

Ecology of Lake Balaton/ A Balaton ökológiája

MTA BLKI Elektronikus folyóirata

2011. 1(1): 35-48.



A BALATON TROFITÁS VÁLTOZÁSÁNAK PALEOLIMNOLÓGIAI REKONSTRUKCIÓJA A CLADOCERA MARADVÁNYOK ALAPJÁN

Korponai János*^{1,2}, Varga Katalin², Lengré Timea², Kövér Csilla², Papp István³

¹Nyugat-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Kis-Balaton
Üzemmérnökség, 8360 Keszthely, Csik F. sétány 4.

²Nyugat-Magyarországi Egyetem, Kémia és Környezettani Tanszék, Szombathely,
Károly Gáspár tér 4.

³Debreceni Egyetem, Ásvány és Földtani Tanszék, 4010 Debrecen, Egyetem tér 1.

*korponai.janos@nyuduvizig.hu

Kulcsszavak: Cladocera maradványok, trofikus állapotok, Bosmina, hal, Balaton

Kivonat: A Balaton üledéke fontos bizonyítékokkal szolgál a tóban lezajlott eseményekkel kapcsolatban. A pigment maradványok alapján a Keszthelyi-medencében öt eutrofizációs periódus volt kimutatható. A rekonstruált legfiatalabb eutrofizációs események becsült időpontja egyezik az irodalomban korábban publikált eutrofizációs eseményekkel. A maradványokból kimutatott Cladocera közösség fajgazdagsága és egyedszáma a trofitással növekedett, az oligotrofizációval csökkent. A Balaton üledékére a *Chydoridae*-k, ezen belül az *Alona* fajok maradványai voltak jellemzőek. A domináns faj az *Alona quadrangularis* volt, egyedszáma meghaladta az összegyedszám 40%-át, de magas abundanciával jelen volt még az *Alona affinis* is (~20%). A Balaton eutrofizációjának fokozódásával először a makrofita vegetáció kiterjedése jelentkezett, amelyet a vegetációhoz kötődő Cladocera maradványok arányának növekedése (*Eurycercus lamellatus*, *Sida crystallina*, *Pleuroxus* sp.) jelez. Az 1980-as évektől kimutatható a planktonikus eutrofizáció erősödése, amit a *Bosmina* fajok térhódítása igazol. Különösen szoros kapcsolat volt felfedezhető a planktonfogyasztó halállomány és a planktonikus *Bosmina* sp. mennyiségét illetően. A Balaton legjelentősebb planktonfogyasztó hala a garda volt, mennyiségük csökkenésével a *Bosmina* fajok egyedszáma folyamatos emelkedésnek indult.

Bevezetés

A tavak üledéke fontos bizonyítékokkal szolgál a múlt során a tóban lezajlott eseményekkel kapcsolatban. A mély tavak üledéke számos kutatás alapját képezi (COHEN, 2003). Azonban a sekély tavak vizsgálatánál figyelembe kell venni az üledék keveredését, mivel a mély tavakkal ellentétben itt erőteljesen érvényesül a szél, valamint a bioturbáció hatása (KEARNS *et al.*, 1996). A sekély tavak sokkal érzékenyebben reagálnak a környezeti változásokra, és az emberi hatásokra is (PADISÁK & REYNOLDS, 2003; WHITMORE *et al.*, 1996; KENNEY *et al.*, 2002; MOSS *et al.*, 2003; VÄLIRANTA *et al.*, 2005). Sekély tónál már kis vízszintingadozás is jelentősen megváltoztathatja a tó relatív mélységét, ami befolyásolja a bentikus fauna összetételét (CSERNY & NAGY-BODOR, 2000).

A tavi üledékben fellelhető biotikus maradványok, így a mikroszkopikus rákok maradványainak analízise rendkívül hasznosnak bizonyult annak értékelésében és megállapításában, hogy milyen volt a tó válasza a különböző környezeti hatásokra, úgymint eutrofizáció, savasodás, klímaváltozás (NYKÄNEN *et al.*, 2009). A Cladocera maradványok különböző korú rétegekben való előfordulása indikálja a populáció nagyságának változását az egyes időszakokban, ez egyben tükrözi az adott kor klímaviszonyait is (KORPONAI *et al.*, 2010). A *Chydoridae*-k rövid életpályája révén a rövidebb időszakokra kiterjedő változások is vizsgálhatók, rekonstruálhatók (SEBESTYÉN, 1971).

A Balaton Közép-Európa legnagyobb sekély vizű tava. Megközelítőleg 15 000-17 000 évvel ezelőtt alakult ki. Kezdetben több, sekély, hideg tavacska alkotta, de körülbelül 6000 éve az éghajlat melegebbé és csapadékosabbá válása során létrejött az egységes vízfelület (CSERNY, 2002). Kialakulásakor mezotróf, mezo-eutróf minőségű víz jellemezte; a tó vízszintje az időjárás függvényében (hőmérséklet, csapadék) változott (CSERNY, 2009; KORPONAI *et al.*, 2010; VIRÁG, 1998).

A sekély tavak, így a Balaton is nagyon érzékenyek a klímaváltozásra valamint az emberi behatásokra (PADISÁK, 1999). A Balaton környéke a neolitikumtól lakott, az emberi beavatkozás hatása már a korai időktől kezdve felismerhető a tóban (KORPONAI *et al.*, 2010). A Balaton legfontosabb vízfolyása a Zala folyó, amely a Balatont érő tápanyagterhelés túlnyomó részét hozza, és közvetlenül a Keszthelyi-medencét terheli, ezért a tóban eutrofizációs gradiens figyelhető meg. A balatoni medencék trofitása a Keszthelyi-medencétől fokozatosan csökken a Siófoki-medence felé. A trofitási állapotok feltárására a legalkalmasabb hely a minden korban legmagasabb trofitásúnak tekinthető medence üledékének vizsgálata.

A tanulmányunk célja a tó trofitási állapotainak meghatározása, rekonstruálása a Keszthelyi-medence állapotváltozásain keresztül.

Anyag és módszer

Mintavétel helye

A Balaton (északi szélesség 46° 50', keleti hosszúság 17° 44') Közép-Európa legnagyobb sekély vizű tava. Felszíne közel 659 km², hossza 78 km, tengerszint feletti magassága 104 méter, átlagos vízmélysége 3,25 méter. Mivel a Balatonnak nincs természetes vízelvezetője, ezért a tó több ezer éves története során nagy vízszintingadozásokat élt meg (VIRÁG, 1998).

