

## Hozamcsökkenő energiatorlódások a halastavi ökoszisztémákban

Horváth László<sup>1</sup>, Béres Beatrix<sup>1</sup>, Csorbai Balázs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Környezet-  
és Tájgazdálkodási Intézet, Halgazdálkodási Tanszék

<sup>2</sup> Jászkiséri Halas Kft.

### Kivonat

A mesterséges halastavi ökoszisztémákban a primer producensek által megtermelt anyag és energia, illetve a kívülről származó agrotechnikai beavatkozások (trágyázás, takarmányozás) során bejuttatott szerves energiák a trofitási szinteken történő vándorlás során a haltenyésztők számára nem kívánatos irányokba terelődhetnek, eltérülhetnek a kívánatos útvonaltól. Ilyen esetekben időszakos energiatorlódás, vagy zsákutca keletkezhet.

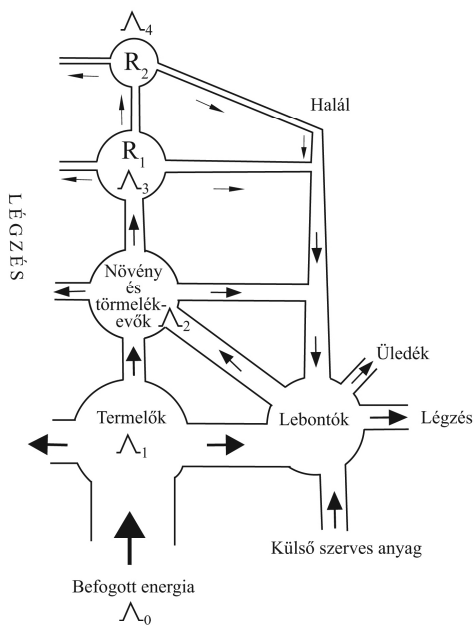
### A biológiailag megtermelt anyag és energia útja

A Bioszféra ökoszisztémáiban, a Föld felszínére érkező napenergiát a klorofil a- val rendelkező növényi (autotróf) szervezetek kötik meg szerves szénformák (CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) összekapcsolásával szerves vegyületekké (asszimiláció). Ez a vízinövények fotoszintézise során megkötött anyag és energia az Elton piramis trofitási szintjein vándorol, miközben a megtermelt kiindulási szerves anyag egy része áthasonul más élő szervezetek (heterotrófok) testanyagává *tömörödik* (Sebestyén 1963), más része visszakerül az anyag körforgásba a lebontó (reducens) szervezetek közreműködésével, míg a megtermelt szerves anyagban biológiai úton rögzített energia felhasználódik és kikerül a rendszerből. A növények által megtermelt szerves anyag tehát a különböző heterotróf fogyasztó és lebontó organizmusok anyagcseréjéhez folyamatosan biztosítja az energiát a vízi ökoszisztémák működése során. A különböző trofitási szintek között a kapcsolatot az élőlények *táplálkozása* biztosítja, az anyag és az energia táplálékláncok-táplálék hálózatok mentén vándorol. Az alacsonyabb trofitási szint hasznosulása egy fölötte lévő trofitási szinten általában 10%-os hatékonyságú (*Lindeman szabály-Felföldy 1981*). A kedvezőtlen hasznosulási ráta megszabja az egymásra alapozott táplálékos kapcsolatok hosszát, a legtöbb biológiai rendszerben 4, maximum 5 szint lehetséges. Ez az energiavándorlás kisebb eltérésekkel minden szárazföldi és vízi ökoszisztémára érvényes.

A szerves anyag és a benne rögzült energia mozgásának érzékeltetésére az Elton piramis alkalmas, amely lehet a számok piramisa, biomassza-piramis és

lehet energia-piramis attól függően, hogy az ökológus milyen szempontok alapján elemzi az adott biológiai rendszert (Elton 1947).

A trofitási szinteket ( $\lambda$ , lamda) szimbólummal jelöljük (Felföldy 1981). Ebben a rendszerben a szerves anyagot előállító autotróf szervezeteket *elsődleges termelőknek* (*primer producenseknek*), a kész élő szerves anyagot fogyasztó heterotróf szervezeteket pedig *másodlagos termelőknek*, vagy *fogyasztóknak* (*konzumenseknek*) nevezzük (Dévai és munkatársai 1977). Azokat a szervezeteket, amelyek közvetlenül a növényi termékeket (azok leveleit, terméseit, hajtásait stb.), vagy az egész növénykét (algákat) fogyasztják, *elsődleges fogyasztóknak* (*primer konzumensek*) nevezzük. Ha a vízi táplálékláncban a növényevő vízi állatoknak is van fogyasztója, azokat már *másodlagos fogyasztóknak* (*szekunder konzumenseknek*) hívjuk. Ezeknek is lehetnek fogyasztói (ragadozói), amelyek a *harmadlagos fogyasztók* (*tercier konzumensek*), és így tovább.



Az energiaáramlás irányai a vízi ökoszisztémában (Felföldy 1981)

Az állati test felépítése során tehát az energia lassan felhasználódik, átalakul hőenergiává, mozgási energiává, állati biomasszává (Felföldy 1996), vagy anyagcsere terméként ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , stb.), szerves ürülékként távozik el az élő rendszerből. Az elpusztuló növények és állatok, az anyagcsere termékek (az ürülék stb.) holt szerves anyagnak minősül. Az energiamezőmozgás leszálló ágán is tevékenykednek élőlények (*lebontó, dekomponáló, rekuperáló szervezetek*), amelyeknek szerepe a lebontási, visszamentési folyamatban nyilvánul meg. Ezek a vízi szerveze-

tek a különböző elhalt szerves anyag még meglévő energiataralmát használják fel életfolyamataikhoz. Beszélhetünk *hullaevésről (nekrofágia)*, *ürülékevésről (koprofágia)*, *hulladékevésről (szaprofágia)*, *törmelékevésről (detritofágia)* stb. Gyakorik a *mindenevők (omnivorák)*, az az élőlénycsoport, amelyek nem egy táplálékforrásra szakosodtak, hanem válogatás nélkül elfogyasztják a méretileg megfelelő élő és élettelen formált szerves anyag részecskéket (Sebestyén 1963, Felföldy 1981).

