

AZ ÉDESVÍZI AKVAKULTÚRA JÖVŐJE A KLÍMAVÁLTOZÁS TÜKRÉBEN

HORN PÉTER – HORVÁTH LÁSZLÓ – MÉZES MIKLÓS – URBÁNYI BÉLA

ÖSSZEFOGLALÁS

A globális felmelegedés és klímaváltozás előrejelzése több, mint 30 éves múltra tekint vissza. Egyértelműen kijelenthető, hogy ezen folyamatok hatásai a mezőgazdaságot is érintik, és jelenleg a problémák azonosítása és az esetleges megoldások és javaslatok megfogalmazása történt meg. A klímaváltozás lokálisan és globálisan előre nem pontosan megjósolható, szélsőséges, klimatikus anomáliákat hozhat, amelyekben az akvakultúrában leginkább a hazánkra is jellemző tógazdasági haltenyésztés lesz érintett. A szélsőséges időjárás, az extrém meleg időszakok, a csapadék egyenetlen eloszlása komoly kihívásokkal állítja szembe tógazdasági haltermelőket: víztakarékos technológiák, a körforgásos gazdálkodásban rejlő lehetőségek, valamint a kutatás és a tudomány eredményeinek gyakorlatba történő ültetése alapelemei lesznek a jövő tógazdasági haltermelésének. Ezen időjárási hatásokkal szemben az intenzív, zártrendszerű haltermelési rendszerek nyújthatnak védelmet, amelyek szerepe a lakosság halellátásában a jövőben megnövekedik. Az eddigi folyamatokkal összhangban ezért az intenzív halnevelési rendszerek további térhódítása várható, annál is inkább, mert várhatóan a természetesvízi halászat által nyerhető halmennyiség további mérséklődésével lehet számolni, ugyanakkor növekedni fog a halfogyasztási igény.

SUMMARY

Horn, P. - Horváth, L. – Mézes, M. – Urbányi, B.: THE FUTURE OF FRESHWATER AQUACULTURE IN THE LIGHT OF CLIMATE CHANGE

Global warming and climate change projections go back more than 30 years. These processes affect agriculture and that the problems have now been identified and possible solutions and proposals formulated. Climate change may bring extreme climatic anomalies that cannot be accurately predicted locally or globally and will affect aquaculture, especially pond fish farming, which is typical of our country. Extreme weather and temperatures and uneven rainfall patterns will pose serious challenges for pond fish farmers: water-saving technologies, the potential of a circular economy, and the application of research and science will be the building blocks for future pond fish production. Intensive fish production systems can protect against these weather impacts and will play an increasing role in the future supply of fish to the population. Therefore, in line with past trends, further expansion of intensive fish farming systems is expected, even more so as the quantity of fish available from fisheries is expected to decrease further. At the same time, the demand for fish consumption will increase.

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az édesvízi és tengeri akvakultúra, mint állati eredetű termék előállító szektor a világ leggyorsabban fejlődő állattenyésztési ágazata (FAO 2022). A globális felmelegedés valósága ma már tagadhatatlan: számos tengeri és édesvízi ökoszisztémában az évszakonkénti hőmérséklet fokozatos emelkedése tapasztalható, ami szélesebb körű hőingadozással és a szélsőséges hőhullámok gyakoribbá válásával párosul (IPCC, 2014; Frölicher és mtsai, 2018; Collins és mtsai, 2019). Az akvakultúra és halgazdálkodásra ható éghajlatváltozás okai és hatásai különbözőek, melyeket az 1. ábra mutat be. A halak túlnyomó többsége poikilotherm, így ezek az éghajlati változások valószínűleg erőteljes hatással lesznek fiziológiájukra, ami az egyedek, a populációk és a fajok szintjére, és így a halászatra, halgazdálkodásra és akvakultúrára is kihat (Pörtner és Farrell, 2008; Pörtner és Peck, 2010; Seebacher és Franklin, 2012; McKenzie és mtsai, 2016).

A halak alapvetően három fő reakcióval képesek válaszolni az élőhelyük folyamatos felmelegedésére: (i) a fajok elterjedésének szélességi el- és kitolódása, a mérsékelt égövi és szubtrópusi halak mozgásával-vándorlásával (Parmesan és Yohe, 2003; Perry és mtsai, 2005; Hickling és mtsai, 2006; Poloczanska és mtsai, 2013); (ii) a fő életciklus-események fenológiájának változásai, például a vándorlás és az ívás (évszakhoz és vízhőmérséklethez) időzítése, vagy a szaporodási időszakok hosszának megváltozása (Poloczanska és mtsai, 2013; Crozier és Hutchings, 2014; Myers és mtsai, 2017; Rogers és Dougherty, 2019), és (iii) az átlagos testméret csökkenése, amely a felnőttkori végső méret csökkenésével és a fiatalabb és kisebb egyedek arányának növekedésével függ össze a populációkban (Daufresne és mtsai, 2009; Gardner és mtsai, 2011; Audzijonyte és mtsai, 2020).

1. ábra Az akvakultúra-termelésre ható éghajlatváltozás okai és hatásai

(Abisha és mtsai, 2022)



Figure 1. Causes and impacts of climate change affecting aquaculture production

Tény, hogy ezen várható, és részben már tapasztalt jelenségek hátterében álló mechanizmusok élettani háttere még messze nem teljesen tisztázott, de feltételezhető, hogy legalább részben az egyes fajok genetikájában rögzült fiziológiai funkciók és válaszok vezérlik azokat, amelyek vagy fenotípusos plaszticitást, vagy evolúciós folyamatokat tükröznek (Wang és Overgaard, 2007; Pörtner és Farrell, 2008; Pörtner és Peck, 2010; Huey és mtsai, 2012; Seebacher és mtsai, 2015; Stillman, 2019; Goikoetxea és mtsai, 2021).

ÖSSZEFÜGGÉS AZ ÉDESVÍZI AKVAKULTÚRA ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖZÖTT

Az édesvízi akvakultúra jövője és a globális felmelegedés között összetett és komplex összefüggések vannak. Globális felmelegedés hatására az édesvízi ökoszisztémák is változnak, és ez kihívásokat jelent az akvakultúra számára (McKenzie és mtsai, 2021). Az alábbiakban néhány fontos tényezőt kívánunk bemutatni.

Vízminőség: A globális felmelegedés növeli a vízhőmérsékletet, ami hatással van az akvakultúra rendszerek vizeinek minőségére. A melegedő vizekben megnő a hínár- és algavirágzás kockázata, ami csökkenti a víz oxigéntartalmát és emiatt negatív hatással lehet a halak egészségi állapotára. Emellett a melegebb vízben a halaknak nagyobb táplálkozási igényük van, ami megnövelheti a takarmányköltségeket. A takarmányozási költségek növekedéséhez az is hozzájárul, hogy tavi körülmények között megváltozik a fito- és zooplankton aránya az előbbiek javára, ami csökkenti a tavi természetes biomassza mennyiségét (Pulsifer és Laws, 2021), ezzel megnövelve a hozamok maximalizálása érdekében a kiegészítő takarmányok szükségességét.

Rendelkezésre álló vízmennyiség: A globális felmelegedés hatására egyes régiókban drasztikus mértékben csökkenhet az édesvíz mennyisége. Az akvakultúra rendszerek számára ez problémákat okozhat, mivel a halaknak megfelelő mennyiségű és minőségű vízre van szükségük. Az alacsony vízállás korlátozhatja az akvakultúra kapacitás kihasználtságát és termelékenységét (Little és mtsai, 2016).

Betegségek és kórokozók terjedése: A melegedő vizek kedvező környezetet teremthetnek a betegségek és kórokozók számára. Amennyiben a halak hőstressznek vannak kitéve, az stresszhatásként jelentkezik, ami gyengíti immunválasz képességüket és növeli a betegségekkel szembeni fogékonyságukat. Ez jelentős gazdasági veszteségeket okozhat az akvakultúra rendszerek számára, amelynek komoly gazdasági kihatásai is lehetnek (Little és mtsai, 2016).