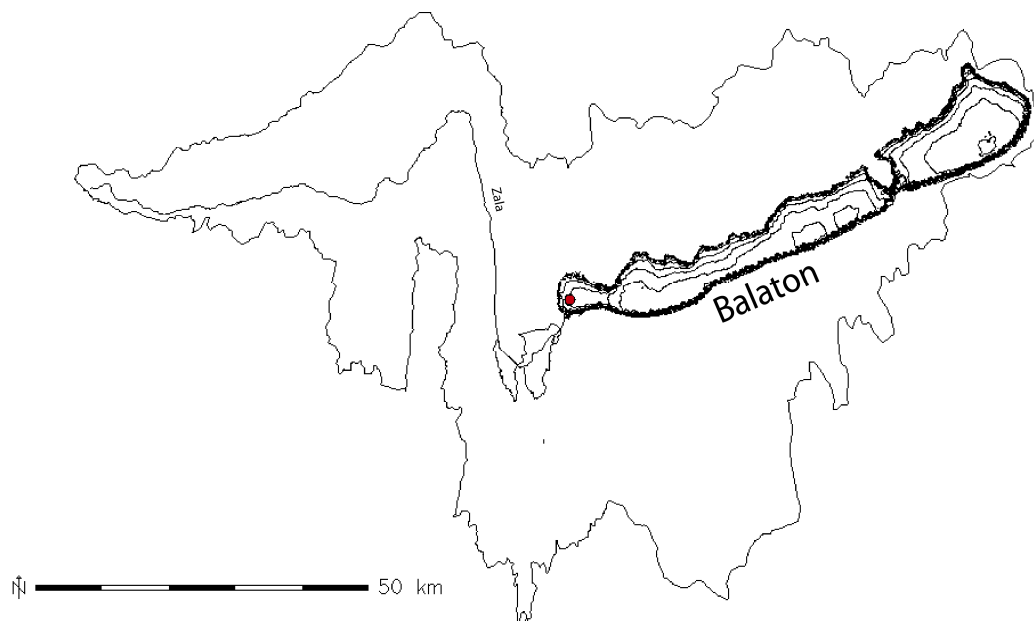
A tó korábbi mérete jóval nagyobb volt a mainál, jelenlegi medrén túlterjeszkedett (KORPONAI *et al.*, 2010). A Sió völgye természetes lefolyóként működött, de a hullámzás által létrejött turzások ezt később elzárták.

Mai teljes vízgyűjtő-területe 5776 km². A nyugati vízgyűjtő területéről lefolyó vizeket a Zala gyűjti össze, amely a tó vízutánpótlásának közel felét szállítja. A Zala a Keszthelyi-medencébe torkollik, ahol a szállított üledéket lerakja (KORPONAI *et. al.*, 2010). Körülbelül 11000-7500 évvel ezelőtt indult meg a tavi üledék folyamatos lerakódása, ez legkorábban a Balaton nyugati részén, valamint a keleti-medence északi részén történt (CSERNY, 2002). A tó negyedidőszaki üledékeinek átlagos vastagsága 5 m, a maximális vastagság a Zala torkolatában mérhető, 8 m (CSERNY, 2002). A Balaton vizét az 1863-ban megépített Sió-csatorna vezeti le a Dunába.

A tavi üledékek sűrűsége a mélyebb rétegek felé haladva fokozatosan nő. Porozitásuk az iszap felszínén 50% feletti, lefelé haladva az üledékben fokozatosan csökken. A rétegek ásványtani és geokémiai vizsgálata alapján a holocén tavi üledékek elsődleges porozitású mészszipok, melyek elsősorban magnézium tartalmú kalcitból állnak (CSERNY, 2002).

Terepi és laboratóriumi mérések

A Keszthelyi-medence üledékét az öböl közepéről (E 46,72635°; K 17,26796°) származó furatból vizsgáltuk (**1. ábra**). A feldolgozott furat hossza 270 cm volt, amelyből 2 cm-ként 1-1 cm³ almintát vettünk a paleopigment maradványok (SPDU - Sedimentary Pigment Degradation Unit), és a Cladocera maradványok feldolgozásához. A Cladocera minták előkészítése során a felső egy méteres szakaszból származó mintákat 10%-os KOH-, és 10%-os sósav-oldattal, valamint tömény HF-dal kezeltük FREY (1986) módszere alapján.



1. ábra. A Balaton térképe. (A alapszintköz 0,5m min: 99,5 mBf; max: 104,5 mBf. A pont jelzi az üledékminta helyét a Keszthelyi-medencében.)

A maradványok meghatározásához a mintánkat ismert térfogatra öntve, abból almintákat véve becsültük a maradványok számát. A denzitás meghatározásához a Cladocera jól megőrződő kitines maradványait vettük figyelembe (fejpajzs, héj, utópotroh, végkarom és efippium; az egyes fragmentált maradványokat csak abban az esetben számoltuk meg, ha azok rendelkeztek egyértelmű határozó bélyegekkel). A legtö-

megesebb maradványból becsültük az adott faj egyedszámát és vonatkoztattuk a bemért térfogatra (denzitás: ind³ cm⁻³). A közösség összetételének megállapításához legalább 300 egyedet határoztunk meg (KORHOLA & RAUTIO, 2001). A határozáshoz a FREY (1950, 1962, 1988, 1991), GOULDEN & FREY (1963), GULYÁS & FORRÓ (1999), SEBESTYÉN (1965, 1969, 1970, 1971), SZEROCZYŃSKA & SARMAJA-KORJONEN (2007) valamint WHITESIDE *et al.* (1978) munkáit használtuk fel.

A 2 cm-ként vett mintákból acetonnal kioldottuk a klorofill tartalmat, majd ülepités után a folyadék fázisban spektrofotométerrel 666 nm és 750 nm hullámhossz tartományban mértük az abszorbanciát. A szilárd fázis tömegét az acetonepárologtatása és tömegállandóságig tartó szárítás után mértük. A paleopigment tartalmat VALLENTYNE (1955) képlete alapján számoltuk.

Az üledékoszlop korolása

A Balaton üledékéből CSERNY (2002) közölt radiokarbon adatokat, amelyeket a legalsó tőzeges rétegből határoztak meg, konvencionális módszerrel. A radiokarbon vizsgálat a pár ezer éves távlatok tekintetében bizonytalanabb eredményt ad, mivel a ¹⁴C izotóp felezési ideje kb. 5700 év (COHEN, 2003). A Balaton nagyon sekély vizű és lúgos kémhatású tó. A tóban lévő mikroorganizmusok vázanyagaikhoz szükséges szénforrásként allochton ill. autochton eredetű szenet egyaránt használnak. Az allochton eredetű karbonát a vízgyűjtő üledékes közeteiből bemosódással kerülhet be a tóba, az autochton eredetű a tó saját fekélyéből származik. Nehéz ezeket elkülöníteni egymástól, mert a tó vize és üledéke kalcium-, és magnézium-karbonátokban igen gazdag. Ezért a Balaton üledékének radiokarbon korolása problematikus, mivel a vízgyűjtőről származó karbonát a radiokarbon kort öregíti ('hard-water effect' - COHEN, 2003).