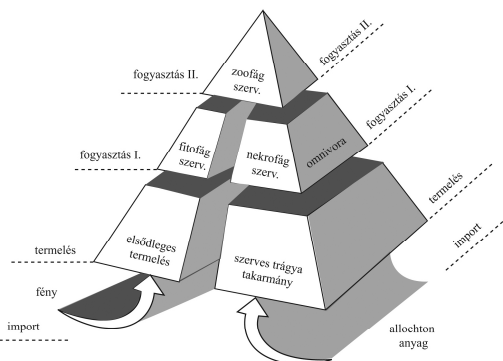
A lebontásban igen nagy szerepe van a vízi baktériumoknak és mikro gombáknak, amelyek a szerves vegyületeket végső elemeire bontják és visszajuttatják az anyag körforgásba újból felvehető növényi tápelemként. A mikrobiális hurok egy olyan rövidre zárt szerves anyag út, amikor szaprofita organizmusok a holt szerves anyagot elemeire bontják és a mineralizált növényi tápanyagokat rövid úton juttatják el a növényekhez, mikro algákhoz (Vörös et al 1996) amelyek maguk is hasznosítani tudnak egyszerűbb felépítésű szerves molekulákat.

A trofitási szinteken áthaladó energia áramlás végső állomása a rendszer csúcán álló ellenség nélküli csúcsragadozó, amelynek már az adott rendszerben nincs fogyasztója. Ezekben az organizmusokban tehát az energia akkumulálódik, ahonnan az csak a csúcsfogyasztó pusztulása után szabadul fel, kerül vissza körforgalomba. A természetes vizekben hasonló szerepet tölthet be az olyan nagytermetű, nem csúcsragadozóként jelenlévő, táplálkozás szempontjából az alsóbb trofitási szintekhez tartozó élőlény is, amelyet már mérete miatt a rendszer valódi csúcsragadozói sem képesek elfogyasztani (pl. nagy busa a primer konzumens szintről, vagy nagyra nőtt ponty a szekunder konzumens szintjéről). Ezek az anyagkörforgásból kikerült élőlények anyagmennyiségüket tekintve rendszerint elenyészőek a vízi ökoszisztémák különböző szintjein áramló anyag/energia mennyiségeihez képest, de kivételes esetekben biomassájuk jelentős is lehet.

A fent vázolt rendszer önszabályozó, a felsőbb szint nagysága az alsóbb szint táplálék kínálatának nagyságától függ (Biró 1993).

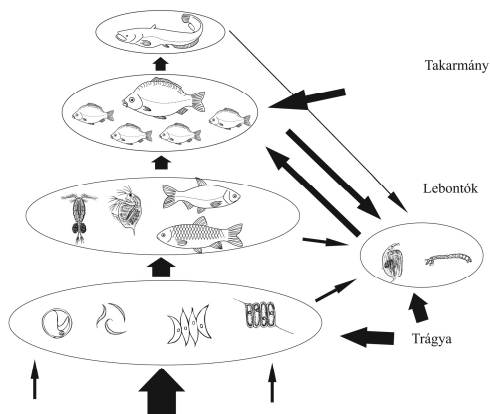
### **Anyag és energia vándorlás a halastóban**

A bevezetőben elmondottak érvényesek a mesterséges vízi ökoszisztémáknak tekinthető halastavi ökoszisztémákban is. Ezekben a mesterségesen kialakított és agrotechnikai beavatkozásokkal kívülről folyamatosan befolyásolt ökológiai rendszerekben a folyamatokat szabályozó természeti törvények, összefüggések ugyanazok, mint a természetes vizekben, azonban a halastavakban az emberi beavatkozások következtében az önszabályozási folyamatokat az agrotechnikai beavatkozások felülírják a termelői igényeknek (nagy haltermés, olcsó önköltségű halhús stb.) megfelelően.



Az energiavándorlás a sekély halastavakban (Elton pirami) (Ördög 2000 után)

A különbséget jól szemlélteti a fenti ábra, ahol a halastóba beszállított szerves trágya és takarmány szerves anyag tartalma növeli a rendszerben áramló anyag és energiaszintet.



Valós energiautak (összefüggések) a halastóban.  
A természetes és a kiegészítő táplálék a pontyállomány tápanyag ellátását szolgálja

A hidrobiológiai tipológia szerint sekély állóvizeknek minősülő eutróf halastavakban is a napfény energiáját a tó fotoszintézisre képes autotróf vízi növényei, az alga-, és a magasabb rendű növények alkotta makrovegetáció a növényi tápanyagok (szervetlen szén, nitrogén, foszfor, mikro és nyomelemek) felhasználásával a szerves anyagok szintézise során biológiai energiává alakítják. Ez az energia a táplálékláncon (hálózaton) keresztül elindul a magasabb energetikai szintek felé: a növényi termékeket a növényevők (elsőfokú fogyasztók-primer konzumensek, a halastóban a kisrákok, busák, amurok stb.) elfogyasztják. A növényi biomassa (vagy energia) mintegy 10 %-át testanyagaik építésére használják, a többi részét életműködésükhöz felhasználják, illetve még bizonyos energiatartalommal rendelkező szerves törmelékként (anyagcsere termékek, ürülék) visszajuttatják a környezetükbe.

A növényevőket, (elsősorban a planktonikus kistrákokat) és a lebontó bentonikus (rekuperáló) szervezeteket (üledéklakó férgeseket, rovarlárvákat) fogyasztó halak, elsősorban a ponty hasznosítja. A kisméretű planktonevő halakat, pl. a pontyok vadívásából származó ivadék pontyokat, gyomhalakat a tavi termelési szerkezetben lévő ragadozó, pl. a harcsa hasznosítja.

A halastavi környezetben, miközben az élőlényekhez kötött energia egyre magasabb táplálkozási szintekre vándorol, egyre több szerves törmelék halmozódik fel, amelynek energiatartalmát a lebontó szervezetek (formált szerves törmelék felbontó törmelékevők, hulladékevők stb.), és a teljes lebontást végző (mineralizáló) baktériumok hasznosítják, és szintén táplálék kínálatot jelentő, elfogyasztható élő heterotróf biomasszát építenek fel, amely azonnal visszakerül a felszálló energiaáramba. E mellett az elemekre bontott szerves anyag már további energiakészletekkel nem rendelkező, mineralizált komponensei, mint növényi tápanyagok visszakerülnek a tápanyag körforgalomba, és az anyagforgalmi folyamat kezdődik előlről.

