 6. Extrabrdinary, 35 times larger than normal transgenic mud loach (*Misgurnus mizolepi*) (Yoon et al 2001)

Az ilyen teljesítményű transzgenikus halak természetes vizekbe jutásának ma még beláthatatlan következményei lehetnek. Ezért az ezekkel folytatott, nem csak tenyésztői, hanem kísérleti munkáknak is nagyon szigorú biztonsági rendszabályok szerint kell működniük (Kapuscinski és mtsai, 1999; Marris, 2010)

TERMÉSZETES VIZEKEN FOLYTATOTT HALÁSZAT GENETIKAI HATÁSAI

A természetes vizek hal állományaira azonban nem csak a transzgenikus halak kijutása jelenthet veszélyt. A halászat intenzitása mára sok helyen már olyan erős, és olyan mesterséges szelekciót jelent, ami igen komolyan befolyásolja a populációk allélgyakoriságát, még hozzá kontraszelekciót idézve elő. Ennek egyik, Magyarországon is létező megnyilvánulása, amikor egy tavon hosszú-hosszú generációkon keresztül méret szerinti fogási korlátozást írnak elő. Ez annyit jelent, hogy pl. ha a horgászok a balatoni süllőből csak azokat az egyedeket foghatják ki, amelyek 30 cm-nél hosszabbak, akkor *abból a korosztályból*, amelyiknek egyik fele még csak 30 cm alatti (azaz gyöngén nőtt), másik fele viszont már 30 cm felett van (azaz jó növéssű) kontraszelekciót végeznek. A rosszul növekvőt ugyanis vissza kell tenni a tóba, míg a jól növekvőket el szabad vinni (7. ábra). Belátható, hogy ez hosszú távon a jó növést biztosító allélok gyakoriságának csökkenéséhez, magyarul csökkent növekedéshez vezet. Azok az indokok, hogy minden egyed szaporodáshoz kell engedni valójában nem állják meg a helyüket. Egy természetes populációban az allélgyakoriság stabilitását az jelenti, ha a szaporodáshoz jutók jól **reprezentálják az egész populációt**. Amennyiben egyes allélok a szaporodáskor **alulreprezentálódnak, úgy az utópopuláció is megváltozik a szülőihez képest**. Ezt a problémát fejtik ki megfelelő matematikai apparátussal (Hard, 2004 valamint Allendorf és Hard, 2009).

7. ábra. A sok generáción keresztül alkalmazott méret-szerinti fogásli korlátozásnak kontraszelektív hatása van

Kontraszelekció (1)



Figure 7. Application a size limit on catches in natural waters leads to contra-selection
Contra-selection (1); back to reproduce (2); out for table (3)

IRODALOMJEGYZÉK

- Allendorf, F.W. – Hard, J.J (2009): Human-induced evolution caused by unnatural selection through harvest of wild animals. PNAS, 106, suppl. 1. 9987–9994.
- Bakos, J. (1979) Crossbreeding Hungarian races of common carp to develop more productive hybrids. In: Advances in Aquaculture, Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, UK, 635–642.
- Bercsényi M. – Bergler, H. – Reichle, G. (1991): Schätzung der Heritabilität früher Wachstumsstadien des Sterlets. Fischer und Teichwirt, 12. 417–418.
- Bercsényi M. – Nagy A. (1986): Predicting Success in Carp Hybridization Programs in Hungary. Proc. 3rd Wild Congress Genet. Appl. Livest. Prod., Lincoln NE, IX. 417–422.
- Bercsényi M. – Orosz L. – Gráf L. – Duda E. – Horváth L. (1987): A transzgenikus ponty, előzetes eredmények. Napjaink Biotechnológiája, 10. 132–135.
- Bercsényi M. – Magyary I. – Urbányi B. – Orbán L. – Horváth L. (1998): Hatching out goldfish from common carp egg. Interspecific androgenesis between two cyprinid fish species. Genome, 41. 573–579.
- Chevassus, B. – Quillet, E. – Krieg, F. – Hollebecq, M. – Mambrini, M. – Fauré, A. – Labbé, L. – Hiseux, J. – Vandeputte, M. (2004): Enhanced individual selection for selecting fast growing fish: the "PROSPER" method, with application on brown trout (*Salmo trutta fario*). Genet. Sel. Evol., 36. 643–661.
- Dupontnivet, M. – Vandeputte, M. – Vergnet, A. – Merdy, O. – Haffray, P. – Chavanne, H. – Chatain, B. (2008): Heritabilities and GxE interactions for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) using a marker-based pedigree. Aquaculture, 275. 81 – 87.
- Eknath, A.E. – Hulata, G. (2009): Use and exchange of genetic resources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Rev. Aquacult., 1. 197–213.
- Golovinskaya, K.A – Romashov, D.D (1965): Segregation for the scaling pattern during diploid radiation gynogenesis in the common carp. Tr. Vses. Nauch. Issled. Inst. Prud. Ryb. Khozy., 14. 227–235. (in Russian)