A balatoni üledékben azonban egy időhorizont kijelölhető, mégpedig a vándorkagyló (*Dreissena polymorpha*) megjelenése 1930-ban (SEBESTYÉN, 1934). A vándorkagyló a Keszthelyi-medence üledékében a felső 40 cm-ben volt kimutatható, ez alatt már nem találtak nyomait. Ennek függvényében a Keszthelyi-medencéből származó üledék kora megközelítőleg 0,54 cm üledékképződés/év aránnyal becsülhető meg. Az 1932-t megelőző időszakra a CSERNY (2002) által közölt 0,1 cm/év ülepedéssel számoltunk. A becsült kor helyességét az igazolja, hogy az üledékoszlop felső 50 cm-es rétege a barnás színű, huminanyagokban gazdag réteg kezdetére becsült kor egybeesik a Zala szabályozásának időszakával, az 1832-66-os évekkel (VIRÁG, 1998). Az elmocsarasodott kisbalatoni területekről a Zala jelenleg is huminanyagokban gazdag vizet szállít a Balatonba.

Statisztikai értékelés

Az eredmények értékeléséhez, a Cladocera maradványok denzitás adatait használtuk fel. Az adatokból kiszámoltuk a fajok gyakorisági adatait, majd a kapott értékeket arcussinus transzformáltuk. Az adatokból kiszámoltuk a fajok N2 Hill-számát (HILL, 1973), és csak azokat vettük figyelembe, amelyeknél az N2>10. A transzformált adatokon főkomponens (PCA) elemzést (prcomp) végeztünk, a kapott mesterséges változókkal constrained cluster analízist végeztünk az üledékszelvény mentén. A clusterok számát a törött pálca modellel határoztuk meg. Az analízisben az objektumok között mért euklideszi távolságon a csoportokon belüli eltérés-négyzetösszeg minimalizálásával (CONISS) képeztük a clusterokat (GRIMM, 1987).

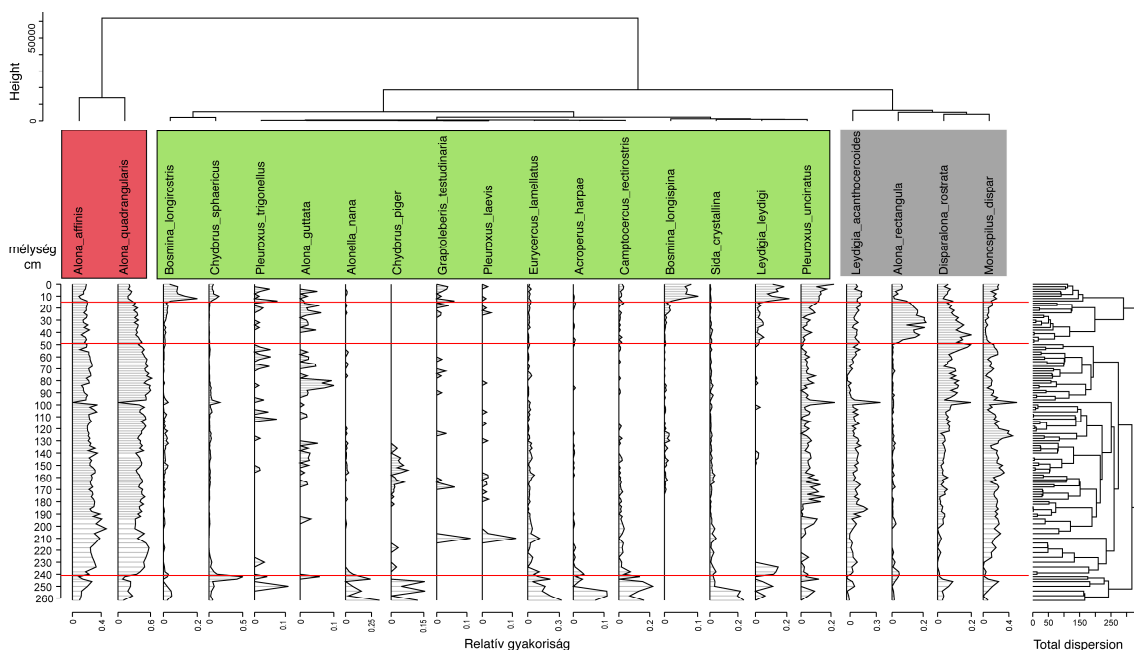
Az SPDU értékek alapján előzetesen meghatároztuk az eutrófikus és a mezotrófikus állapotokat. Diszkriminancia elemzéssel vizsgáltuk, hogy a Cladocera közösség alapján

az előzetesen tett trofitásbeli állapotmeghatározás valós-e? A diszkriminancia elemzést a Cladocera fajok N2 Hill száma alapján szűkített adatmátrix logaritmikus ($\log(x+1)$) transzformációján végeztük. Az elemzésekhez a psimpoll programot (BENNETT, 2005), valamint az R statisztikai környezetet (vegan, rioja csomagok) használtuk (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010; OKSANEN *et al.*, 2010; JUGGINS, 2009).

Eredmények és értékelésük

Cladocera

A Keszthelyi-medencéből származó üledékmagból 29 Cladocera faj volt kimutatható, s a Cladocera közösség az üledék felső egy méteres szakaszán volt a legdiverzebb. PONYI (1997, 2002) saját és irodalmi adatok lapján 26-66 Cladocera fajt mutatott ki a Balatonban. A legnagyobb fajszámot a 70-es években mutatták ki (PONYI, 2002). Az üledékből rekonstruált faunakép nem különbözik a jelenlegitől. Az üledékoszlopban többnyire a *Chydoridae* fajok kerültek elő, melyek nagyon gyakoriak az eutróf, sekély tavak makrofitával sűrűn benőtt litorális élőhelyein (KORHOLA & RAUTIO, 2001). A recens adatokkal való összehasonlításakor figyelembe kell venni, hogy a kevésbé kitinizált pelágikus fajok alulreprezentáltak (KORHOLA & RAUTIO, 2001; KATTEL *et al.*, 2007). Az egyes mélységekben talált fajok száma 8 és 19 között változott (**3. ábra**). Az üledékben átlagosan 14 faj volt megtalálható. Kiugróan magas fajszámok voltak tapasztalhatóak az üledék 48-70 cm-ig és 100-120 cm-ig tartó szakaszában. A legkevesebb faj 76 és 92 cm között, valamint a 208-228 cm-ig tartó szakaszban volt megtalálható, amit viszont egy lokális maximum követett 248 cm-nél.



2. ábra. A gyakori Cladocera fajok %-os eloszlása alapján készített stratigráfiai diagram.