A halak testében rögzülő, halmozódó élő biomassza (halhús gyarapodás) értékes táplálék formájában szolgálja a humán igényeket (a tenyésztésre kihelyezett halállományok a haltenyésztő elvárásai, tervei szerint növekednek).

### **Energia kitérők a halastavakban**

Ha a táplálkozási szintek egymásra épülésében, a táplálék kínálat és fogyasztás rendszerében zavar támad, az energiaáramlás megakadhat, a megtermelt energia nem a haszonhalak irányába, hanem a termelés szempontjából haszontalan, vagy káros zsákutcákba halmozódik fel, az energia-folyam torlódását eredményezi. Ennek oka lehet vagy a fogyasztható táplálék nagyon gyors gyarapodása, vagy a felsőbb, fogyasztói szint elégtelen működése, hiánya stb.

Ezek a nemkívánatos energetikai zsákutcák a haltermelés, a halhús hozam szempontjából hátrányosak, mivel lelassul, vagy megtorpan a halhús termelésének, előállításának üteme.

A következőkben tekintsük át azokat az eseteket, amikor ilyen energiatorlódás keletkezhet a halastóban. Hangsúlyozzuk, hogy ezek a zsákutcák a halhús termelés szempontjából tekinthetők zsákutkáknak és nem biológiai értelemben, hiszen a trofitási szintekben megjelenő biológiai produkció a bevezetőben ismertetett szabályok szerint áramlik (halmozódik, lebomlik, újra hasznosul stb.). Az *energetikai zsákutca* kifejezést a halhús termelés felé irányuló energiamozgás megtorpanása, eltérítése eseteire alkalmazzuk.

Az elsőként nagyító alá vett ilyen energetikai zsákutca a *szerves üledék* mértékelen felhalmozódása.

#### *1. Az elhalt szerves anyag sorsa a halastóban*

A halastavakban az időléptéktől függően beszélhetünk szezonon belüli és több szezonra kiterjedő szerves üledék felhalmozódásról. A szerves üledék nagymértékű halmozódása akkor következik be a halastóban, ha a szerves anyag lebontása, a visszamentő energetikai ág nem működik kellő hatékonysággal és megfelelő sebességgel, mivel ilyen esetben a rendszerben több szerves anyag keletkezik és

ülededik le időegység alatt, mint amennyit a lebontó, visszamentő többsejtű szervezetek és a baktériumok képesek lebontani.

Vizsgáljuk meg azt, hogy milyen okai lehetnek annak, ha a szerves anyag képződés, ülededés gyorsabb, mint a lebontás? A szerves üledék gyors keletkezésének egyik fontos forrása a naponként a pontyoknak kiadagolt, kiegészítő takarmány elfogyasztása után képződött pontyürülék, amely újabb és újabb rétegekben ülededik a korábbi szerves anyag masszára. Hasonló hatása van az amur trágyának a szárazföldről bevitt fűfélékből származó nagymennyiségű ürülék képződésekor. Ugyanebbe a trendbe tartozik a busa ürüléke is, amely a víztestben lévő élő biomasszából (zoo- és fitoplankton, bakterioplankton egy része stb.) gyárt holt szerves törmeléket, csökkentve az élő lebegő, és növelve az üledető holt szerves anyagot. Ezen kívül az elhalt növényi biomassza összetöredezve és leülepedve szintén növeli az üledék szerves anyag tartalmát. Nemcsak a vízi növények, hanem a szél és eső által bejuttatott szárazföldi szerves törmelék, valamint az intenzív gyakori szerves trágyázás is ebbe az irányba hat (allochton hatások).

A képződés-lebontás egyensúlyához, a folyamat megértéséhez át kell tekintelnünk azokat a tényezőket is, amelyek befolyással vannak a szerves anyag lebontására.

A rendszer fontos eleme az üledéklakó, szerves törmeléket fogyasztó szervezetek csoportja, azok létszáma és összetétele. A szerves törmeléket közvetlenül táplálékként hasznosító törmelékevő (detritofág) szervezetek között jelentőségüket tekintve kiemelkednek a tó iszapjában élő rovarlárvák, elsősorban az árvaszúnyogok (Chironomidae) iszaplakó lárvai. Ezek mellett a csövíj gyűrűsférgék (Tubificidae) és az üledékben élő ágascsapú rákok (Cladocera), a kagylós rákok (Ostracoda), és az evezőlábú rákok (Copepoda), valamint különböző puhatestűek (Molluscák), közöttük kagylók és csigák alkotják azokat a csoportokat, amelyeknek a szerves anyag lebontásban a biológiai szerepük nagy.

Ha ezeknek a csoportoknak a létszáma nagy, és anyagcseréjük intenzív, a leülepedő formált szerves anyag nagy részét még a sekély tavakban is elfogyasztják, energiataartalmát hasznosítják. Leggyakrabban azonban hiába jelentős a táplálék kínálat (itt a szerves üledék) a halastóban, ezek a csoportok nem képviseltetik magukat kellő létszámban. Ennek elsődleges oka a kihelyezett halállományok magas létszáma és intenzív táplálkozása. Az előbbieken felsorolt üledéklakó élőlények ugyanis kivétel nélkül fontos haltáplálék szervezetek, amelyeket a fenéken táplálkozó halfajok, mindenekelőtt a pontyok intenzíven keresnek és megszerzésükért az üledékben turkálnak (bioturbáló tevékenység).

Ha a fenti élőlény csoportok szaporodási (utánpótlási) üteme lassúbb, mint a halak kifalási táplálkozási tevékenységének üteme, a lebontás szintjén az üledéklakók létszáma csökken, a szerves anyag kínálat ezzel párhuzamosan egyre nő, az újonnan képződött és leülepedő szerves anyag mennyisége több, mint a lebontott szerves anyagé. Ez a kifalási nyomás olyan nagy lehet a halak intenzív táplálkozása miatt, hogy a lebontók hatékony újratermelődéséhez (szaporodáshoz) szükséges állomány hányad is hiányozhat, nincs elég szaporodóképes ivarérett egyed, hiába nagy a táplálék kínálat. Kivételt ez alól a hullámszerűen szaporodó árvaszúnyogok képeznek, hiszen itt az utánpótlás külső forrásból a vízzen kívülől érkezik a vízre telepített petecsomók formájában, amelyek azután kikelve az üledék árvaszúnyog lárva állományát hatékonyan gyarapítják. Az árvaszúnyogok szaporodó egyedei nem feltétlenül ugyanabból a víztestből származnak, ahová

petéiket elhelyezik, tehát itt a halak kifalása nem mindig korlátozza az utánpótlás mértékét.