Egységnyi halmennyiség előállításának energiaigénye: Smil (2022) újszerű megközelítésben közölt számításokat arra vonatkozóan, hogy 1 kilogramm hal előállításának komplex energia igénye gázolaj mennyiségben kifejezve hogyan függ össze az előállítás módjával. Az 1. táblázat Smil adatai alapján mutatja be az egyes intenzív halnevelési rendszerek és halászati formák gázolajban kifejezett környezeti lábnyomát 1 kilogramm termék előállítása esetén. A növényevő halfajok intenzív nevelése jellemezhető a legkisebb, míg a ragadozó fajok előállítása jelentősen nagyobb környezetterheléssel. A tengeri halfajok közül a szardínia és a makréla halászata nagyon hatékony. Meglepő módon a tengeri fajok, ebbe beleértve a „tenger gyümölcsei” halászatát is, meglepően nagymértékű (átlagosan) gázolajban kifejezett környezetterheléssel jár. Megjegyzésre érdemes az, hogy Smil

számításai szerint 1 kilogramm fehérkenyér gyártása ugyanabba a tartományba esik, mint a növényevő halfajok intenzív körülmények közötti nevelése.

1. táblázat

Egy kilogramm hal előállításának energiaigénye gázolajban kifejezve, az előállítás módjától függően (Smil, 2022)

Halfajok (1)	Termelés módja (2)	Gázolaj (ml) (3)
Növényevők (pl. fehér és pettyes busa, amur) (4)	Intenzív (8)	>300
Ragadozók (pl. farkassügér) (5)	Intenzív (8)	2000 – 2500
Szardínia, makréla (6)	Halászat (9)	kb. 100
Tengeri fajok átlaga (7)	Halászat (9)	kb. 700

Table 1. Diesel oil needed in millilitres to produce one kg of fish as influenced by species and system of production

fish species (1); system of production (2); diesel oil ml (3); herbivorous species, as Chinese silver, bighead and grass carp (4); carnivorous species as sea bass (5); sardines, mackerel (6); average of fish and other “frutti di mare” (7); intensive (8); fishing (9)

A víz oxigéntartalmának változása és annak hatásai

A globális felmelegedés egyik legerőteljesebb hatása a vizek oxigéntartalmának változásán érhető tetten. A halak és a vízi élőlények jelentős hányada a vízben oldott oxigént használja fel a légzéséhez. Régóta ismert, hogy a víz oxigéntartalma (oxigén kapacitása) fordítottan arányos mértékben változik annak hőmérsékletével. A klímaváltozás és az édesvíz oldott oxigéntartalma között számos összefüggés és kölcsönhatás áll fenn. A klímaváltozás hatással van az édesvizek hőmérsékletére, a vízhozamra, a légkör nedvességtartalmára és más tényezőkre, amelyek közvetlenül vagy közvetve befolyásolják az oldott oxigéntartalmat.

Az oxigénnek a biológiai rendszerekben betöltött általános és kiemelkedő jelentőségére atomjainak sajátos szerkezete ad magyarázatot. Az oxigén elektron vonzó képessége (elektron negativitása) nagy, ezeket a hiányzó elektronokat környezetéből agresszív módon képes megszerezni. Jó példa erre az ózon (O₃) viselkedése, amikor átmenetileg 3 oxigénatom kapcsolódik egymáshoz. Az ózon molekula azonban instabil, O₂ molekulára, amelyben két oxigén atom 2-2 elektronja kovalens kötést alkot, és egy agresszív oxigén atomra („nascens” oxigén) bomlik. Az oxigén atom stabil, telített elektronhéj kialakítására törekszik, ezért környezetéből pl. a baktériumok-gombák anyagából elektront rabol elpusztítva azokat (fertőtlenítő hatás). A szénatom mind elektronleadással, mind felvétellel képes telített elektron héjat, illetve kovalens kötésű elektronpárokat létrehozni, ezért az agresszív oxigén atommal kapcsolódva a szerves makromolekulákban rögzített energia felszabadításában az élő sejtek energiatermelő organelleumaiban az enzimatikusan lehasított metil csoportokat „oxidálja”, széndioxid végtermék keletkezése mellett, ami a keringés segítségével a légzőszerven újabb O₂ molekulára cserélődik.

Az oxigén a földi élet egyik kulcseleme. A bioszféra élőlényei nagy többsége mind a szárazföldi mind a vízi ökoszisztémában aerob életmódot folytat, homeosztázisuk fenntartásához, életvitelükhöz, anyagcsere folyamataikhoz az

oxigén (O_2) nélkülözhetetlen. A szárazföldi biotopok aerobionta élőlényei az atmoszférában stabilan 21% részarányban jelenlévő gázalakú oxigént használnak fel. A hidroszféra élőlényei közül a döntő többség vízben oldott oxigént vesz fel rendszerint parciális nyomáskülönbségből adódó diffúzió révén, míg elenyésző kisebbségük kétféle oxigént (gázalakú, illetve oldatban lévő) oxigént is képes hasznosítani. Az oldott oxigén szintjétől függően a vízi élőhelyek esetén, extrém körülmények között az aerob életmód lehetetlenné válik. A vízi élőlények oxigénfelvétele különböző módon történhet (kopolyú légzés, bőrlégzés, béllegzés).

A vízben oldott oxigén kb. 80%-ban a vízi autotrof élőlények (vízi makrofíták, algák és cianobaktériumok) napenergiát megkötő asszimilációjának, szervesanyag építésének melléktermékeként keletkezik. A nem biológiai eredetű oxigén részben diffúzióval jut be a víz-levegő határfelületen, illetve beoldódás, keveredés útján, pl. hullámozás hatására oldódik be.

Mivel élővizeink oxigéntartalma döntő arányban élőlények élettévékenységéből származik, kézenfekvő, hogy azok aktivitása, élet-tevékenysége nagyban befolyásolja az aktuális oxigénszintet. Nappal az oldott oxigén szint a Nap felkelésétől kezdve növekedik, éjjel az ökoszisztéma „légzése” következtében csökken. A napszakos ingadozás és az élőlények rendelkezésére álló oxigén szint nagysága tehát az autotrof szervezetek aktivitásától függ. Mivel a szerves vegyületeket termelő asszimiláció növényi tápanyag és napfény függő, ezen tényezők mértéke az oxigén szintet is erősen befolyásolják. Ezen túl az oldott oxigén szintjét az oxigénfogyasztó heterotrof szervezetek mennyisége is meghatározza.

Az ún. oligotróf, alultáplált vizekben a napszakos oxigénszint változás kicsi, az éjszakai szervesanyag lebomlás a nappal megtermelt mennyiséget gyakorlatilag elfogyasztja, a szerves biotassza felhalmozása közelít a nullához. Ezzel szemben az eutróf, magas tápanyag szinttel rendelkező tavakban a nappali órákban a szervesanyag termelés erőteljes, az oxigénszint a délutáni órákban többszáz százalékos oxigén telítettséget is elérhet, éjjel viszont ennek megfelelően az oxigén fogyasztás is magas, esetenként a kockázati határt is elérheti. A nagy halterméshez intenzív szervesanyag szintézis szükséges, ezért, ha a halastó nem eutróf, azzá kell tennünk (Wojnarovich és Zámbo, 1963).