A **2. ábrán** látszik, hogy a fajok három csoportra válnak szét. A leggyakoribb, az üledékmag teljes hosszában domináns fajok csoportjára (pirossal jelölt) (*A. affinis*, *A. quadrangularis*), a gyakori fajok csoportjára, melyek az üledékoszlopban végig megtalálhatóak.

lálhatók azonban arányuk kisebb (szürkével jelölt) (*Leydigia acanthocercoides*, *Alona rectangula*, *Disparalona rostrata*, *Monospilus dispar*), és végül a ritkább, az üledékoszlop helyenként előforduló (zölddel jelölt) fajok csoportjára osztható. A PCA elemzés nem sűrítette a fajok varianciáját megfelelően, az első három tengely csak 40%-ot magyaráz. Azonban információval lát el, hogy a PCA változóiban mely fajok szerepelnek (>0,30 PCA érték). A PCA1 változóval a növényzethez kötött fajok pozitívan, míg az *Alona quadrangularis* negatívan korrelál. A PCA2 tengellyel főként azok korrelálnak pozitívan, amelyek nyíltvízi fajok (*Bosmina* fajok.) vagy iszaplakók (*Leydigia* fajok), és a trofitás növekedését jelzik (CHEN et al., 2010). A PCA3 tengellyel a növényzetkedvelő és iszaplakó fajok korrelálnak pozitívan (**1. táblázat**).

1. táblázat. A leggyakoribb Cladocera fajok kapcsolata a PCA tengelyekkel.

| Fajok | Tengelyek | | |
|-----------------------------------|-----------|------|------|
| | PCA1 | PCA2 | PCA3 |
| <i>Acroperus harpae</i> | + | | |
| <i>Alona affinis</i> | | | + |
| <i>Alona guttata</i> | | | |
| <i>Alona quadrangularis</i> | - | | |
| <i>Alona rectangula</i> | | | - |
| <i>Alonella nana</i> | + | | |
| <i>Bosmina longirostris</i> | | + | |
| <i>Bosmina longispina</i> | | + | |
| <i>Camptocercus rectirostris</i> | + | | |
| <i>Chydorus piger</i> | + | | |
| <i>Chydorus sphaericus</i> | | | |
| <i>Disparalona rostrata</i> | | | - |
| <i>Eurycercus lamellatus</i> | + | | |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i> | | | |
| <i>Leydigia acanthocercoides</i> | | | |
| <i>Leydigia leydigi</i> | | + | |
| <i>Monospilus dispar</i> | | | + |
| <i>Pleuroxus laevis</i> | | | |
| <i>Pleuroxus trigonellus</i> | | | |
| <i>Pleuroxus uncinatus</i> | | + | |
| <i>Sida crystallina</i> | + | | |

Mindössze két faj nevezhető dominánsnak (legalább egy mintában elérte a 10%-ot az egyedszáma). Az üledékmag egészét tekintve a domináns faj az *Alona quadrangularis* volt, egyedszáma meghaladta a közösség 40%-át. Magas abundanciával volt még jelen az *Alona affinis* (~20%). A korábban (KORPONAI et al., in press) üledékcsapdával rekonstruált recens faunában az *Alona quadrangularis* sorrendben csak a harmadik domináns faj volt, az *Alona affinis* számított a legdominánsabb fajnak (**2. ábra**

A Cladocera maradványok alapján négy zóna különböztethető meg:

Clad-1 zóna (262-240 cm)

Ebben a zónában legnagyobb abundanciával a *Chydorus sphaericus*, *Pleuroxus trigonellus*, *Alonella nana*, *Chydorus piger*, *Acroperus harpae*, *Eurycercus lamellatus*, *Camptocercus rectirostris* és a *Sida crystallina* volt jelen.

Clad-2 zóna (240-50 cm)

Ebben a zónában a legtöbb ritka faj egyedszáma nagyon alacsony volt a mélyebb zónához képest. és e a szakaszban volt a legnagyobb mennyiségben megtalálható az *Alona guttata*, a *Graptoleberis testudinaria* és a *Pleuroxus laevis*. Látványos egyedszámbeli változás tapasztalható a furat 98 és 100 cm közötti szakaszában. A mintából hiányoztak az addig domináns *Alona*-k, egyetlen egyedük sem volt kimutatható. Velük ellentétben jelentősen megnőtt négy bentikus faj (*Pleuroxus uncinatus*, *Leydigia acanthocercoides*, *Disparalona rostrata*, *Monospilus dispar*) abundanciája, százalékos előfordulásuk ebben a mintában volt a legnagyobb.

Clad-3 zóna (50-16 cm)

Ebben a szakaszban volt a legnagyobb a mintán belüli százalékos aránya a *Disparalona rostrata*-nak és az *Alona rectangula*-nak. Az *Alona affinis* és az *Alona quadrangularis* abundanciája csökkenni kezdett.

Clad-4 zóna (16-0 cm)

A legfelső zónában az *Alona*-k egyedszáma jelentősen lecsökkent. A *Bosmina longirostris*, *Bosmina longispina*, *Leydigia leydigi* és a *Pleuroxus uncinatus* ekkor szerepelt legnagyobb arányban a mintákban.

Eutrofizációs periódusok

A trofitás növekedését jelzi a paleopigment (SPDU) tartalom (ADAMS & PRENKI, 1986). Az üledékben található pigment tartalom alapján a Keszthelyi-medencében négy eutrofizációs periódus mutatható ki (**3. ábra**).

Az összesített Cladocera egyedszámot összevetve az SPDU eredményekkel megfigyelhető, hogy a Sió-zsilip megnyitása (1863) előtt a Cladocerák és a klorofill maradványok mennyisége több ponton is párhuzamosságot mutat. A felső 16 cm-es üledékrétegben talált Cladocerák száma jóval kiegyenlítettebb eloszlású, mint korábban (**3. ábra**).

Az üledék paleopigment tartalma alapján Keszthelyi-medence állapota a mezotróf és az eutróf állapotok között változott. Az eutróf állapotok között a tó mezotrófnak volt tekinthető.

Az alábbi eutróf időszakok különíthetők el (**3. ábra**):

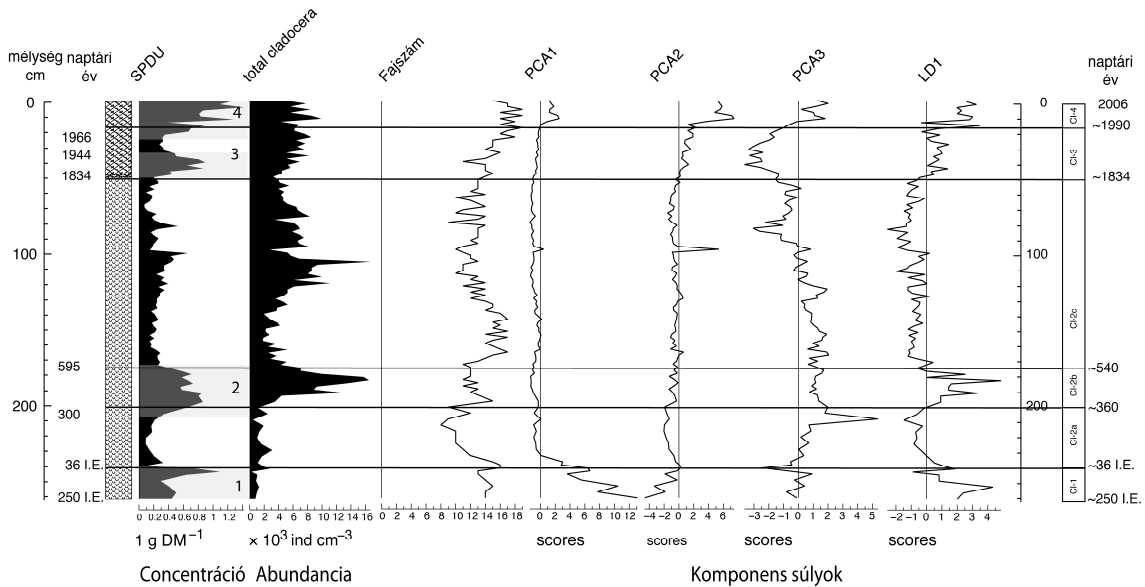
1. Az i. e. 30 és i. e. 250 közötti időszakban a Keszthelyi-medence trofitása magas, eutróf állapotú volt.