A halastavi környezetben a vízi baktériumok, mikrogombák és egysejtűek a legfontosabb szereplői a lebontó folyamatoknak. Ezek a gyakran mikron méretű baktériumok, gombák és egysejtűek kedvező viszonyok mellett igen gyorsan, órákon belül szaporodnak, számos környezeti tényezővel szemben toleránsak, szerves anyag lebontásuk meleg környezetben igen gyors. A legfontosabbnak tartott baktériumoknak a lebontási folyamatban két nagy csoportja különíthető el, az aerob csoport, amelynek életfolyamataihoz oldott oxigénre van szükségük, és az anaerob csoport, amelynél a lebontási folyamatokat oxigénhiányos környezetben is képesek elvégezni.

Az első csoport a víztestben és az üledék felső, oxigénnel jól ellátott, vékony rétegében él, míg a második csoport a mélyebb, az oldott oxigéntől elzárt üledék-rétegekben tevékenykedik.

Az aerob baktériumok végzik a vízben oldott állapotban jelenlevő szerves anyagok (*DOM*) lebontását is (Padisák 2005). Az aerob csoportnál a lebontás végterméke szén-dioxid (hidrokarbonát), az anaerob baktériumoknál főként metán.

A szempontunkból fontosabb aerob csoport végzi nemcsak az üledék felső rétegeiben, hanem a víztestben is a lebontást, tehát a halak bioturbálása, az üledék felkeverése éppen azáltal segíti igen hatékony módon a lebontási folyamatokat, hogy a már kiülededett és az anaerob irányba tartó szerves anyagot visszakeveri újból és újból az oxigénben gazdag víztérbe. Itt a baktériumoknak alkalmuk nyílik a formált szerves törmelék felszínén megtelepedni és haladéktalanul elkezdni a holt szerves anyag lebontását, ami a teljes mineralizációig tart.

Az idősebb, hatékonyabban turkáló pontyokkal népesített halastavak üledékének szerves anyag tartalma ezért rendszerint kevés, a tó alja szinte kemény. Ezekben a tavakban nincs energia zsákutca az üledékben. A rendszeres meszezéssel ezt a lebontási folyamatot oly módon segítjük, hogy jóllehet a mészvegyületek közvetlen hatására csökken a mikroorganizmusok száma (baktericid – fungicid hatás) azonban a Ca-ion bevitelére nagy szükség van a fokozott lebontás során keletkező szén-dioxid megkötése és ezen keresztül a széntartalék fokozása szempontjából.

A kultúr állapotú halastavakban a lebontás egyensúlyban van a szerves anyag képződésével a megfelelő arányú bioturbáló pontyállományok és a rendszeres mészbevitel eredményeként.

A szerves üledék felhalmozódás több évig ivadéknevelésre használt tavakban, vagy olyan régi építésű halastavakban gyakori, ahol az üledék évek alatt laza, sok szerves agyagkolloidot és más szerves, kolloid méretű szemcsét (szilikátokat, kalcium-karbonát kristályokat stb.) tartalmaz. Ezek nehezítik a szerves lebontást, mert gátolják az oxigén lejutását az üledékbe.

A tavak aljának mélyedéseiben is összegyűlhet laza, szerves anyagban gazdag üledék, amely lassanként közrejátszhat a tavak fokozatos feltöltődésében is.

A szerves anyagok által kiváltott feltöltődési folyamatnak a megelőzésére és a felhalmozott szerves anyag energiataralmának visszafordítására az anyagforgalomba, több évi ivadéknevelése után szükség van a „vetésforgóra”, azaz néhány évig idősebb halállományokat szükséges ezekbe a tavakba telepíteni, hogy azok feltárlják a több év alatt felhalmozott szerves üledéket.

A tógazda számára a legrövidebb és leghatékonyabb energetikai útvonal az *egysejtű zöldalgák – kistrákok – plankton fogyasztó halak* tápláléklánc. Ebben az energiaútvonalon minden energetikai szintnek megvan a fogyasztója, e mellett a szerves anyag lebontásnak, a tápanyagok visszamentésének az útvonala is rövid és gyors.

Ha a fent bemutatott rövid energia útvonalon bármely szinten korlátozás (limitáció) keletkezik, az energia megtorlódik, vagy elkanyarodik, és nehezen hozzáférhetővé válik.

## 2. A vízvirágzás és a kékalgák túlzott elszaporodása. A telepes algák okozta bioenergetikai zsákutca

Az eddigiek szerint a tógazda elsődleges célja úgy befolyásolni a halastavi környezetet, hogy az elsődleges biológiai energiatermelés a plankton algák szintjén következzen be, és ne a magasabbrendű vízi növényzet állományaiban. Fenntartva ezt az alapszabályt, az alábbiakban kissé pontosítjuk ezt a kérdéskört, hiszen nagyon sokféle alga vehet részt a biológiai termelésben a valóban hasznos egysejtű zöldalgáktól az eutróf sekély halastavakban igen gyakran és nagy létszámban élő kékalgákon (*cianobaktériumok*) át a népes csoportot alkotó kovamoszatokig, és a különleges szerves környezetet igénylő ritkább alga csoportokig (pl. *ostoros moszatok*).

Tehát a közismert "alga" fogalom igen változatos és nagyszámú növényi szervezetet takar.

Legtöbb csoportjuk igen ősi, a földi élet kialakulása óta jelenlévő növény. A mai növényvilágban a kezdetleges növénykéek közé tartoznak. Lehetnek egysejtűek, vagy képezhetnek néhány sejtből álló kolóniákat, telepeket, de lehetnek közöttük hosszú fonalakat, kötegeket kialakító, helyhez rögzülő fajok is.

A hazai könnyen felmelegedő, tápanyagban gazdag sekély halastavakban azok a fajok vannak túlsúlyban, amelyek jól tolerálják a gyorsan felmelegedő sekélyvízi, áramlásokkal felkevert környezetet, és magas a tápanyag igényük. Az eutróf halastavakban tehát a tág ökológiai tűrőképességű algafajok a gyakoriak. Ezek között nagy számban vannak olyan csoportok, amelyek bőséges tápanyag ellátás mellett rövid idő alatt bekövetkező, túlzott elszaporodásra, vízvirágzásra hajlamosak.