Az oxigén szint aktuális mértéke ezért a számos befolyásoló tényező miatt állandóan változik, alkalmi meghatározása kevés információt nyújt (Padisák, 2005). Ezzel szemben a 24 órás oxigén sorozat-vizsgálat számos beavatkozás, döntés meghozatalában segíthet (Uhlmann, 1975, Felföldy, 1981). A 6 óránként mért oxigénszint meghatározás alapján a megrajzolt grafikonból egyszerűen leolvasható a rendszer, pl. a halastavi ökoszisztéma maximális szervesanyag termelése, produkciója (O_{max}). Ezzel szemben a hajnali/kora reggeli adat a rendszer oxigén fogyasztására (Respiráció) enged következtetni. A rendszer 24 órás oxigénfogyasztása egyrészt a heterotrof szervezetek (baktériumok, vízi gerinctelenek és halak) 24 órás együttes oxigénfogyasztásából, légzéséből, másrészt az algaállomány teljes 24 órás oxigénfogyasztása teszi ki. Ez a két komponens együttesen becsülhető a hajnali oxigén méréssel (O_{min}). Önmagukból az oxigénmérésekből nem tudjuk, hogy mennyi a tó összesített egész napi oxigén fogyasztása (a rendszer légzése), de a délután mért oxigénmaximum és a következő nap reggeli óráiban mért oxigénminimum közötti különbség jelzi, hogy mennyi összes oxigént fogyaszt a rendszer az éjszakai, asszimilációmentes időszakban ($O_{max}-O_{min}$). Feltételezve,

hogy az adott ökoszisztéma nappali légzése azonos az éjszakaival, akkor ez azt jelenti, hogy a nappali összes légzés csökkentette a nappali alga produkció mértékét, ezért a produkció számításakor ezt a mért különbséget ($O_{max}-O_{min}$) kétszeresen kell figyelembe venni (éjszakai és nappali összes oxigén fogyasztás, de csak az éjszakai mérhető. Emiatt ennek az értéknek kétszeresét kell hozzáadnunk a délután mért maximális oxigén mennyiséghez.

$$P = O_{max} + 2 \cdot (O_{max} - O_{min})$$

Hasonló gondolatmenettel számíthatjuk ki az R értéket is. Az összes légzés (Respiráció) érték tehát a reggel mért, korábbi időszakból származó „maradék” oxigénszint és a mért éjszakai oxigénfogyasztás összege, valamint a nappali oxigénfogyasztás ($O_{max}-O_{min}$) érték kétszerese.

$$R = O_{min} + 2 \cdot (O_{max} - O_{min})$$

A P/R hányadosból következtethetünk az adott rendszer növényi tápanyagokkal való ellátottságára. Ha a 24 óra alatt mért hányados értéke 1-nél nagyobb, a megtermelt szerves anyag mérleg pozitív, pl. eutróf halastavak esetén. Amennyiben a P/R hányados közel van az 1-hez, a rendszer egyensúlyban van, azaz annyi szervesanyag bomlik le, mint amennyi termelődik, pl. oligotróf tavak esetén. Ha a P/R értéke egynél kisebb, a tó hipertróf, mert éjszaka több szervesanyag bomlik le, mint a nappal megtermelt mennyiség. Az ilyen tavak haltenyésztés céljára alkalmatlanok, biztos a halak pusztulása, mert éjszaka minden oxigén felhasználódik.

A fentiek mellett a 24 órás oxigéngörbe lefutása is hasznos információkat nyújthat. Ha a délutáni és a hajnali adat között az esés meredek, ez azt jelzi, hogy a fitoplankton disszimilációja mellett a heterotróf oxigénfogyasztó szervezetek (vízi baktériumok, halak, zooplankton) biomasszája és oxigénfogyasztása is nagy. Ilyen esetben a halastavaknál érdemes a napfényes reggeli órákban meszezéssel gyéríteni a fitoplankton és a bakterioplankton állományát. Ha a reggeli és délutáni adat közötti grafikon-szakasz meredeksége egyenletes, ez stabil biológiai termelést és puffert vízi környezetet jelez, ha viszont a grafikon meredek és akár többszáz százalékos oxigén telítettséget mutat, alga virágzás kezdetére következtethetünk, készülni kell a havária elhárítására, pl. a tó levegőztetésével vagy vízfrissítéssel a hajnali kritikus órákban.

A túlzottan magas algaszint (vízvirágzás) azért jelentős kockázat, mert éjjel az alga állomány is oxigén fogyasztóvá válik, a heterotróf élőlényekkel együtt, ezért hajnalra akár a teljes rendelkezésre álló oxigénkészlet elfogy és halpusztulás következhet be. Ha a fitoplankton állomány a túlszaporodás miatt elpusztul (összeomlik), a bakteriális szervesanyag lebontás hirtelen drasztikus oxigénhiányt okozhat.

Az oxigénhiány okozta havária elkerülésének előre jelzése éppen a globális felmelegedés okozta szélsőségek gyakoribbá válásával, gyors kialakulásával okozhat nagy veszteségeket az akvakulturákban, különösen az intenzív népesítésű halállományok között.

A klímaváltozás a vizek felmelegedése miatt, mint korábban említettük, felgyorsítja a poikilotherm élőlények anyagcsere folyamatait, ezért ez már önmagában is fokozza a tavi energiavándorlás sebességét a különböző trofítási szintek között (Horváth és mtsai, 2022). Ezt a hatást a haltermelőknek fokozottan kell a jövőben figyelembe venni mind az állományok népesítése, mind a takarmányozás intenzitása során.

Csapadék és vízhozam változás: A klímaváltozás hatására megváltozik a csa-

padék évszaki eloszlása és a vízhozamok. Bizonyos területeken csökkenhet az évi összes csapadék mennyisége, és ezáltal csökkenhet az édesvíz mennyisége is. Az alacsonyabb vízhozam csökkentheti az oxigén oldódását és keveredését is a vízben, ami az egyes vízrétegekben élő élőlények számára kedvezőtlen körülményeket teremthet (*Troell és mtsai, 2014*).

Eutrofizáció: A klímaváltozás egyik hatása lehet az édesvízi környezetekben tapasztalható eutrofizáció fokozódása. Az eutrofizáció során a tápanyagok (például foszfor és nitrogén) túlzottan nagy mennyiségben kerülnek be az édesvízbe, amelynek hatása, hogy fokozzák az alganövekedést. Az algák elszaporodása viszont oxigénhiányt okozhat, mert a túlzottan nagy mennyiségben jelenlévő alga lebontása során a baktériumok megnövekedett aktivitása oxigént von el a vízből (*Cochrane és mtsai, 2009*). Lényeges emellett, hogy a víz hőmérséklet növekedésével megváltozik a tavi ökoszisztémában a fito- és zooplanktonok aránya is az előbbiektől javára, amely szintén növeli az eutrofizáció mértékét (*Pulsifer és Laws, 2021*).

Tengerszint emelkedés: A klímaváltozás hatására a világtengerek szintje is emelkedik, aminek következtében az édesvízi élőhelyek, például a folyók deltavidékei, a lagúnák és mocsarak vízének sótartalma nő. Az édesvizek sótartalmának növekedése negatívan befolyásolhatja az élőlények, így például a halak, valamint a mikro- és makrogerinctelenek túlélését, mivel a megnövekedett sótartalom csökkenti az oldott oxigén tartalmat (*Bryndum-Buchholz és mtsai, 2018*).

Extrém időjárási események: A klímaváltozás során egyre gyakoribbak lehetnek az extrém időjárási események, így például hosszú aszályos időszakok vagy intenzív esőzések. Az aszályok csökkentik az édesvíz mennyiségét és hozzáférhetőségét, ami a víz térfogatarányos oxigéntartalmának csökkenéséhez vezethet. Az intenzív esőzések ugyanakkor növelhetik a vízhozamot, mert áradásokat okozhatnak, amelyek zavarokat okozhatnak az édesvízi ökoszisztémákban, emellett befolyásolhatják a vizek oldott oxigéntartalmát is (*Thiault és mtsai, 2015*).

A megnövekedett légköri széndioxid hatása a különböző víztípusok kémiai folyamataira és a biológiai eseményekre

Az aktuális adatok szerint Földünk légkörében a vulkáni kitörések, az erdőtüzek és az emberi tevékenységek eredményeként megnövekedett és napjainkban is folyamatosan növekszik a globális felmelegedés egyik legfontosabb tényezőjeként számontartott széndioxid gáz (CO_2) koncentrációja (*Ewing és mtsai, 2010; Karl és Trenberth, 2013*). Az ipari forradalom kezdete óta a Föld légkörében a szén-dioxid gáz mennyisége 280 ppm-ről 380 ppm-re nőtt (*Boyd, 2010*). Ez a magasabb széndioxid szint nemcsak a szárazföldi ökoszisztémák összetételét és életfolyamatait módosította, hanem napjainkban már kimutatható változásokat okozott a különböző víztípusok kémiai összetételében és ennek hatásaként a vizek biocönózisában (*Gosh és mtsai, 2020*).

A folyamatok megértéséhez át kell tekintenünk a széndioxid és annak vizeinkben előforduló vegyületeinek szerepét és változásait.