2. A 300-tól 600-ig tartó időszakban a Keszthelyi-medence szintén eutróf állapotú volt.

3. Az 1834 és 1944 közötti időszakban a medence trofitása, eutróf állapotúnak volt tekinthető.

4. Az 1960-es évek elejétől a jelenkorig tartó időszakban a Keszthelyi-medence trofitása, különlegesen magasnak, hipertróf állapotúnak tekinthető, ami egybe vág a jelenkori megfigyelésekkel (ISTVÁNOVICS *et al.*, 2007).

A 3. és 4. eutrofizációs periódus megegyezik PADISÁK (1999) tanulmányában foglaltakkal, miszerint 1880-ban a Keszthelyi-medence hínarasodása volt megfigyelhető (hínáros békaszőlő és süllőhínár), ami néhány év alatt visszaszorult, azonban 1934-ben ismét romlani kezdett a tó állapota. Ezt követően 1960-ban szaporodott el ismét a hínártömeg, ami már nem korlátozódott a Keszthelyi-medencére, néhány év alatt az egész Balatonra kiterjedt. Néhol 120-200 cm-es vízmélységig kitöltötték a vízteret. A fajszámokat az SPDU adatokkal (**3. ábra**) összevetve az tapasztalható, hogy az előzőleg kiemelt nagy fajszámok egybeesnek a magas SPDU értékekkel. Kivétel ez alól a 2. eutrofizációs periódus, amihez nem kapcsolódik diverz Cladocera közösség. (**3. ábra**).

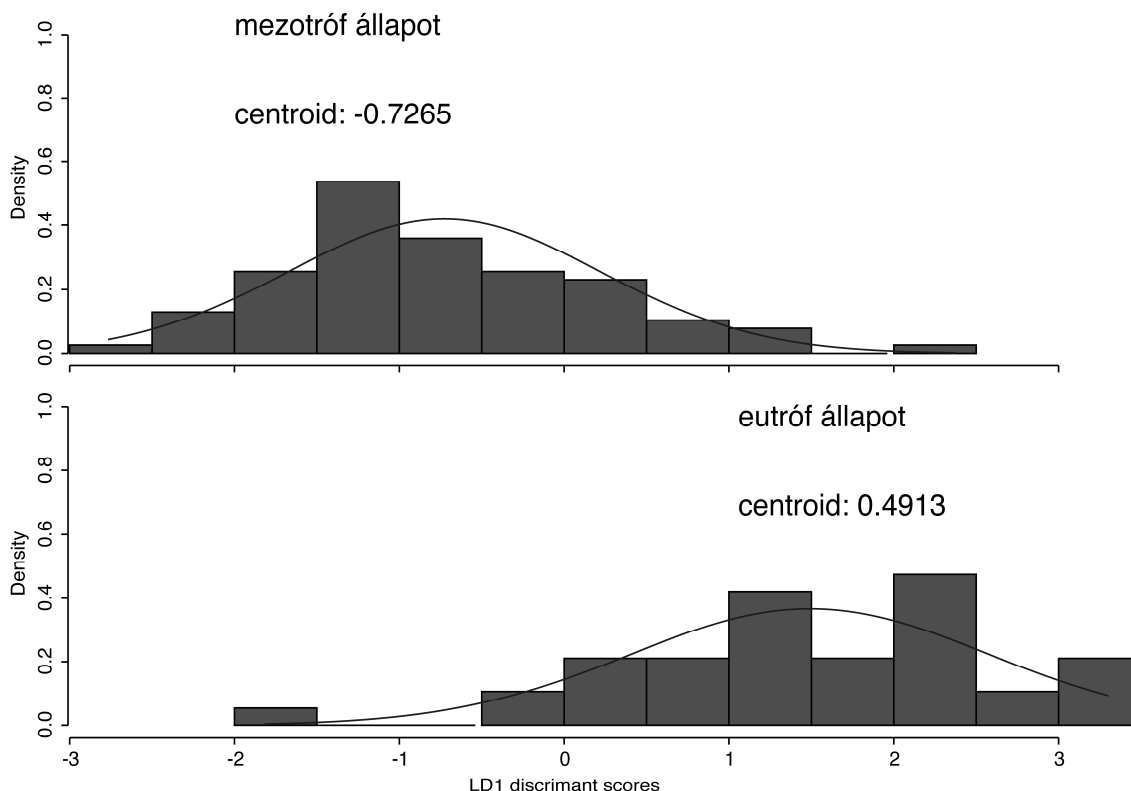


3. ábra. A SPDU, becsült össz Cladocera denzitás, a fajszám, a főkomponens (PCA1-3) és a diszkriminancia (LD1) értékek változása a mélységgel. (A világosszürke sávozás és az arab számok jelzik az eutróf állapotokat.).

A korábban bemutatott 2. és 3. eutrofizációs periódus között viszonylag stabil mezotróf állapotú volt a tó. A Cladocera-k ezekre az időszakokra nézett összesített egyedszáma is bizonyítja a trofitás változását. Kisebb trofitási szinteken a Cladocera-k egyedszáma megnőtt, az oligotróf irányba történő eltolódáskor pedig lecsökkent. A tó trofitásától függően az egyedszámokban bekövetkező változás a két leggyakoribb faj, az *Alona quadrangularis* és az *Alona affinis* esetében is megfigyelhető. A Keszthelyi-medencében tapasztalt planktonikus eutrofizáció erősödésével egyedszámuk csökkent. Az *Alona*-k a növényzetben gazdag habitátokat kedvelő fajok. Az eutrofizáció erősödésével, a planktonikus növényi szervezetek előtérbe kerülnek, és a fényért való versengés során a hínárt visszaszorítják, így az *Alona*-k számára fontos növényzetben gazdag habitátok kiterjedése csökken, ennek következményeként az egyedszám csökken.

