

Nyíró-Kósa Ilona

tudományos munkatárs, MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport

A Balaton ásványai

A Balaton hazánk egyik legnagyobb természeti kincse, sokoldalú tudományos kutatása a 19. században kezdődött. A Balaton üledékének vizsgálatán keresztül számos ismerethez juthatunk a tóban lezajló folyamatokkal kapcsolatban. A tó sekély, így vízszintje a szabályozás ellenére is érzékenyen reagál a szezonális változásokra s a manapság gyakori időjárási szélsőségekre. A száraz/nedves periódusok befolyásolják a tó vízminőségét, ezáltal az ökoszisztémát. A Balaton üledéke állandó kapcsolatban van az élő szervezetekkel, azonban keveset tudunk az üledék összetevőinek, fizikai, kémiai, ásványtani jellegének változásáról a szélsőséges időjárási elemekkel jellemezhető időszakok között. E tanulmányban az üledékképződés részletes ásványtani vizsgálatával foglalkozunk, különös tekintettel a karbonátásványok tulajdonságaira. Rávilágítunk, hogy a szélsőséges csapadékhelyzetek milyen hatással vannak a vízminőségre s ezen keresztül milyen hatást gyakorolnak az üledékre.

A mederüledék kutatása

Bizonyára mindenki ismeri a Balaton jellegzetes szürke színű, lágy iszapját, mely a tó sekélysege miatt hullámvázkor (és fürdőzészkor) felkavarodik és a finom iszapszemcsék a vízben lebegnek. Részben ezeknek az üledékszemszéknek tulajdonítható a Balaton jellegzetes zöldeskék színe, hiszen a finom részecskék a kisebb hullámhosszúságú sugarakat szórják. Mik is pontosan ezek az üledékszemszék? A Balaton iszapjának tanulmányozásával már id. Lóczy Lajos (1913) és Cholnoky Jenő (1897), kiváló természettudósaink is foglalkoztak, és megállapították az üledék karbonátos jellegét. Az 1900-as évek végén German Müller (1978), egy évszázaddal később pedig Cserny Tibor (1987, 2002) végzett alapos szedimentológiai, földtani és geokémiai vizsgálatokat. A tanulmányok kimutatták, hogy a Balaton üledékében jelentős mennyiségben előforduló ásványok a kalcit, a kvarc és a dolomit. Kisebbségi mennyiségben (<20 százalék) földpátok, csillámok és agyagásványok is megtalálhatók. Ezeknek az ásványoknak a 30–40 százaléka a Balatont környező területekről folyóvízi és szélerezési útján kerül a tóba, majd a tómedence áramlásai terítik szét az aljzaton. A déli part üledéke kvarcban gazdagabb, hiszen az uralkodó É-i szél keltette hullámváz következtében ezek a nagyobb szemcseméretű, törmelékeny ásványok ott halmozódnak fel. A befolyók torkolatánál is a törmelékeny ásványok dominálnak. A tavi üledék egészére jellemző, hogy túlnyomórészt karbonátásványokból áll, amelyeknek 60–70 százaléka kalcit (CaCO_3) és dolomit ($\text{Ca}_{0,5}\text{Mg}_{0,5}\text{CO}_3$), továbbá aragonit (CaCO_3) és protodolomit ($\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$, $x=0,4-0,5$). Látható, hogy a kalcium-karbonátnak (CaCO_3) az üledékben több megjelenési formája is előfordul (kalcit és aragonit). A kétféle ásvány név mögött másféle kristályszerkezet rejti. A kalcit és a Mg-tartalmú kalcium-karbonát, a dolomit egy része a környező