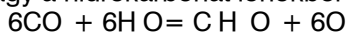
A széndioxid a Föld légterében (az atmoszférában) gáz alakban van jelen. Ez a kis mólsúlyú gáz vízben jól oldódik, vizes oldatában az addig kovalens kötésben lévő molekula ionos kötésben lévő anionná alakul (hidrokarbonát anion HCO_3^- ból

karbonát anion CO_3^{2-}). A hidrokarbonát és karbonát anionok a vízben pozitív töltésű kationokhoz kapcsolódnak azok elektronegativitásának erőssége függvényében. Kation szegény környezetben pl. desztillált víznek minősülő tiszta esővízben a légkörből beoldódó széndioxidhoz hidrogén ionok (H^+) kapcsolódhatnak. A hidrogén ion, mint egyetlen elektronjától megfosztott gyenge kation (proton, mert a hidrogén atommagjában nincs neutron) a széndioxiddal gyenge savat, szénsavat (H_2CO_3) képez, ezért az esővíz pH értéke mindig enyhe savasságot mutat (pH 6,5 körüli érték (Horváth és mtsai, 2022)).

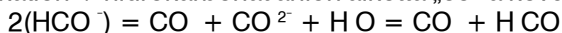
Mind az édesvizekben, mind a tengerek (óceánok) vizében számos, az elektronegativitás (elektron vonzó képesség) szempontjából a hidrogénnél sokkal erősebb kation található. Ezek között Földünkön dominálnak a következők: nátrium ion (Na^+), kálium ion (K^+), magnézium ion (Mg^{2+}) és kalcium ion (Ca^{2+}). A fenti sorrend a kationok elektron- negativitásának erősségét is jelenti.

Amikor a vízi ökoszisztémákban széndioxid molekula keletkezik (az élőlények anyagcsere végtermékeként, vagy az elhalt szervesanyagok mikrobiális lebontása során, illetve a víz fölötti légkörből diffúzióval történő beoldódás során), ez a széndioxid a jelen lévő kationokkal széntartalmú vegyületet alkot. A vizekben zajló biológiai szervesanyag szintézis ezekből a széndioxid tartalmú egyszerű szénvegyületekből indul ki (Felföldy, 1981). Természetesen a nagy molekula tömegű szerves makromolekulák szintéziséhez nagy számú széndioxid molekulára és élő (vízi) növényekre van szükség, mivel a széndioxid molekulák összekapcsolásához a növények klorofillja nélkülözhetetlen.

A vízi növények a szerves szintézishez szükséges széndioxidot vagy a vízben kis koncentrációban mindig jelenlévő kovalens kötésű egyensúlyi széndioxidból vagy a hidrokarbonát ionokból veszik fel vízfelvétel mellett:



A végeredmény 1 molekula egyszerű cukor és 6 molekula oxigén lesz. Leegyszerűsítve, a vízben oldott oxigén, ami a biológiai szervesanyag termelés mellékterméke, biztosítja a vízi élőlények anyagcserefolyamataihoz (légzés) nélkülözhetetlen oxigént. Amikor a vízi növények a hidrokarbonát anionból kivonják a széndioxidot a kation + hidrokarbonát anion alkotta „só” a következő egyenlet szerint alakul át:



Így tehát két molekula egy vegyértékű hidrokarbonát anion átalakul egy molekula két vegyértékű karbonát anionná. A folyamat reverzibilis, éjjel a vizek disszimilációja - légzése, lebontási folyamatai- idején a magas széndioxid szint a karbonát ionokat visszaoldja hidrokarbonáttá, így a víz pH értéke stabilan semleges közeli marad. Ez a kétirányú (reverzibilis) kémiai folyamat a kalciumban és magnéziumban gazdag vizek stabil pH viszonyait eredményezi, lehetővé téve a kiegyenlített vízi környezetet, ami a vízi ökoszisztémák, köztük a halastavak stabil biológia szervesanyag termelésének alaptétele (Ördög, 2000).

A globális felmelegedés egyes víztípusokra gyakorolt hatásainak mértéke nagyban függ attól, hogy a fent érintett széntartalmú anionok milyen mennyiségben vannak jelen és milyen kationokhoz kapcsolódnak. Mint korábban jeleztük, a víztestekben előforduló domináns kationok között a két szélső értéket, a legkisebb elektron- negativitással bíró nátrium és a legnagyobb elektron-negativitású kalcium képviseli. Ez a két különböző kation vizes közegben szervesetlen szén tartalmú anionokkal (hidrokarbonát, illetve karbonát anionok) nagyon eltérő tulajdonságú

vegyületet képez a vízi növények széndioxid felvételének (asszimilációjának) eredményeként. A kis atomtömegű nátrium ion a karbonát anionnal kapcsolódva a pH értéket drasztikusan emeli, mivel a nátrium ion sokkal erősebben lúgosít, mint amennyire a gyenge savmaradékként viselkedő karbonát ion savanyítani képes, azaz a nátrium lúgos kémhatását a karbonát ion nem közömbösíti. Az ilyen víz lúgos kémhatású, a megnövekedett pH érték pedig a vízben jelenlévő gyengén bázikus hatású ammónium ionból, amit disszociált ammóniának is neveznek, a halakra toxikus disszociálatlan ammónia kiválását eredményezi, amely erősen toxikus vegyület, már igen kis koncentrációban (0,1 mg/liter fölött) is drasztikus halpusztulásokat eredményez (Hegyi és Lefler, 2016).

Ugyanakkor, ha a széndioxidtól megfosztott hidrokarbonát, azaz a karbonát anion két vegyértékű kalcium kationhoz kapcsolódik, akkor vízoldhatatlan kalcium karbonátot képez, ami parányi kalcit kristálykák formájában az üledékbe kezd szedimentálódni, miközben a víz pH értéke gyakorlatilag változatlanul a semleges tartományban marad, tehát a hidrokarbonát-karbonát páros a kalcium – magnézium kation páros jelenlétében nagyon hatékony stabil puffer rendszert alkot. Az ilyen stabil pH-val rendelkező víztest ideális tenyész-környezetet (stabil ökoszisztémát) jelent az élőlény együttesek számára. Ezzel szemben a nátrium-kálium túlsúlyú vizekben a nappali erős asszimilációs aktivitás (széndioxid kivonás) pufferhatás hiányában a pH növekedése, lúgos irányba történő eltolódása miatt a toxikus ammónia képződésnek nagy esélye van (Ördög, 2000).

A fent ismertetett folyamatok alapján nyilvánvaló, hogy a kalciumban gazdag vizekben akár az endogén, akár az exogén eredetű széndioxid (hidrokarbonát) jelenlétében, a globális felmelegedés káros hatása mérsékelt, mivel minden egyes kiülepedő kalcium karbonát kristály 2 molekula széndioxidot von ki a rendszerből és szállít a vizek üledékébe, ezért a képződött széndioxid nem kerül a légkörbe. A Földtörténeti korok alatt így keletkeztek a hatalmas kiterjedésű mészkőhegységek, kiegészülve az elpusztult vízi élőlények szilárd mészvázáival. Jogosnak tűnik az a megállapítás, hogy a mészkőhegységek a Glóbusz legnagyobb szénraktárai (Horváth és mtsai, 2022).

A kalcium és magnézium ionok tehát igen hatékony széndioxid csapdázó kationok (Padisák, 2005). A Kárpát medence körüli hegykoszorú sok üledékes, magas mésztartalmú kőzetet tartalmaznak, ennek eredményeként a hazánkba érkező vizek kalcium és magnézium tartalma magas, ami mind a tavak biológiai termelése, mind klímavédelmi szempontból igen kedvező. Az ilyen stabil környezetet biztosító víztípusokban üzemelő piscikultúrák, mint pl. hazai halastavakban nevelt pontyállományok érvényesíteni tudják mindazokat az előnyöket, amelyekkel a hidegvérű (poikilotherm) akvakultúrákban humán fogyasztásra tenyésztett élőlények rendelkeznek a melegvérű (homoiotherm) állatfajokkal szemben (Horn és Urbányi, 2020).