Szaporodásukhoz nemcsak a kedvező tápanyag viszonyok (hidrokarbonát, nitrogén és foszfor vegyületek) megléte, hanem más környezeti feltételek is szükségesek. A tavaszi-nyáreleji, több napig tartó csendes, szélmentes, napfényes időszakok kedveznek szaporodásuknak. Ilyenkor a Nap sugárzó energiája felmelegíti a felső, a téli lebontási folyamatok következtében növényi tápanyagokban gazdag vízrétegeket.

Az algák fogyasztói, a primer növényevők, mindenek előtt az egysejtűek, kerekférgek, a különböző rendszertani csoportokba tartozó kistrákok, a halak közül pedig a szűrő életmódot folytató busák.

A halastavakban gyakori eset, hogy az energetikai szinteken belül versengés kezdődik a szűkös készletekért (tápanyagért), és a győztes csoport nem a fent vázolt egyenes irányba tereli az energiát. Ilyen eset fordul elő, ha a nitrogén vagy a foszfor nem elegendő a növényi (egysejtű alga) termelés zavartalan menetéhez.



Ennek oka lehet a lebontás lassúsága, az eleve szűkös tápanyagkészlet stb. Ilyenkor azok a versengő csoportok jutnak előnyhöz, amelyek képesek megkerülni a korlátozó tényező hiányát.

Az algák változatos világában vannak olyan csoportok, amelyek nem is igazi algák, mert vannak ugyan asszimilációra képes színanyagaik, de baktériumszerű tulajdonságokkal is rendelkeznek. Ezek a kékalgák (cianobaktériumok), ma a baktériumszerű tulajdonságaik miatt a rendszertanban a cianobaktériumok között tartjuk őket nyilván (Ördög 2000). Mit tudnak ezek az algaszerű növénykéek, amit a valódi algák nem? Mindenekelőtt képesek a vízben oldott gázalakú nitrogén felvételére (ezt a folyamatot nitrogén fixációnak nevezzük). A folyamat kémiaja nem egyszerű, sok tekintetben a pillangós növények gyökerein élő talajlakó nitrogénkötő baktériumok tevékenységéhez hasonlítható.

Ezzel a képességgel a nitrogénhiányos (N-limitált) környezetben is tudnak a kékalgák szaporodni, előnyhöz jutva a valódi növények közé sorolt zöldalgákkal szemben.

Ezek az ősi baktériumszerű növénykéek ezen kívül fel tudnak venni olyan szerves molekulákat (pl. vitaminokat) is, amelyeket az üledék baktériumflórája termel. A kékalgák szaporodására ezek az anyagok (vitaminok) is serkentőleg hatnak. A szerves anyagban gazdag üledéken a zöldalgák és kovamoszatok is képesek bizonyos szerves anyag felvételre, azonban a N-kötésre képtelenek.

Energetikai zsákutca akkor alakul ki a halastóban, ha az adott energetikai szintnek hiányzik a hatékony fogyasztói szintje. A kékalgák esetében a kistrákok nem minősíthetők hatékony fogyasztóknak. A halak közül kizárólag a fehér és a fehér jellegű hibrid busa képes hatékonyan ritkítani a nemkívánatos és halastavakban leggyakoribb *Microcystis*, *Anabena* és *Aphanizomenon* kékalga népszerűségeket. A busa szűrő szerve ugyanis nem tömődik el a kocsonyás algaburoktól, és a szájába bekerülő telepes, pelyhes algaömegeket is képes elfogyasztani, különösen a másod-harmadnyaras korú busaállomány. Ezért a busa nem hagyható ki az intenzíven trágyázott, népes halállományokkal rendelkező, vízvirágzásra hajlamos halastavakból, bármennyire szeretné sok tógazda kiiktatni ezt az alacsony áron értékesíthető, könnyen sérülő és pusztuló faunaidegen halfajt termelési szerkezeteiből.

Természetesen vízvirágzást nemcsak kékalgák okozhatnak. Minden olyan algafaj képezhet hatalmas népszerűséget, amelynek az adott környezetben sok tápanyag áll a rendelkezésére, ugyanakkor nincs kellő létszámú fogyasztója, avagy azok fejlődése még a bőséges algaállományokon is lassú.

A folyamatos szerves terhelésnek kitett tavakban az ostorosmoszatok (*Euglenofiták*) is okozhatnak váratlan, jellegzetesen sárgászöld színű vízvirágzást, mivel viszonylagosan nagy méretük miatt alig van fogyasztójuk.

### 3. A vízi-mocsári növényzet (makrofita vegetáció), mint energetikai zsákutca

A haltenyésztés céljára épített mesterséges, lecsapolható és feltölthető halastavak legtöbbje a vízmélységét tekintve a sekély, vagy igen sekély állóvízi tótípusba sorolható. Átlagos mélységük 1-1,5 m. Ezt a szintet a vízmélység csak kivételesen haladja meg, főként a völgyzárógátas, nagy lejtésszögű dombvidéki tavak esetén találkozhatunk 2 m-nél nagyobb vízmélységekkel.

Az alámerülő hínárvegetáció megtelepedésének mélységi határai a víz átlátszóságától függően a 6 m-es vízmélységig terjedhet, míg a kiemelkedő vízi növényzet behatolása maximum 2 m-ig lehetséges (Padisák 2005).

Mivel a halastavak vize a nagy halmérség bioturbálása miatt legtöbbször jól árnyékolt, zavaros, ezért a növényzet térhódításának a fényhiány szab határt, különösen a submerz hínárvegetációk esetén.

A fentiek szerint tehát megállapítható, hogy gyakorlatilag halastavaink nagy többsége a hidrobiológiai kategorizálás szerint, mint állóvízi élettáj, a litorális, más nevezéktan szerint a fitális (Dévay 2005) élettájba tartozik. Ennek megfelelően a halastavak teljes területén eluralkodhatnának akár az emerz vízinövények változatos állományai, akár pedig az alámerülő hínárfélék számos tömegalkotó faja.

A növényzet korlátlan terjedése legjobban az üzemen kívüli halastavakon figyelhető meg. Ezek, még vízborítás mellett is néhány év alatt nádassá, majd fűz- és égerrel borított cserjéssé változnak. Ebből az állapotból a folyamat visszafordítása már igen nehéz és költséges feladat.