Az első eutrofizációs periódusban az *Alona*-k denzitása jelentősen lecsökkent. Ebben a szakaszban a *Camptocercus rectirostris*, a *Chydorus sphaericus* és az *Alonella nana* domináltak. A *Chydorus sphaericus* esetében megfigyelhető volt, hogy amikor egyedszáma jelentősen megnövekedett, akkor az *Alona* fajok mennyisége csökkent. A sekély tavakból származó furatminták tükrözik a tó habitátjainak mozaikosságát. Megtalálhatók azok a fajok az üledék oszlopban, amelyek a litorális övben élnek és erősen növényzethez kötöttek (*Camptocercus rectirostris*, *Alonella* sp., *Sida crystallina*, *Acroperus harpae*, *Eurycercus lamellatus*) (KORHOLA & RAUTIO, 2001; KATTEL et al., 2007).

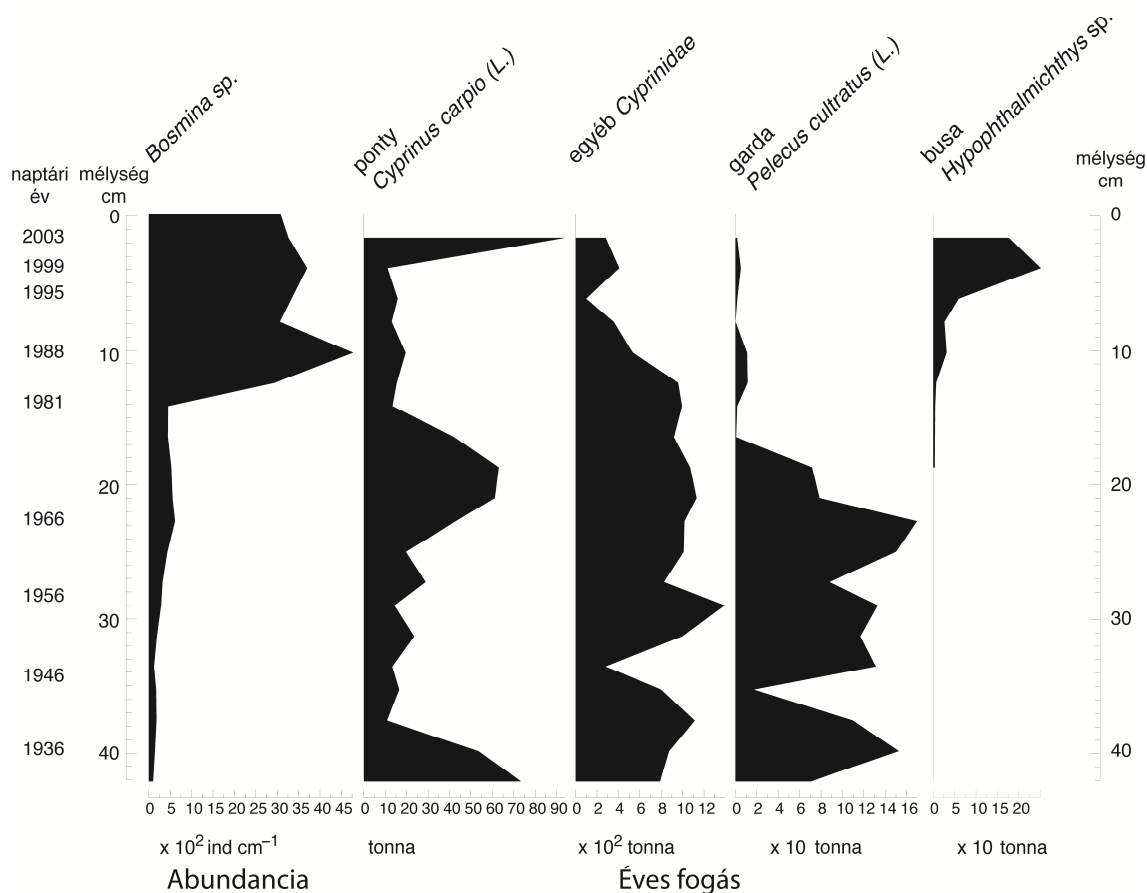
A diszkriminancia elemzés alátámasztotta feltételezésünket (WILK'S lambda: 0,47563, $p < 0,05$). A Balaton üledékében az SPDU értékek alapján tett eutróf állapotok jól elkülönülnek a Cladocera fauna alapján is (4. ábra). Az üledékmintákhoz rendelt diszkriminancia értékek (LD1) alapján hat trofikus állapot írható le ($r = 0,6783$, $p < 0,05$). A trofikus zónák alapvetően megegyeznek a Cladocera zónákkal, de a CI-2 zónán belül további alzónák különböztethetők meg. Eutróf állapotú volt a tó, CI-1 (i.e 250 – 30), a CI-2b (~360 – 540) és a CI-3 zónákban, míg a köztes állapotban (CI-2a; CI-2c) mezotrófnak volt tekinthető. A CI-4 zóna trofitása a paleopigment (SPDU) és a Cladocera fajok alapján hipertróf állapotúnak tekinthető (3. ábra).



4. ábra. A trofitási állapotok elkülönülése a Cladocera fajok alapján.

Ha a balatoni halállomány változását összevetjük a Cladocera maradványok eredményével, akkor érdekes összefüggéseket figyelhetünk meg. Az **5. ábrán** feltüntettük a Balatoni Halászati Rt fogási eredményeiből a zooplanktonra hatással levő halfajok, csoportok (ponty (*Cyprinus carpio* L.), keszegfélék (egyéb *Cyprinidae*), garda (*Pelecus ultratus* L.) és busa (*Hypophthalmichthys* sp.) éves kifogott mennyiségét, valamint a planktonikus *Bosmina* fajok becsült mennyiségét. A három Balatonban előforduló fajt összevontuk *Bosmina* sp. csoportba, mivel funkcionálisan, a halivadékok számára nincs különbség a különböző fajokat illetően. A fogási eredményeket illetően feltételezhetjük, hogy a halászat intenzitásában és szelektivitásában a vizsgált időszak alatt lényeges különbség nem volt, így a kifogott halak mennyisége szoros kapcsolatban van a tavi halállományt illetően. Szoros kapcsolat mutatható ki a keszegfélék, és különösen a garda állománya és a domináns planktonikus Cladocera fajok (*Bosmina* sp.) mennyisége között. A bentikus táplálkozású fajoknak, mint a ponty, ill. a keszegféléknek nincs jelentős hatása a *Chydorida* faunára (**5. ábra**). A halivadékok, így a garda ivadéka is planktonikus táplálkozású. Az ikrából frissen kikelt halivadék hamar áttér a planktonikus életmódú mikroszkopikus rákokkal való táplálkozásra. A Balatonban a legfontosabbnak tartott haltáplálék Cladocera, a *Daphnia* fajok mennyisége nem jelentős. A Balatonban a *Daphnia cucullata* és *D. galeata* valamint ezek hibridje (NÉDLI *et al.*, 2005) él, de biomasszában sokkal jelentősebb Cladocera, a *Bosminák*, amelyekhaltáplálék szempontjából csekélyebb értékűek.

A jelentősebb halállományú években a *Bosmina* fajok mennyisége alacsony volt. A garda halászata a Balatonban az 1960-as évek felé jelentősen csökkenni kezdett és a '70-es évek közepére jelentéktelen szintet ért el.