Az alacsony mésztartalmú vulkanikus alapkőzeteken keletkezett tavak, illetve a magas nátrium tartalmú tengervíz pufferkapacitása alacsony, ezért mind a belső eredetű, mind a kívülről, pl. légköri diffúzióval bejutó széndioxid és más savas jellegű vegyület többek között a savas esőkkel érkező kén vegyületek és salétromos savak a víztestek elsavanyodását idézik elő, ami visszafordíthatatlanul megváltoztatja a korábbi élőlényegüttesek összetételét (csökkenti a biodiverzitást) és mennyiségi arányait (biomasszáit). Ezekben a mész-szegény víztípusokban a

megnövekedett légköri széndioxid tovább fokozza az elsavanyodási folyamatokat, mivel a széndioxid parciális koncentrációjának növekvő különbsége a légkör és az aktuális víztest között fokozza a széndioxid diffúzióját, amit a kalcium ion hiánya, illetve alacsony szintje nem kompenzál, ezért ezeknek a vizeknek az elsavanyodása, ebbe beleértve a hatalmas méretű tengereket is, már napjaink kézzelfogható jelensége. Az elsavanyosodás egyik, feltételezett magyarázata a konzervatív, kis ökológiai valenciájú (stenoeke) korallak pusztulásának.

A mészevgyületekben gazdag eutróf állóvizek a biológiai szervesanyag termelés okozta intenzív szénkörforgás során a létrejött, majd elpusztult élőlények szervesanyagainak kiülepedése során hatalmas széndioxid-raktárokként is fel-foghatók (Verdegen és Boshma, 2009, Robb és mtsai, 2017, MacLeod és mtsai, 2020) jelentős mértékben csökkentve a légköri széndioxid terhelés mértékét. A földtörténeti korokban így keletkeztek a különböző fosszilis energiahordozók hatalmas mennyiségei a tőzegtől a ligniten át a barna és fekete szénig, illetve a kőolajig, amelyeknek elégetésekor a rögzített széndioxid humán hatásra egyre fenyegetőbb mértékben kerül a légkörbe, illetve a víztestekbe.

A klímaváltozás hatása a halak élettani folyamataira

Az elmúlt időszakban számos tanulmány készült a klímaváltozás valós és vélt hatásairól a csontos halak élettani folyamataira. Alaptézis, hogy a halak, mint változó testhőmérsékletű gerincesek, fiziológiai folyamataira extrém módon hat a külső környezet hőmérséklete, így az ebben generálódó változások -természetesen különböző mértékben- befolyásolják a szervek és szervrendszerek működését. Szomorú tény, hogy az elmúlt 10 évben publikált tanulmányok szinte mindegyike megállapítja, hogy nem rendelkezünk -egyelőre- kellő tudással és ismerettel, hogy a klímaváltozás vs. hal fiziológia hatásaira és problémáira egyértelmű válaszokat adjunk.

Alix és mtsai (2020) átfogó áttekintést nyújtottak az optimálisnál magasabb hőmérsékletnek a csontoshalak szaporodásbiológiai folyamataira, ezen belül a gonádok fejlődésére és a halak szaporodását befolyásoló neuroendokrin rendszer fiziológiájára gyakorolt hatásairól, azzal a céllal, hogy megértsék annak a populációdinamikára, a halászatra és az akvakultúrára gyakorolt hatásait. A szerzők áttekintik, hogy az extrém meleg hogyan befolyásolja a reprodukív fejlődést lárvakortól az ívásig, ami a hipotalamusz-hipofízis-gonád tengely szabályzó működéséhez kapcsolódik. Megvizsgálták azokat a környezeti és biológiai tényezőket, amelyek módosíthatják ezeket a hatásokat, valamint az ivarsejtek minőségére, a spermiumképződésre/ovulációra és az ívásra gyakorolt negatív következményeket. Az áttekintés az ismerethiányok és azon területek kiemelésével zárul, ahol az új technológiák segíthetnek megérteni és előre jelezni az éghajlatváltozásnak a halak szaporodásbiológiai folyamataira gyakorolt hatásait.

Régóta ismert, hogy a hőmérséklet befolyásolja a halfajaink ivarának (nemének) kialakulását. Geffroy és Wedekind (2020) áttekintették, hogy a globális felmelegedés milyen módon torzíthatja a nemek arányát vadon élő halpopulációkban, ami potenciálisan mélyreható következményekkel járhat a populáció dinamikájára nézve. Ezen folyamatok különösen a stresszválaszok vagy az epigenetikai mechanizmusokon keresztül valósulnak meg, illetve a hőmérséklettől függő életké-

pesszgre (nemek közötti eltérő mortalitás), a nemek meghatározására gyakorolt hatásokat veszik figyelembe. A laboratóriumi vizsgálatok többsége azt jelzi, hogy a hőmérséklet olyan módon befolyásolja a nemek arányát, hogy a felmelegedés többnyire a hímek arányát növeli, amelyet néhány vadon élő populáción végzett vizsgálat is megerősített. A szerzők azzal a reménysugárral zárják tanulmányukat, hogy a transzgenerációs plaszticitás esetleg enyhítheti a felmelegedésnek a nemek közötti arányra gyakorolt hatását.

Alfonso és mtsai (2021) laboratóriumi vizsgálatok alapján értékelték a felmelegedésnek a halak stresszfiziológiájára gyakorolt hatásait, és ebből vontak le megállapításokat azzal kapcsolatban, hogy mi várható vadon élő populációkban. Azt tapasztalták, hogy a krónikus hőmérséklet-emelkedés olyan fiziológiai terhelést jelent, amely megváltoztathatja a halak egyéb stresszorokkal szemben mutatott ellenállóképességét, míg a szélsőséges hőhullámok közvetlen stresszreakciókat váltanak ki, mindezek pedig potenciális (negatív) következményekkel járhatnak a fitnessre és állati jólétre nézve.

McKenzie és mtsai (2021) azt vizsgálták, hogy a hőtűrés fajon belüli változékonysága hogyan lehet az adott faj globális felmelegedéssel szembeni ellenállóképességének egyik legfontosabb indikátora. Az áttekintés a tűrőképesség intraspecifikus variációjának három elemére vonatkozó empirikus bizonyítékokat vizsgálta: i) hogyan változik a tolerancia az egyes életszakaszokban, ii) a tolerancia fenotípusos plaszticitásának kiterjedt bizonyítékai vannak, amelyek esetében további kutatásokra van szükség a mögöttes mechanizmusok megértéséhez és annak feltárásához, iii) a felmelegedéssel szembeni helyi (lokális) alkalmazkodás és a tolerancia öröklődőképességének bizonyítékai. Az áttekintés az intraspecifikus variáció ezen formáinak ökológiai és evolúciós jelentőségét hangsúlyozza, egyben rámutat a további kutatások szükségességére.

Találhatóak emellett olyan tanulmányok is az elmúlt időszak közleményei között, amelyek kísérletes úton, gyakorta termelési körülmények között vizsgálták a felmelegedés hatásait egy adott halfajra. *Christensen és mtsai* (2020) például azt vizsgálták, hogyan befolyásolja az anyagcserét a hőmérséklet és a testméret az európai sügérben (*Perca fluviatilis* L.). Bizonyítékot találtak arra, hogy a nagyobb méretű állatok melegebb hőmérsékleten rosszabbul teljesítenek, ami potenciálisan kihat a sügerek méretére és méret eloszlására, azaz a populáció átlagos méretét a kisebb mérettartomány irányába tolja el.

A hazai haltenyésztés lehetőségei a klímaváltozás során

A magyar mezőgazdaság, erdészet és halászat nemzetgazdasági ág (együttesen) a bruttó hazai termék, a GDP termeléséhez 2021-ben 3,9 százalékkal járult hozzá (MAHAL, 2022). Az állattenyésztő ágazaton belül a halászati ágazat folyamatos emelkedést produkált a nemzeti össztermékhez való hozzájárulásával, annak ellenére, hogy az ágazat általánosságban elavult technikai feltételekkel rendelkezik. Kis mérete ellenére a halászati ágazatra több ellátó és kiszolgáló ágazat épül. A rekreációs célú halászat és horgászat nagy része, emellett több környezet- és természetvédelmi program, illetve ezek gazdasági-társadalmi teljesítménye is ezen az ágazaton alapszik.