A természetes feltöltődési és átalakulási folyamatok ellen a tógazdának folyamatosan küzdenie kell. Mivel a hagyományos ponty dominanciájú termelési szerkezetekben a természetes pontytáplálék legfontosabb eleme a zooplankton, ez az életforma pedig a nyíltvízi élettáj élőlény társulása, ezért a tógazdának minden áron fenn kell tartania a nyíltvízi régió dominanciáját. Erre azért van szüksége, hogy elegendő elsődleges fogyasztó (zooplankton) álljon pontyai (másodlagos fogyasztói) rendelkezésére.

Az elhanyagolt halastavakban kifejlődő hatalmas makrofita vegetáció tehát fel fogható egy olyan energetikai zsákutcának, amelyben a megtermelt növényi szerves anyag nem áramlik felsőbb fogyasztói szintekbe, hanem a vegetációs időszakban folyamatosan gyarapodik, vagy jobb esetben is kihasználatlanul stagnál, biomasszájában egyre halmozódik a biológiai energia. Ez a helyzet csak a vegetációs periódus végén változik meg, amikor elkezdődik a növényzet pusztulása, felkészülése a téli időszakra, az áttelelésre.

Ekkor kezdődik el a lassú feltárolási folyamat, amelynek több szakasza van. Első lépés az élő növényzet pusztulása, ami miatt a tóban hatalmas mennyiségű holt szerves anyag keletkezik, amely mechanikai hatásokra (szél, hullámozás) lassan aprózódni, töredezni kezd, közben pedig ülepedik és tömörödik. A lassú degradáció és a feldarabolódás eredményeként megnövekszik az elhalt növényi szerves anyag egy részének a felszíne, ami lehetővé teszi a törmelékevőknek és a baktériumoknak-gombáknak a növényzetben kötött energia egy részének feltárását. Ez az energia lassan visszazivárog az ősszel fokozatosan lassuló anyag és energia áramba. Az elpusztult növényi biomassza nagyobbik része azonban továbbra is feltáratlan marad.

Az elpusztult és leülepedett szerves növényi tömeg tehát lassan bomlani kezd a tó iszapjában, növelve annak szerves anyag tartalmát. Ez a szerves anyag időszakosan az üledékben raktározódik, és mindenképpen kikerül abból az anyagforgalomból, amelynek a halak felé kellene tartani. E helyett átkerül a korábban már tárgyalt szerves üledék képezte zsákutcába, akár több évre is.

Az üledék mélyebb, oxigénhiányos rétegeiben halmozódó szerves anyag hosszabb időlépték alatt a tó szélterületeinek feltöltődése miatt az üledékes talajok kialakulása, vagy a tőzegképződés irányába indul, és ezzel tartósan kilép az aktív

anyagforgalmi ciklusból, ezért jogosan mondhatjuk, hogy a bemutatott úton haladó biológiailag megtermelt növényi makrofita biomassa energiatartalma a halastavi termelésnek egy igen lényeges zsákutcáját képezheti.

#### *4. A zooplankton állományok időszakosan kialakuló bioenergetikai torlódásai*

Az előzőekben már hangsúlyoztuk, hogy a tógazda legfontosabb feladata agro-technikai beavatkozások segítségével állandóan termelő zooplankton állomány kialakítása, majd a vegetációs periódus alatt ennek minél hosszabb idejű fenntartása. Ezek után miért beszélünk mégis energetikai zsákutacról ennél a fontos halastavi élőlénycsoportnál?

Ennek a helyénvaló kérdésnek a megvilágításához kissé el kell kanyarodnunk a közvetlen technológiai folyamat megbeszélésétől, és át kell tekintenünk azokat a zooplanktonban lejátszódó eseményeket, amelyek hatással vannak az energia áramlására, és ezen keresztül a halgazdálkodás eredményességére.

A tavaszi tófeltöltések során a körtöltéses tavak esetén a víz legtöbbször közvetve folyókból származik, tehát alapvetően zooplankton szegény. A későbbi plankton szaporodás elősegítése céljából a tavat feltöltés előtt vagy feltöltés közben tápanyaggal dúsítjuk (trágyázzuk).

A beavatkozásunk hatására kialakuló kedvező tápanyagviszonyok miatt, valamint azért is, mert a folyóvíz hirtelen állóvízzé alakult, megindul az árasztó vízzel bekerült és a helyszínen az előző szazonról visszamaradt tartós peték kikeléséből származó zooplankton tagjainak szaporodása.

A zooplankton gyűjtőfogalom, ide soroljuk mindazokat az állati élőlényeket rendszertani hovatartozásuktól függetlenül, amelyek jellemzően a nyílt vízben, aljzat nélküli lebegő életmódot folytatnak, és ámbár megvan a képességük az önálló helyváltoztatásra, ez a helyváltoztatási képesség elenyésző mozgást tesz lehetővé a vízben ható egyéb fizikai mozgások (szél, áramlások) hatásaihoz képest. Legfontosabb állományalkotó csoportjai az egysejtűek, a kerekesszékűek, a kismacskák, rovarlárvák, puhatestűek és halparaziták fiatal fejlődési alakjai, és a vízterben élő hallárva stb.

Ezek a változatos méretű és életmódú csoportok a különböző környezeti hatásokra eltérően reagálnak, következésképpen a tó feltöltése utáni benépesülésében különböző stratégiák szerint vesznek részt. Ezek között az alkalmazkodási, túlélési stratégiák között fontos szerepet játszanak a szaporodási elemek. Ha a zooplankton ebből a szempontból vizsgáljuk, egyértelművé válik, hogy a szaporodás terén előnyben vannak azok a csoportok, amelyek gyorsan képeznek új utódgenerációt. Erre legalkalmasabb szaporodási mód a direkt osztódás (egysejtűek), majd a szűznemzés (parthenogenezis), amikor a parthenogenetikus nőtény egyed szaporodó partner nélkül képez klónoknak felfogható utódgenerációkat. Legkevésbé gyors az ivaros szaporodás, amelynél először meg kell keresni a szaporodó partnert, esetleg ki kell érdemelni a szaporodás jogát, majd az ivaros szaporodás korai fejlődési fázisain kell túljutni az utódnak - termékenyülés, embriogenezis, esetleg lárva, juvenilis kor stb.

Az ivaros szaporodó fajoknál előnyt jelent ugyanakkor a génkicserélődés, a nagyfokú variabilitás, amelynek eredménye a hatékonyabb alkalmazkodóképesség, ezért a befektetett energia a faj túlélése szempontjából hosszú távon megtérül.