- Grunina, A.S. – Recoubatsky, A.V. – Neyfakh, A.A. (1995): Induced diploid androgenesis in sturgeons. *Sturgeon Q.*, 3. 6–7.
- Hard, J.J. (2004): Evolution of Chinook Salmon Life History Under Size-Selective Harvest. In A. Hendry & S. Stearns (eds.) "Evolution Illuminated": Salmon and Their Relatives. Oxford University Press, 315–337.
- Hertwig, G. (1911): Radiumbestrahlung unbefruchteter Froscheier und ihre Entwicklung nach Befruchtung mit normalem Samen. *Arch. f. Mikr. Anal.*, 77. 165–209.
- Jeney Zs. – Bercsényi M. – Váradi L. – Lehoczky I. – Bakos J. (2011): A haltenyésztés genetikai alapjainak megőrzése. Állattenyésztés és Takarmányozás (nyomdában)
- Kapuscinski, A.R. – Nega, T. – Hallerman, E.M. (1999): Adaptive biosafety assessment and management regimes for aquatic genetically modified organisms in the environment. In: Pullin, R.S.V. – Bartley, D.M. – Kooiman, J. (eds) Towards policies for Conservation and sustainable Use of Aquatic Genetic Resources. Conference Proceedings 59, ICLARM, 225–251.
- Kirpichnikov, V.S. – Balkashina, E.I. (1935): Materials on genetics and selection of common carp I. (in Russian). *Zoologicheskoy Journal (Moscow)* 14. 45–78.
- Kirpichnikov, V.S. – Balkashina, E.I. (1936): Materials on genetics and selection of common carp II. (in Russian). *Biologicheskoy Journal (Moscow)* 5. 327–376.
- Komen, H. – Thorgaard, G. (2007): Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: A review. *Aquaculture*, 269. 150–173.
- Marris, E. (2010): Transgenic fish go large. *Nature*, 467. 259.
- Moav, B. – Hinitz, Y. – Groll, Y. – Rothbard, S. (1996): Inheritance of recombinant carp [beta]-actin/GH cDNA gene in transgenic carp. *Aquaculture*, 137. 179–185.
- Müller T. – Bódis M. – Urbányi B. – Bercsényi M. (2010): Comparison of the growth of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) and hybrids of pikeperch and Volga pikeperch *S. lucioperca* × *S. volgensis* (Gmelin, 1789) juveniles reared under controlled conditions. *Isr. J. Aquacult. – Bamid.*, 63. 2.
- Nagy A. – Rajki K. – Horváth L. – Csányi V. (1978): Investigation on carp, *Cyprinus carpio* L. gynogenesis. *J. Fish Biol.*, 13. 215–224.
- Nagy A. – Csányi V. – Bakos J. – Bercsényi M. (1984): Utilization of gynogenetic hybrids in commercial carp production. *Aquacult. Hung.*, 4. 7–16.
- Neifakh, A.A. (1956): Izmeneniya radiochuvstvitel'nosti v protsesse oplodotvoreniya u v'yuna, *Misgurnus fossilis*. *Dokl. AN SSSR*, 109. 943–946.
- Nielsen, H.M. – Ødegård, J. – Olesen, I. – Gjerde, B. – Ardl, L. – Jeney G. – Jene, Z. (2010): Genetic analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) strains: I. Genetic parameters and heterosis for growth traits and survival. *Aquaculture*, 304. 14–21.
- Purdom, C. E. (1969): Radiation-induced gynogenesis and androgenesis in fish. *Heredity*, 24. 431–444.
- Rohner, N. – Bercsényi M. – Orbán I. – Kolanczyk, M.E. – Linke, D. – Brand, M. – Nüsslein-Volhard, Ch. – Harris, M.P. (2009): Duplication of fgfr1 permits Fgf signaling to serve as a target for selection during domestication. *Curr. Biol.*, 19. 1642–7.
- Simonics G. – Sári J. (2011): Személyes közlés
- Szelei J. – Váradi L. – Müller F. – Erdélyi F. – Orbán L. – Horváth L. – Duda E. (1994): Liposome-mediated gene transfer in fish embryos. *Transgenic Res.*, 3. 116–119.
- Thodesen, J. – Grisdale-Helland, B. – Helland, S. J. – Gjerde, B. (1999): Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 180. 237–246.
- Thorgaard, G.H. – Scheerer, P.D. – Hershberger, W.K. – Myers, J.M. (1990): Androgenetic rainbow trout produced using sperm from tetraploid males show improved survival. *Aquaculture*, 85. 215–221.
- Tiwary, B.T. – Kirubakaran, R. – Ray, A. (2004): The biology of triploid fish. *Rev. Fish Biol. Fisher.*, 14. 391–402.
- Zhu, Z. (1992): Generation of fast growing transgenic fish: methods and mechanisms. *Transgenic fish Singapore: World Scientific Publishing Co. Ltd.*, 92–119.
- Yoon Kwon Nam – Jae Koo Noh – Young Sun Cho – Hyo Jong Cho – Kyu-Nam Cho – Chul Geun Kim – Dong Soo Kim (2001) Dramatically accelerated growth and extraordinary gigantism of transgenic mud loach *Misgurnus mizolepi*. *Transgenic Res.*, 10. 353–362.

Érkezett: 2011. augusztus 10.

Szerzők címe: *Bercsényi M. – Szűcs R.*
 Pannon Egyetem, Georgikon Kar,
 Author's address: University of Pannonia, Georgikon Faculty
 H-8361 Keszthely, Deák F. u. 16.
 bm@georgikon.hu, nemzsir@gmail.com

Orbán L.
 Temasek Life Sciences Laboratory, National
 University of Singapore, Singapore 117604
 laszlo@tll.org.sg

Lehoczky I. – Jeney Zs.
 Halászati és Öntözési Kutatóintézet,
 Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation
 H-5540 Szarvas, Anna liget 8.
 lehoczky@haki.hu, jeneyz@haki.hu