Magyarországon 2021-ben az Agrárközgazdasági Intézet statisztikai adatgyűjtése

alapján akvakultúra-termeléssel 377 vállalkozás foglalkozott, a halastó művelési ágba sorolt tóterület nagysága 29 594 hektár, az üzemelő tavak területe 26 585 hektár volt. A korábbi évek gyakorlatának megfelelően a különböző korosztályú és különféle célra termelt halak egymáshoz viszonyított arányában nem történt lényegi változás. A halastavak 62 százalékán étkezési méretű halak termelése, 26 százalékán növendék-, 8 százalékán ivadékevelés történik, a fennmaradó 4 százalékot pedig egyéb célra hasznosítják a gazdák (MAHAL, 2022).

A hazai tógazdasági termelésre jellemző a regionalitás, mivel a régiók halas-tavak területének nagysága és termelési adottságai igen eltérők, sőt bizonyos térségben egyáltalán nem történik haltermelés. A területileg is legnagyobb alföldi régiók szerepe kiemelkedő a haltermelésben, több éve változatlanul ugyanaz a három régió (Észak-Alföld, Dél-Dunántúl és Dél-Alföld) adja, haltermelés 82,4 százalékát (MAHAL, 2022).

Az alföldi területekre az ún. körtöltéses, míg a dunántúli területekre az ún. völgy-zárógátas tavak a jellemzőek. A halászati ágazatban ténylegesen felhasznált víz mennyisége 2021-ben meghaladta a 302 millió köbmétert, ami 2,5 százalékkal kevesebb, mint egy évvel korábban, így egy hektárnyi üzemelt tóterületre átlagosan 11 649 köbméter vízfelhasználás jutott. A legtöbb vízmennyiséget a csapadékban szegény régiókban használták fel a tavak feltöltésére és utánpótlására. Az Észak-Alföldön 136 millió köbméter, a Dél-Dunántúl 60 millió köbméter, a Dél-Alföldön 63 millió köbméter vizet használtak fel, ami 85 százalékát jelenti az ágazat teljes vízfelhasználásának 2021-ben (MAHAL, 2022). A völgyzárógátas tavak vízszintjét jellemzően a lehulló csapadék mennyisége befolyásolja, így az aszályos időjárás ezeket a halastavakat sújtotta leginkább. A magas hőmérséklet és csapadékszegény időjárás miatt egyes helyeken nagyobb volt a párolgási veszteség a tavakon, mint a befolyó víz mennyisége, ezért több gazdálkodó kényszerlehalasztásokat végzett a halállomány megőrzése érdekében.

Az elmúlt évek haltermelésének eredményét mutatja be a 2. táblázat. Az adatokból megállapítható, hogy arányaiban az intenzív üzemi haltermelés mennyisége sokkal erőteljesebben nő, mint a tógazdasági termelésé. Ezt nem írhatjuk kizáró-

2. táblázat

Tógazdasági és intenzív üzemi haltermelés (MAHAL, 2022)

Év (1)	Tógazdasági haltermelés (2)		Intenzív üzemi haltermelés (3)		Tógazdasági + intenzív termelés összesen (4)	
	tonna (5)					
	bruttó (6)	étkezési (7)	bruttó (6)	étkezési (7)	bruttó (6)	étkezési (7)
2017	21 208	14 893	4 199	3 364	25 407	18 257
2018	22 541	14 414	4 246	3 487	26 787	17 901
2019	20 619	13 536	4 740	3 801	25 359	17 337
2020	21 353	14 395	5 277	4 051	26 630	18 446
2021	21 184	13 592	5 672	4 364	26 856	17 956

Table 2. Pond fish and intensive farming production

year (1); pond fish production (2); intensive system production (3); pond fish and intensive farming production-total (4); tonnes (5); gross volume (6); market size (7)

lagosan a „klímaváltozás számlájára”, de a termelési környezet állandósága és kiszámíthatósága biztosan hozzájárul ezen trend alakulásához.

A klímaváltozás hatása hazánk egyes területeinek ún. elsivatagosodása. Az elsivatagosodás elsősorban az éghajlati viszonyokkal, a növényzet kiirtásával és az ennek következtében létrejövő talajerózióval függ össze. Ugyanakkor természetesen a többi természetföldrajzi tényező módosító szerepe is fontos. A domborzat, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, a felszínközeli (talajképző) kőzet mind szerepet játszanak abban, hogy milyen gyors és milyen mértékű lesz az elsivatagosodás (Kertész, 2008). Több tanulmány kiemeli, hogy ezen hatások összefüggenek a talajvíz mélyebb rétegek szintekbe kerülésével, és azt hangsúlyozzák, hogy a természetes- és/vagy mesterséges tavak nagyon fontos szerepet tölthetnek be az elsivatagosodás folyamatainak lassításában és megállításában (Reynolds és mtsai, 2007).

A fentiek alapján elmondható, hogy a hazai tógazdasági haltermelési ágazat fennmaradása és fenntarthatósága közvetett ágazatai, és közvetlen nemzetgazdasági érdekek mellett kiemelt fontosságú.

Kihívások és azokra adható válaszok:

- a hazai haltermelés 79%-át a tógazdaságok biztosítják, amely termelési volumen a jelenlegi intenzív rendszerekben megtermelt halmennyiséggel nem pótolható. Ennek csökkenése az import haltermékek piaci bővülését eredményezné, amelyek fogyasztói ára (annak magas volta miatt) a halfogyasztás csökkenését eredményezné.
- az ágazatnak is illesztenie szükséges a meglévő termelésteknológiáját a klímaváltozás adta lehetőségekhez:
 - o át kell gondolni a vízmegtartás kérdését, így a termelésteknológiában alkalmazott ún. szárazon állást minimalizálni szükséges (ez elsősorban a körtöltéses tavakra volt jellemző), és minden vízutánpótlást a lehalászásokat követően szükséges felfogni és megtartani,
 - o az extrém melegek okozta vízhőmérséklet emelkedés negatív korrelációban van a víz oldott oxigéntartalmával, így a kiegészítő levegőztetés és oxigénbeoldás technológiai háttérét ki kell alakítani, így szükség esetén azonnali beavatkozással a haváriákat megelőzhetjük,
 - o a vízminőség rávilágít arra a tényre is, hogy a víz paramétereinek ellenőrzése (hőmérséklet, oldott oxigén és pH) a hagyományos kézi mérésekkel már nem biztosítja a termelés problémamentességét, szükséges tehát a modern technika adta mérőrendszerek bevezetése és telepítése, melyek online adattovábbítással, folyamatos mérésekkel segítik a tógazdát, és egyben megelőzhetővé teszik az extrém oxigénhiányos helyzeteket,
 - o a melegedő víztest hatással lesz az alga és plankton produktumra. Ha a vízfelmelegedés nem lesz extrém, akkor ezen szervezetek gradációja felgyorsul, amely szoros összefüggésben van a víz oldott oxigén szintjével, és ezen gyors változások detektálása szintén felkészültséget és beruházást igényel a tógazdától,
 - o a gyors vízhőmérséklet emelkedés a tavi trágyázás technológiáját is átalakítja, a magas vízhőmérséklet a trágyázási adagok átalakítását, a vízi környezethez illesztett adagok kalkulálást igényli.