5. ábra. A *Bosmina* fajok mennyiségének változása és a planktonnal táplálkozó halfajok éves kifogott mennyisége.

A halászatuk csökkenésével a *Bosmina* fajok mennyisége folyamatos emelkedésnek indult, a '80-as évek vége felé kiugróan magas értékeket vett fel. A gardához hasonlóan a keszgefélék állománya is csökkent, jól jelzi azt a fogás csökkenése.

A busát 1972-ben telepítették a Balatonba, számuk fokozatosan nőtt (**5. ábra**). A 80-as években lehetett a legnagyobb az állománya. A busa planktonfogyasztó, étrendjében egyaránt megtalálható a növényi és állati plankton (TÁTRAI *et al.*, 2005). A busa nagy állománya ellenére a *Bosminák* mennyisége is magas volt, ezért úgy tűnik, hogy a busa szűrése méretszelektív, elsősorban a nagyobb méretű zooplankton fajokat (*Copepoda*, *Daphnia* sp.) fogyasztja, így a planktonban a kisméretű Cladocera fajok, mint pl.: a *Bosmina* fajok szaporodnak el (BROOKS & DODSON, 1965).

Összefoglalás

- A tavak üledéke fontos bizonyítékokkal szolgál a múlt során a tóban lezajlott eseményekkel kapcsolatban, ezért az üledék vizsgálata képezi az alapját a paleolimnológiai kutatásoknak.
- Az SPDU adatok alapján a Keszthelyi-medencében öt eutrofizációs periódus volt kimutatható. A 4. és 5. eutrofizációs periódus egyezik az irodalomban korábban publikált eutrofizáció növekedéssel (PADISÁK, 1999).
- A Cladocera közösség fajgazdagsága a trofitással növekedett, oligotrofizációval csökkent. Az üledékből többnyire *Alona* és *Chydoridae* fajok maradványai kerültek

elő. Az üledékmag egészét tekintve a domináns faj az *Alona quadrangularis* volt, egyedszáma meghaladta az összegyedszám 40%-át. Magas abundanciával volt még jelen az *Alona affinis* (~20%).

- Különösen szoros kapcsolat fedezhető fel a garda állománya és a planktonikus Cladocera fajok (*Bosmina sp.*) mennyisége között. A garda állományának csökkenésével a *Bosmina longirostris* és a *Bosmina longispina* egyedszáma folyamatos emelkedésnek indult, a '80-es évek vége féle kiugróan magas értékeket vett fel.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők megköszönik a NYUDUKÖVIZIG Kis-Balaton Üzemmnökség Laboratóriuma dolgozóinak a mintavételben és a minták feldolgozásában nyújtott segítségét. A kutatást az OTKA-T 049098 az NKFP 3B022_04 BALÖKO, TÁMOP 4.2.2-08/1-2008-0020, TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 finanszírozta.

Irodalom

- ADAMS, M. S. & R. T. PRENTKI, 1986. Sedimentary pigments as an index of the trophic status of Lake Mead. *Hydrobiologia* **143**: 71-77
- BENNETT, K. D., 2005. Documentation for psimpoll 4.25 and psimcomb 1.3. C program for plotting pollen diagram and analysis pollen data.
- BROOKS, J. L. & S. I. DODSON, 1965. Predation, body size and composition of plankton. *Science* **150**: 28-35.
- CHEN, G., C. DALTON & D. TAYLOR, 2010. Cladocera as indicators of trophic state in Irish lakes. *Journal of Paleolimnology* **44**: 465–481
- COHEN, A. S., 2003. *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems* oxford university press ISBN 0-19-513353-6
- CSERNY T. 2002. A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei, *Földtani Közlöny* **132**/különszám, Budapest, pp. 193-213
- CSERNY, T. & E. NAGY-BODOR, 2000. Limnogeology of Lake Balaton (Hungary). In: GIERLOWSKI-KORDESCH, E. H. & K. R. KELTS (eds), *Lake Basins Through Space and Time: AAPG Studies in Geology*, Vol 46. Tulsa, OK: 605-618.
- CSERNY T., 2009. A Balaton és környezetének rövid földtani hidrológiai és limnogeológiai leírása. Magyar Tudományos Akadémia Balatoni Limnológiai Kutatóintézet Tihany pp: 13-30.
- FREY, D. G., 1950. The taxonomic and phylogenetic significance of the head pores of the Chydoridae (Cladocera). *Internationale Revue gesamten Hydrobiologie* **44**: 27 – 50.
- FREY, D. G., 1962. Cladocera from the Eemian interglacial of Denmark. *Journal of Paleontology* **36**: 1133-1154.
- FREY, D. G., 1986. Cladocera analysis. In: B. E. BERGLUND (ed.): *Handbook of palaeoecology and palaeohydrology*. Chichester, USA: John Wiley & Sons, pp. 692-667.
- FREY, D. G., 1988. Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae, and their interpretation in paleolimnology. *Journal of Paleolimnology* **1**: 179 – 191. doi:10.1007/BF00177764.
- FREY, D. G., 1991. First subfossil records of *Daphnia* headshields and shells (Anomopoda, Daphniidae) about 10 000 years old from northernmost Greenland, plus *Alona guttata* (Chydoridae). *Journal of Paleolimnology* **6**: 193-197. doi:10.1007/BF00233071.