Az egyszerűbb felépítésű gerinctelen szervezeteknél az utódok száma elsősorban a szülő tápanyag ellátásától függ. Ha ez kedvező (a tápanyagban gazdag tóban ez az eset áll fenn) az ivartalanul szaporodó csoportok nagy létszámú utódot hoznak létre. Ilyen pathenogenezissel szaporodó csoportok a zooplanktonban a kerekesszék és a kiskákok közül az ágascsapú rákok. Ezért ezek a csoportok fognak először nagy létszámú állományokat létrehozni. A partenogenetikus szaporodás során a szaporodás sebességénél az egyed mérete is számít: a kisebb testű csoportoknak kisebb petéket kell létrehozni, ezek hamarabb elkészülnek, a kikelő kisméretű utódok hamarabb válnak képessé az önálló életre, majd a szaporodásra, ezért a partenogenetikus csoportok között először a kisméretű kerekesszék létszáma nő gyorsabban, ezek állománya fog növekedni. Ez a növekedés azonban rövid életű az azonos táplálékot hasznosító csoportok között kialakuló táplálék konkurencia miatt. A szintén partenogenetikus szaporodó nagyobb méretű, intenzívebben szűrő ágascsapú rákok rövid időn belül elvonják a kerekesszék elől a táplálékot és kezdik növelni létszámukat, kiszorítva a kerekesszék. Tehát időben előrehaladva a kerekesszék után az ágascsapú rákok elszaporodása következik.

A harmadik hullám a hosszú távú hatékony, ivaros szaporodású copepodák okozzák, amely csoport tagjai lárva stádiumokon keresztül, lassabban, de feltartóztatlanul szaporodnak és végül is uralkodóvá válnak, szezonról függetlenül dominálnak a régóta vízzel borított állóvizekben. Ebben a domináns szerepben a copepodákat segíti sok fajuk ragadozó életmódja.

Az előbbieken vázlatosan bemutatott plankton állományváltozást használjuk ki az ivadéknevelésben, mesterségesen kialakítva a kerekesszék szaporodásához a táplálékkonkurencia mentes kedvező környezetet. Jelenlegi áttekintésünk azonban nem az ivadékneveléssel, hanem a zooplanktonon belüli lehetséges bioenergetikai zsákutcákkal foglalkozik, tehát nézzük meg, hogy milyen ideiglenes zsákutca lehetséges ebben a nagyon egyszerű és törvényszerűen bekövetkező zooplankton állományváltásban, szukcesszióban?

A halastavakban ritkán kialakulhat olyan táplálékbő környezet, amelyben néhány nagy tápanyagigényű Cladocera faj (*Daphnia pulex*, *Daphnia magna*) elszaporodásának kedvez. Ennek általunk ismert feltételei közé tartozik a gyenge fogyasztói nyomás és a bőséges tápanyagellátás. A halak kora tavasszal még nem kerültek ki a már felkészített, tápanyag gazdag tóba, tehát nem gyérítik a plankton szervezetek között nagyméretűnek számító daphniákat, azoknak van idejük néhány partenogenetikus generációt létrehozni nagyobb létszámvesztés nélkül. Másik feltétel, hogy helyben meglegyenek a korábbi időszakból származó kikelésre kész tartóspeték, amelyekből az első generációk kikelhetnek. A megfelelően magas táplálékszint tartós megléte is alapfeltétel. Ez lehet baktérium, alga, szerves detritusz, illetve leggyakoribb esetként ezeknek a táplálékforrásoknak az együttes megléte.

A kedvező környezetben a daphniák tehát gyorsan elszaporodnak, biomasszájuk a tóban tonnákban mérhető. Ez a hatalmas élő tömeg néhány nap alatt üresre szűri a tavat (a víz letisztul), majd megjelennek a táplálékhiányt jelző fekete tartóspeték a daphniák hátoldalán és a populáció a leszálló ágba kerül. Ebben az állapotban már a daphniákban rögzült tápanyagszint alacsony, dominál a halak számára emészthetetlen kitin váz, energetikailag ezek az állományok már értéktelenek.

A daphniák gradációja időszakos energetikai zsákutcának számít, mert kihasználatlan biológiai energia torlódik benne. Azért tarthatjuk ezt az energiát időszakos zsákutcának, mert a tógazda beavatkozása nélkül is kiszabadul az energia ebből a helyzetből, vagy a halak növekvő fogyasztása szünteti meg azt, vagy maguk a daphniák idézik elő saját pusztulásukat.

Egy másik energiatorlódás a zooplanktonban akkor alakulhat ki, ha kockázatosra terveztük a népesítési szerkezetet, és abból kihagyjuk a fehér busát. Ez a hatékony szűrő halfaj ugyanis nemcsak a telepes kékalgákat és kisebb telepes algakolóniákat szűri ki, hanem a más halfaj számára túlságosan kisméretű zooplankton csoportokat is, többek között a túlszaporodott kerekeshérgereket. A kerekeshérgerek is kialakíthatnak energetikai zsákutcát azokban az esetekben, amikor a tóban túlságosan sok lebegő szerves törmelék képződik.

Ez a helyzet akkor fordul elő, ha egyszerre van jelen idősebb pontykorosztály, amely már nem képes kifalni a 100  $\mu\text{m}$  alatti kerekeshérgereket, ugyanakkor az üledő szerves törmeléket újból és újból visszakeveri a tó nyíltvizébe. Ez a rezuszpéndálás önmagában nem idézi elő a kerekeshérgerek mértéktelen elszaporodását, ehhez az is szükséges, hogy a szerves törmelék termelődése, pótlódása is folyamatos legyen.

Ennek a halastavakban két esete fordulhat elő. Egyik esetben a tavon nevelt kacsák okozhatják, folyamatosan nagy mennyiségű szerves törmeléket juttatva a vízbe a trágyájuk révén. Ez a hal-kacsa integráció nagyon népszerű volt a korábbi évtizedekben, azonban súlyos hátrányai hamar kiderültek, éppen a szerves anyag lebontásnál tárgyalt okok miatt (a nagymennyiségű detritusz gyorsabban keletkezett, mint ahogyan lebomlott). Ma már kockázatai miatt a halastavi kacsanevelést elvétve és csak kis méretekben alkalmazzák, ugyanis az évek alatt felhalmozódó lebontatlan, foszforban igen gazdag szerves üledék nagyon súlyos, kén-hidrogén mérgezés alapú halpusztulást okozhat, melynek kockázatát a mai haltenyésztők már nem szívesen vállalják.