- a jó tógazdasági gyakorlat szerint az ideális termelési környezetben a természetes takarmány (a tóban termelődő elsősorban plankton és algabiomassza) és a kiegészítő takarmány aránya 50%-50% (másnéven: a természetes hozam és a mesterséges hozam aránya egyenlő). Ezen alapvetéseket akarva-akaratlanul elfeledte a szakma az elmúlt években. A viszonylag olcsón beszerezhető gabona takarmány („kombájn alól” vagy tört szemként) eltorzította a szakmánkban kialakított, szakmai tapasztalásokon alapuló alapvetéseit a takarmányozásban. Megfeledkeztünk az évről-évre termelődő és megújuló plankton biomasszáról, amit ingyen kapunk a természetől, és amellyel felelősen bántva (pl. szerves trágyázással) hónapokig ki tudjuk egészíteni halaink táplálóanyag szükségletét. Ennek eredményeként az FCR (Feed Conversation Ratio-takarmány értékesítési együttható) 1:4 aránya eltolódott a felhasznált takarmány mennyiség irányába (átlagosan 1:6, de volt, ahol 1:8 mutatószámokat is tapasztaltak).
- a klímaváltozás generálta problémák még hangsúlyosabbá teszik a tudományos eredmények gyakorlatba való ültetésének szükségességét. Olyan genetikai háttérrel rendelkező halfajták és vonalak kitenyésztése szükséges, amelyek képesek az extrémebb időjárásból adódó vízi környezethez adaptálódni, így a termelés volumene szinten tartható. Ehhez alapként a hazai ponty tájfajták kiváló kiindulási potenciált biztosíthatnak a szakma számára. Különböző halpatogének és kórokozók gradálnak a mediterrán térségből Észak-Európa irányába, melyekkel halfajaink eddig nem találkoztak. Ezen betegségek felismerését, azok kezelését, és esetlegesen rezisztens halfajták kiválasztását igényli az ágazat, amelyre szintén készülni szükséges.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Annak érdekében, hogy az édesvízi akvakultúra sikeres legyen a globális felmelegedés kihívásaival szemben, több intézkedésre és beavatkozásra van szükség, melyeket összefoglalóan a 2. ábra mutat be.

Az ábrán bemutatott megoldási lehetőségek és javaslatok mellett fontos szerepe lehet az alábbi tevékenységeknek is:

Fenntartható vízgazdálkodás: A vízminőség megőrzése és a megfelelő vízmennyiség biztosítása érdekében elengedhetetlen a fenntartható vízgazdálkodás. Víztakarékos technológiák alkalmazása, a víz újrahasznosítása és a vízminőség monitorozása segíthet csökkenteni a kockázatokat.

Betegségkezelés és megelőzés: Az akvakultúrában elengedhetetlen a megfelelő betegségkezelési és megelőzési stratégiák kidolgozása. A hatékony megelőzési, szükség esetén vakcinázási programok, a betegségmonitoring és a megfelelő táplálkozás a halak immunrendszerének erősítéséhez és a betegségek terjedésének csökkentéséhez vezethet.

Környezetbarát termelés technológia: Az édesvízi akvakultúrában a fenntartható termelési módszerek alkalmazása segíthet csökkenteni a környezeti hatásokat. Például a tógazdasági halgazdaságok körforgásos termelőrendszerbe illesztése, az intenzív kagyló- vagy ráktermesztési rendszerek alkalmazása, a környezetbarát takarmányok használata mind hozzájárulhatnak a fenntarthatósághoz.

Klímaváltozáshoz való alkalmazkodás: Az akvakultúra szereplőinek alkalmazkodniuk kell a klímaváltozáshoz és a változó környezeti feltételekhez. Ez magában

2. ábra Az éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodási módok és megoldási lehetőségek
(Abisha és mtsai, 2022 alapján)

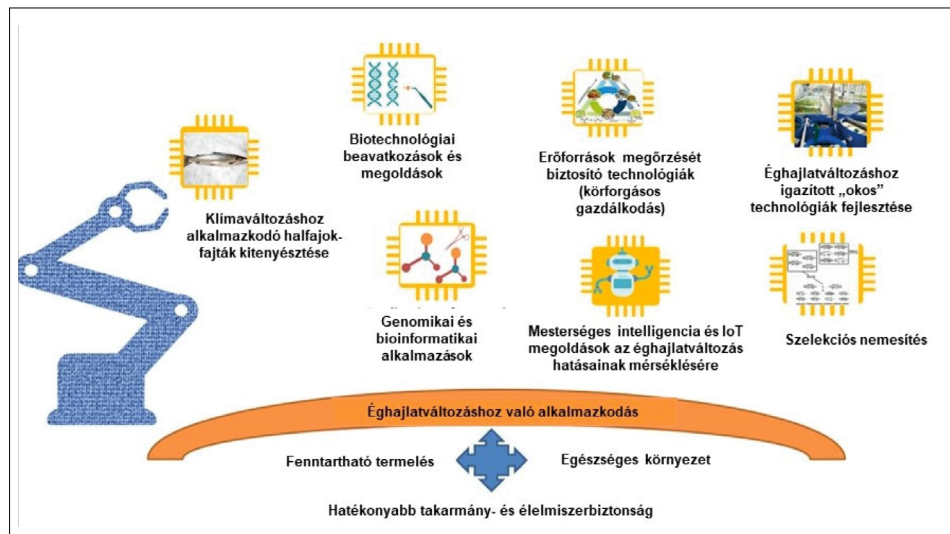


Figure 2. Different climate-resilient adaptions against challenging climate change

foglalhatja az új fajták és hibridek kitenyészítését, az új termesztési módszerek kidolgozását, valamint a folyamatos kutatás-fejlesztés és az oktatás támogató bevonását a fejlesztésekbe.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a klímaváltozás hatásainak felmérése folyamatban van, de az azokra adható válaszok és megoldási javaslatok minimálisan állnak rendelkezésre. Aligha vitatható, hogy a tógazdasági haltermelés meghatározó szerepet fog játszani a jövőben is Magyarországon, de nem hagyható figyelmen kívül, hogy a kiszámíthatatlan időjárási hatásokkal szemben az intenzív, zártrendszerű haltermelési rendszerek védelmet nyújthatnak. Ezért az intenzív halnevelési megoldások további terjedésével is számolnunk kell, sokoldalúan támogatva az innovációs folyamatokat is.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abisha, R. - Krishnani, K. K. - Sukhdhane, K. - Verma, A. K. - Brahmane, M. - Chadha, N. K. (2022): Sustainable development of climate-resilient aquaculture and culture-based fisheries through adaptation of abiotic stresses: a review. *J. Water Clim. Change*, 13. 2671-2689.
- Alfonso, S. - Gesto, M. - Sadoul, B. (2021): Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *J. Fish Biol.*, 98. 1496-1508.
- Alix, M. - Kjesbu, O. S. - Anderson, K. C. (2020): From gametogenesis to spawning: How climate-driven warming affects teleost reproductive biology. *J. Fish Biol.*, 97. 607-632.
- Audzijonyte, A. - Richards, S. A. - Stuart-Smith, R. D. - Pecl, G. - Edgar, G. J. - Barrett, N. S. - Blanchard, J. L. (2020): Fish body sizes change with temperature but not all species shrink with warming. *Nat. Ecol. Evol.*, 1. 1-6.
- Boyd, C. E. (2010): Aquaculture ponds hold carbon. *Global Aquaculture Advocate*, digital magazine, March/April 23-24