- GRIMM, E. C., 1987. CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences* **13**: 13-35.
- GOULDEN, C. E. & D. G. FREY, 1963. The occurrence and significance of lateral head pores in the genus *Bosmina* (Cladocera). *Internationale Revue gesamten Hydrobiologie* **48**: 513-522.
- GULYÁS, P. & L. FORRÓ, 1999. Az ágascsapú rákok (Cladocera) kishatározója (A guide for the identification of Cladocera occurring in Hungary). In: *Vízi Természet- és Környezetvédelem* (In Freshwater Nature Conservation and Environmental Protection), Vol. 9. KGI, Budapest, 2nd edition. (in Hungarian).
- HILL, M. O., 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology* **54**:427-432
- ISTVÁNOVICS, V., A. CLEMENT, L. SOMLYÓDY, A. SPECZIÁR, L. G.-TÓTH & J. PADISÁK, 2007. Updating water quality targets for shallow Lake Balaton (Hungary), recovering from eutrophication. *Hydrobiologia* **581**: 305-318.
- JUGGINS, S., 2009. rioja: Analysis of Quaternary Science Data, R package version 0.5-6. (<http://cran.r-project.org/package=rioja>).
- KATTEL, G.R., R. W. BATTARBEE, A. W. MACKAY & H. J. B. BIRKS, 2007. Are cladoceran fossils in lake sediment samples a biased reflection of the communities from which they are derived? *Journal of Paleolimnology* **38**: 157-181.
- KEARNS, C., N. HAIRSTON & D. KESLER, 1996. Particle transport by benthic invertebrates: its role in egg bank dynamics. *Hydrobiologia* **332**: 63-70.
- KENNEY, W. F., M. N. WATERS, C. L. SCHELSKE & M. BRENNER, 2002. Sediment records of phosphorus-driven shifts to phytoplankton dominance in shallow Florida lakes. *Journal of Paleolimnology* **27**: 367-377.
- KORHOLA, A. & M. RAUTIO, 2001. Cladocera and other Branchiopod Crustaceans. In SMOL, J. P., H. J. B. BIRKS & W. M. LAST (eds), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, Vol. 4. Zoological Indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherland, 5-41.
- KORPONAI, J., M. BRAUN, K. BUCZKÓ, I. GYULAI, L. FORRÓ, J. NÉDLI & I. PAPP, 2010. Transition from shallow lake to a wetland: a multi-proxy case study in Zalavári Pond, Lake Balaton, Hungary, *Hydrobiologia* **641**: 225-244.
- KORPONAI, J., VARGA K., NÉDLI J., G.-TÓTH L., *in press*. A Cladocera közösség változása a Balaton Keszthelyi öblében: az üledékcsapda és a planktonminták összehasonlítása. *Hidrológiai Közlöny*.
- MOSS, B., D. STEPHEN, C. ALVAREZ, E. BECARES, W. VAN DE BUND, S. E. COLLINGS, E. VAN DONK, E. DE EYTO, T. FELDMANN, C. FERNANDEZ-ALAEZ, M. FERNANDEZ-ALAEZ, R. J. M. FRANKEN, F. GARCIA-CRIADO, E. M. GROSS, M. GYLLSTROM, L. A. HANSSON, K. IRVINE, A. JARVALT, J. P. JENSEN, E. JEPPESEN, T. KAIRESALO, R. KORNIJOW, T. KRAUSE, H. KUNNAP, A. LAAS, E. LILLE, B. LORENS, H. LUUP, M. R. MIRACLE, P. NOGES, T. NOGES, M. NYKANEN, I. OTT, W. PECZULA, E. T. H. M. PEETERS, G. PHILLIPS, S. ROMO, V. RUSSELL, J. SALUJOE, M. SCHEFFER, K. SIEWERTSEN, H. SMAL, C. TESCH, H. TIMM, L. TUVIKENE, I. TONNO, T. VIRRO, E. VICENTE & D. WILSON, 2003. The determination of ecological status in shallow lakes -a tested system (ECOFRAME) for implementation of the European Water Framework Directive. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* **13**: 507-549.
- NÉDLI, J., L. FORRÓ, J. KORPONAI & L. G.-TÓTH, 2005. *Daphnia* species (Crustacea, Cladocera) and the genetic characteristics of their populations based on allozyme

- studies in Lake Balaton, Hungary. *Opuscula zoologica Instituti Zoosystematici et Oecologici Universitatis Budapestiensis* **36**: 79-84.
- NYKÄNEN, M., K. VAKKILAINEN, M. LIUKKONEN & T. KAIRESALO, 2009. Cladoceran remains in lake sediments: a comparison between plankton counts and sediment records, *Journal of Paleolimnology* **42**: 551-570.
- OKSANEN, J., F. G. BLANCHET, R. KINDT, P. LEGENDRE, R. B. O'HARA, G. L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M. H. H. STEVENS & H. WAGNER, 2010. *vegan*: Community Ecology Package. R package version 1.17-4. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- PADISÁK, J. & C. S. REYNOLDS, 2003. Shallow lakes: the absolute, the relative, the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia* **506-509**: 1-11.
- PADISÁK, J., 1999. A Balaton természettörténete. *História* **21/5-6**: 50-53.
- PONYI, J., 1997. A Balaton Cladocera és Copepoda rákjai. *Állattani közlemények* **82**: 69-80.
- PONYI, J., 2002. A Balaton rákfaunája (Crustacea) és változásai az elmúlt 100 évben. *Állattani közlemények* **87**: 179-189.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL <http://www.R-project.org>.
- SEBESTYÉN, O., 1934. Appearance and rapid increase of *Dreissena polymorpha* Pall. and *Corophium curvispinum* G. O. Sars forma *devium* Wundsch in Lake Balaton. *Archiva Biologica Hungarica* **7**: 190-204.
- SEBESTYÉN, O., 1965. Kladocera tanulmányok a Balatonon III. Tótörténeti előtanulmányok I – Cladocera studies in Lake Balaton III. Preliminary studies for lake history investigations. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academie Scientarium* **32**: 187-228.
- SEBESTYÉN, O., 1969. Kladocera tanulmányok a Balatonon IV. Negyedkori maradványok a Balaton üledékében I – Cladocera studies in Lake Balaton IV. Quaternary remains in the sediment of Lake Balaton I. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academie Scientarium* **36**: 229-256.
- SEBESTYÉN, O., 1970. Kladocera tanulmányok a Balatonon IV. Negyedkori maradványok a Balaton üledékében II – Cladocera studies in Lake Balaton IV. Quaternary remains in the sediment of Lake Balaton II. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academie Scientarium* **37**: 247-279.
- SEBESTYÉN, O., 1971. Kladocera tanulmányok a Balatonon IV. Negyedkori maradványok a Balaton üledékében III – Cladocera studies in Lake Balaton IV. Quaternary remains in the sediment of Lake Balaton III. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academie Scientarium* **38**: 227-268.
- SZEROCZYŃSKA, K. & K. SARMAJA-KORJONEN, 2007. Atlas of subfossil Cladocera from central and northern Europe. Friends of the Lower Vistula Society, Świecie, Poland.
- TÁTRAI I., GYÖRGY Á. I., JÓZSA & SZABÓ I., 2005. A busa biológiai szerepének és hatásának vizsgálata a Balatonban. In: MAHUNKA S., BANCZEROWSKI JANUSZNE (szerk.) A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. pp. 93-101, Budapest: Magyar Tudományos Akadémia.
- VALLENTYNE, J. R., 1955. Sedimentary chlorophyll determination as a palaeobotanical method. *Canadian Journal of Botany* **33**: 304-313.
- VÄLIRANTA, M., S. KULTTI, M. NYMAN & K. SARMAJA-KORJONEN, 2005. Holocene development of aquatic vegetation in shallow Lake Njargajavri, Finnish Lapland, with evidence of water-level fluctuations and drying. *Journal of Paleolimnology* **34**: 203-215.
- VIRÁG Á., 1998. The Past and the Present of Lake Balaton. Egri Nyomda Kft.

- WHITESIDE, M. C., J. B. WILLIAMS & C. P. WHITE, 1978. Seasonal Abundance and Pattern of Chydorid, Caldocera in Mud and Vegetative Habitats. *Ecology* **59**: 1177-1188.
- WHITMORE, T. J., M. BRENNER & C. L. SCHELSKE, 1996. Highly variable sediment distribution in shallow, wind-stressed lakes: a case for sediment-mapping surveys in paleolimnological studies. *Journal of Paleolimnology* **15**: 207–221.

Érkezett: 2011. április 04
Javítva: 2011. május 31
Elfogadva: 2011. június 15