Hazánk halastavaiban a kerekeshérges túlszaporodásának másik okozója lehet a túlnépesített amurállomány. Az amur takarmányozása szárazföldi fűfélékkel állandó szerves törmelék forrást jelent (amurtrágya), miután a folyamatosan képződő nagymennyiségű diszperz szerves anyag ideális rotatória táplálékként szerepel. Ha a rotatóriákat is kiszűrő fehér busa hiányzik, a tóban nem lesz hatékony fogyasztója a kerekeshérgeknek, amelyek nagy létszámban veszélyes oxigén konkurenciái lehetnek a halállományoknak.

##### *5. A faunaidegen invazív halfajok okozta bioenergetikai zsákutak*

A tógazda által kívánatosnak tartott energiaáramlásban (táplálékláncban) akkor is lehet elkanyarodás, ha minden feltétel adott az alsóbb szinteken arra, hogy a mikroalgák által termelt energia átkerüljön a kistrákok szintjére, onnan pedig a kisállat evő (zooplankton fogyasztó) halakba. Nem mindegy azonban, hogy melyik halfaj szerzi meg a költségesen magas szinten tartott fontos energiaforrást, a zooplankton fehérjében és értékes zsírsavakban gazdag biomasszáját.

A tógazda nyilvánvaló célja, hogy az energia a gyors növekedésű kistrákok fogyasztó haszonhalak (ponty, busa, compó) biomasszájában kössön ki és azok gyors tömeggyarapodását okozza.

Sajnos hazai halfaunánkban több olyan faunaidegen, invazív halfaj is bekerült az évek során, amelyek hatékony táplálék konkurencsei a haszonhalainknak. Ezek között a legveszélyesebbek az ezüst kárász (*Carassius auratus gibelio* Bloch), a kínai razbóra (*Pseudorasbora parva*) és a törpeharcsa (*Amiurus nebulosus*).

Ezek a fajok más-más szaporodási és túlélési stratégiát alkalmaznak halastavainkban, de közös vonásuk, hogy mindegyik igen hatékonyan képes biológiai zavart és gazdasági károkat okozni a ponty irányába megnyilvánuló táplálék konkurencián, és sok más kártételen keresztül.

A faunaidegen gyomhalak tehát más-más módon, de mindnyájan igen kártékonyak a halgazdaságokban, gazdasági veszteségeket okozva a tógazdáknak.

A bennük rögzült energia biológiai hasznosításának módja a megfelelő ragadozó halfaj telepítése. A ragadozók által elfogyasztott és értékes ragadozó halhússá transzformált energia mellett a megtorlódott biomassza nagy része visszakerül az anyagforgalomba és a haszonhalak biomasszájának növelése irányába terelődik.

Összefoglalva az elmondottakat, a mesterséges halastavi ökoszisztémákban a primer producensek által megtermelt anyag és energia, illetve a kívülről származó agrotechnikai beavatkozások (trágyázás, takarmányozás) során bejuttatott szerves energiák a trofitási szinteken történő vándorlás során a haltenyésztők számára nem kívánatos irányokba terelődhetnek, eltérülhetnek a kívánatos útvonaltól. Ilyen esetekben időszakos energiatorlódás, vagy zsákutca keletkezhet. A haltenyésztő feladata ezen a zsákutcák kialakulásának a megelőzése, illetve kialakulás esetén az energia visszatérése a kívánatos irányba.

## Irodalomjegyzék

- Bíró P., 1993:** A halak biológiája. KLTE Debrecen, 1-258.
- Bíró P., Oertel N., 2004:** A hidrobiológia főbb irányvonalai és feladatai., In: Fekete G. (szerk.): Ökológia. Magyar Tudomány, 110 (49):37-48.
- Dévai Gy., 1976:** Javaslat szárazföldi vizek csoportosítására Acta Biol. Debrecina 13,147-161.
- Dévai Gy., Dévai L., Wittner I., Bondár E., 1977:** Gondolatok a biológiai termelésről. Acta Biologica Debrecina, 1977 14., 9-20.
- Dévai Gy., (Szerk.) 1992:** vízminőség és ökológiai vízminősítés. Acta Biol. Debr. 4.13-48.
- Dévai Gy., 1999:** A halastavi halhústermelés ökológiai alapjai 9-33. in
- Elton Ch., 1947:** Animal Ecology. Sidgwich et Jackson Ltd., 1-209.
- Felföldy L., 1981:** A vizek környezettana. Általános hidrobiológia. Mezőgazdasági Kiadó, 1-300.
- Felföldy L., 1996:** A víz, mint környezet in Szalay F: Halgazdálkodás. MOHOSZ, 41-134.
- Hancz Cs., 2007:** Haltenyésztés. Kaposvári Egyetem Jegyzet 1-173.
- Horváth L., (szerk) 2000.:** Halbiológia és haltenyésztés. Mezőgazda Kiadó Bp., 1-440.
- Lakatos Gy., Mölsa H., Szilágyi F., 2000:** Hidrobiológia mérnököknek BME Bp., 1-78.
- Nagy S., Antal L., Tóth A., 2009:** A természetvédelmi értékesség, az ökológiai állapot és a hasznosítási mód paradoxonja vizes élőhelyek példáján HAKI Napok Előadás kivonat
- Ördög V., 2000:** Halastavak hidrobiológiája 344-383. In:Halbiológia és haltenyésztés. (szerk. Horváth L. Mezőgazda Kiadó Bp.1-440.)
- Padisák J., 2005:** Általános limnológia. ELTE Eötvös Kiadó 1-310.
- Ruttkay A., 1978:** A halastavak anyag és energiaforgalmának vizsgálata. HAKI Kiadvány, 1-80.
- Sebestyén O., 1963:** Bevezetés a limnológiába. A belvizek életéről. Akadémiai Kiadó Bp., 1-233.
- Vörös L., V.-Balogh K., Herodek S., 1996:** Microbial food web in a large shallow lake (Lake Balaton, Hungary). Hydrobiologia 339, 57-65.
- Wojnárovich E., 2007:** Vízi környezetünk védelme. Agroinform Kiadó Bp., 1-139.