- Boyd, C. E. – Wood, C. W. – Chaney, P. L. – Queiroz, J. F. (2010): Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. *Environm. Pollut.*, 158. 2537–2540.
- Bryndum-Buchholz, A. - Spijkers, J. - Kok, K. - Verborg, P. H. (2018): Global map of exposure to criticality in marine aquaculture. *Earth's Future*, 6. 393-414.
- Christensen, E. A. F. - Svendsen, M. B. S. - Steffensen, J. F. (2020): The combined effect of body size and temperature on oxygen consumption rates and the size-dependency of preferred temperature in European perch *Perca fluviatilis*. *J. Fish Biol.*, 97. 794–803.
- Cochrane, K. - De Young, C. - Soto, D. - Bahri, T. (2009): Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 530. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/012/i0990e/i0990e00.htm>
- Collins, M. - Sutherland, M. - Bouwer, L. - Cheong, S.-M. - Frölicher, T. - Jacot Des Combes, H. - Tibig, L. (2019): Extremes, abrupt changes and managing risk. In H.-O. Pörtner, - D. C. Roberts, - V. Masson-Delmotte, - P. Zhai, - M. Tignor, - E. Poloczanska (Eds.), IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate Retrieved from: Geneva: IPCC. <https://www.ipcc.ch/srocc/cite-report>.
- Crozier, L. G. - Hutchings, J. A. (2014): Plastic and evolutionary responses to climate change in fish. *Evol. Appl.*, 7. 68–87.
- Daufresne, M. - Lengfellner, K. - Sommer, U. (2009): Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106. 12788–12793.
- FAO (2022): The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Ewing, B. - Reed, A. - Galli, A. - Kitzes, J. - Wackernagel, M. (2010): Calculation methodology for the national footprint accounts, Oakland: Global Footprint Network. 1-22.
- Felföldy, L. (1981): A vizek környezettana, általános hidrobiológia Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1-289.
- Frölicher, T. L. - Fischer, E. M. - Gruber, N. (2018): Marine heatwaves under global warming. *Nature*, 560. 360–364.
- Gardner, J. L. - Peters, A. - Kearney, M. R. - Joseph, L. - Heinsohn, R. (2011): Declining body size: A third universal response to warming? *Trends Ecol. Evol.*, 26. 285–291.
- Geffroy, B. - Wedekind, C. (2020): Effects of global warming on sex ratios in fishes. *J. Fish Biol.*, 97. 596–606.
- Goikoetxea, A. - Sadoul, B. - Blondeau-Bidet, E. - Aerts, J. - Blanc, M. O. - Parrinello, H. - Geffroy, B. (2021): Genetic pathways underpinning hormonal stress responses in fish exposed to short- and long-term warm ocean temperatures. *Ecol. Indic.*, 120. 106937.
- Hegyi, Á. - Lefler, K. (2016): Horgászvizek üzemeltetésének gyakorlata. Szerzői kiadás 39-41.
- Hickling, R. - Roy, D. B. - Hill, J. K. - Fox, R. - Thomas, C. D. (2006): The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding Polewards. *Glob. Change Biol.*, 12. 450–455.
- Horn, P. – Urbányi, B. (2020): A haltenyésztés versenyképessége más állattenyésztési ágazatokkal az állati fehérje termeléssel összefüggésben. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 69. 281-292.
- Horváth, L. – Hegyi, Á. – Béres, B. - Csorbai, B. – Urbányi, B. (2022): Környezetkímélő Haltenyésztés. *MATE Gödöllő*, 1-237.
- Huey, R. B. - Kearney, M. R. - Krockenberger, A. - Holtum, J. a. M. - Jess, M. - Williams, S. E. (2012): Predicting organismal vulnerability to climate warming: Roles of behaviour, physiology and adaptation. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 367. 1665–1679.
- IPCC (2014): Climate change 2014: Synthesis report. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Karl, T. R. – Trenberth, K. E. (2013): Modern global climate change. *Science*, 302. 1719-1723.
- Kertész, Á. (2008): A klíma- és környezetváltozások földtudományi összefüggései. *Magyar Tudomány*, 169. 715-719.
- Little, D. C. - Newton, R. W. - Beveridge, M. C. (2016): Aquaculture: A rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proc. Nutr. Soc.*, 75. 274-286.

- MAHAL (2022): Fehér könyv: Jelentés a szervezet működésének 2021. évi eredményéről, Budapest, 1-68.
- McKenzie, D. J. - Axelsson, M. - Chabot, D. - Claireaux, G. - Cooke, S. J. - Corner, R. A. - Hamer, B. (2016): Conservation physiology of marine fishes : State of the art and prospects for policy. *Conserv. Physiol.*, 4. 1–20.
- McKenzie, D. J. - Geffroy, B. - Farrell, A. P. (2021): Effects of global warming on fishes and fisheries. *J. Fish Biol.*, 98. 1489-1492.
- McKenzie, D. J. - Zhang, Y. - Eliason, E. J. - Schulte, P. M. - Blasco, F. R. - Claireaux, G. - Farrell, A. P. (2021): Intraspecific variation in tolerance of warming in fishes. *J. Fish Biol.*, 98. 1536–1555.
- MacLeod, M. J. - Hasan, M. R. - Robb, D. H. F. - Mamun-Ur-Rashid, M. (2020): Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Sci. Rep.*, 10. [11679].
- Myers, B. J. E. - Lynch, A. J. - Bunnell, D. B. - Chu, C. - Falke, J. A. - Kovach, R. P. - Paukert, C. P. (2017): Global synthesis of the documented and projected effects of climate change on inland fishes. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 27. 339–361.
- Ördög, V. (2000): Halastavak hidrobiológiája – a tókezelés hidrobiológiai alapjai. In Horváth L. (szerk.): Halbiológia és haltenyésztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest 344-385.
- Padisák, J. (2005): Általános limnológia. ELTE Eötvös Kiadó, 1-310.
- Parnesan, C. - Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421. 37–42.
- Perry, A. L. - Low, P. J. - Ellis, J. R. - Reynolds, J. D. (2005): Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308. 1912-1915.
- Poloczanska, E. S. - Brown, C. J. - Sydeman, W. J. - Kiessling, W. - Schoeman, D. S. - Moore, P. J. - Brander, K. - Bruno, J. F. - Buckley, L. B. - Burrows, M. T. - Duarte, C. M. - Halpern, B. S. - Holding, J. - Kappel, C. V. - O'Connor, M. I. - Pandolfi, J. M. - Parnesan, C. - Schwing, F. - Thompson, S. A. - Richardson, A. J. (2013): Global imprint of climate change on marine life. *Nat. Clim. Change*, 3. 919-925.
- Pörtner, H. O. - Farrell, A. P. (2008): Physiology and climate change. *Science*, 322. 690–692.
- Pörtner, H. O. - Peck, M. A. (2010): Climate change effects on fishes and fisheries: Towards a cause-and-effect understanding. *J. Fish Biol.*, 77. 1745–1779.
- Pulsifer, J. - Laws, E. (2021): Temperature dependence of freshwater phytoplankton growth rates and zooplankton grazing rates. *Water*, 13. 1591.
- Reynolds, J. - F. - Stafford-Smith, M. D. - Lambin, E. F. - Turner, B. L. - Walker, B. (2007): Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*, 316. 847-851.
- 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), FAO, Rome, 1-110. <https://www.fao.org/3/i7558en/i7558en.pdf>
- Rogers, L. A. - Dougherty, A. B. (2019): Effects of climate and demography on reproductive phenology of a harvested marine fish population. *Glob. Change Biol.*, 25. 708–720.
- Seebacher, F. - Franklin, C. E. (2012): Determining environmental causes of biological effects: The need for a mechanistic physiological dimension in conservation biology. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 367. 1607–1614.
- Seebacher, F. - White, C. R. - Franklin, C. E. (2015): Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change. *Nat. Clim. Change*, 5. 61–66.
- Smil, V. (2022): Understanding food production. In: *How the World really works. The science behind how we got here and where we are going.* 40-68. Viking. Penguin Random House Ltd. London.
- Stillman, J. H. (2019): Heat waves, the new Normal: Summertime temperature extremes will impact animals, ecosystems, and human communities. *Physiology*, 34. 86–100.
- Thiault, L. - Marzloff, M. - Kaplan, D. M. (2015): How climate-driven disturbances interact to destabilize ecosystems: a conceptual model. *Ecol. Monogr.*, 85. 263-280.
- Troell, M. - Joyce, A. - Chopin, T. - Neori, A. - Buschmann, A. H. - Fang, J. G. - Jonell, M. (2014): Perspectives and challenges for the future of aquaculture in the context of climate change.

- In Global change and sustainable development (437-470). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8739-1_15
- Uhlmann, D.* (1975): Hydrobiologie, ein Grundriss für Ingenieure und Naturwissenschaftler VEB, G. Fischer Verlag, Jena, I-345.
- Verdegem, M.-Bosma, R.* (2009): Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Policy Suppl.*, 11. 52–68.
- Wang, T. - Overgaard, J.* (2007): Ecology. The heartbreak of adapting to global warming. *Science*, 315. 49–50.
- Woynárovich, E. -Zámbó, I.* (1963): A halhústermelés megszervezése és eredményei a Bikali Állami Gazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1-88.

Érkezett: 2023. augusztus

Szerzők címe: Horn P.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Kaposvári Campus

Authors' address: Hungarian University of Agricultural and Life Sciences
Kaposvár Campus
H-7400, Kaposvár, Guba S. u. 40.
Horn.Peter@uni-mate.hu

Mézes M. - Horváth L. - Urbányi B.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Hungarian University of Agricultural and Life Sciences
Szent István Campus
H-2100, Gödöllő, Páter K. u. 1.