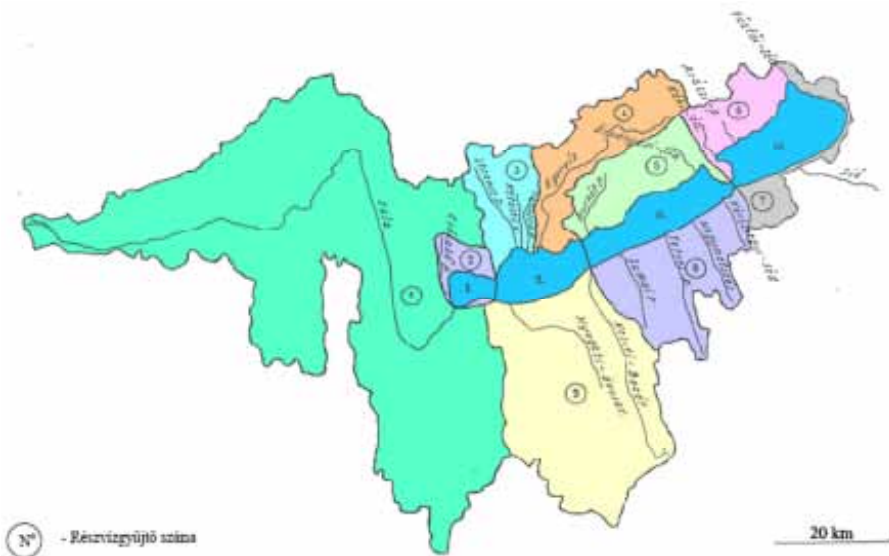
hegyek triász időszi mészkő és dolomit kőzeteinek eróziójából származik. Az aragonit a tavi karbonátvázú élőlények (Mollusca, Ostracoda) elpusztulását követően halmozódik fel az üledékben a héjak leülepedésével. A protodolomitot Müller (1970) figyelte meg elsőként a Balaton üledékében és Cserny (1987) határozta meg. A protodolomit tulajdonképpen nem egy elfogadott ásványfaj, összetétele a dolomitéhoz hasonlít, tehát Mg-ot tartalmazó kalcium-karbonát, azonban metastabil, és kristályszerkezetében a Mg és a Ca ionok csak részlegesen rendeződnek (Gaines, 1977). A Balaton üledéke a felsorolt karbonátásványokon kívül túlnyomórészt az algák fotoszintézisének következményeként keletkező biogén kalcitból áll. Az algák a fotoszintézishez szén-dioxidot igényelnek, a Balaton enyhén lúgos vizében azonban szabad szén-dioxid nincs. Ezért a szervesetlen szént hidrogén-karbonát formájában veszik fel. A sejten belül ezután a hidrogén-karbonát felét szén-dioxiddá, másik felét karbonáttá alakítják. A szén-dioxidot felhasználják fotoszintézisükhöz, a karbonátra nincs szükség anyagcseréjükben, ezért visszabocsátják a vízbe, ahol az a bőségesen jelen lévő Ca ionokkal oldhatatlan kalcium-karbonát csapadékot képez. Ezt a folyamatot nevezzük biogén mészkiválásnak. A Balatonban képződő kalcit érdekessége – más, meszes üledékű tavakhoz képest –, hogy a víz Mg-tartalma miatt a kiváló kalcit is tartalmaz jelentős mennyiségű Mg-ot (max 36 mol%), így a kalcit és a dolomit közötti köztes fázisnak tekinthető. A kalcit kristályrácsába épülő Mg előfeltétele a dolomit kialakulásának. A Balaton üledékének mélyebb rétegeiben a nagy Mg-tartalmú kalcit protodolomittá alakul. Müller szerint (Müller és mtsai, 1972) ez a folyamat akkor játszódik le, ha a pórúsvíz Mg^{2+}/Ca^{2+} aránya 7-nél nagyobb. Az nem ismert, hogy a Balatonban a protodolomit rendezett szerkezetű dolomittá alakulna. A jelenkori dolomitképződés egyébként is ritka folyamat, az irodalom speciális környezetben lejátszódó dolomitképződést említi (Vasconcelos és McKenzie, 1997).

A tóban képződő Mg-kalcit Mg-tartalma kapcsolatban van a vízben oldott Mg ionok mennyiségével, így a tó vizében végbemenő kémiai változás tükröződik a keletkező karbonátok összetételében. Száraz, meleg időszakban nagyobb a tó párolgása, alacsonyabb lesz a vízszint, emelkedik a vízben oldott ionok koncentrációja. Ráadásul meleg időszakban az algák mennyisége megnő, melynek következtében több biogén mészkő keletkezik, tehát nagyobb mértékben válik ki $CaCO_3$ (és kis mértékben Mg^{2+}) a tó vizéből. Csapadékos, hűvös időszakban a fenti folyamat ellenkezője igaz (Tullner és Cserny, 2003). Az elmúlt 20 évben az időjárási szélsőségek gyakorivá váltak (Gácsér és Molnár, 2013) s ez a Balaton természetes vízkészlet-változásán is megmutatkozik. Kérdés, hogy ennek milyen hatása van az üledékképződésre.

Az eddig bemutatott ismeretek jól tükrözik, hogy a Balaton tudományos szempontból a sokat kutatott tavak közé tartozik, az üledék ásványainak tulajdonságai mégsem teljesen ismertek. Ezért a Pannon Egyetem Föld- és Környezettudományi Tanszéken folyó kutatások célkitűzései között szerepel a balatoni üledék részletes ásványtani vizsgálata. Tanulmányozzuk a karbonátásványok kémiai összetétele, mikroszerkezete és morfológiája közötti összefüggéseket, továbbá ezen tulajdonságok évszakos és időjárási szélsőségek által generált változásait. Vizsgálatainkhoz a tó egész mederterületén (nyugati/keleti medence, északi/déli part) üledékmintákat, lebegőanyag- és vízmintákat vettünk és több módszerrel laboratóriumi elemzéseket végeztünk.

Karbonátásványok részletes vizsgálata

A tó hosszanti, nyugat-kelet irányú kiterjedése elősegíti, hogy a Balaton különböző medencéi között vízkémiai eltérés alakuljon ki. A víz alapvetően HCO_3^- -ban, Ca^{2+} -ban és Mg^{2+} -ban dús, mivel a vízgyűjtőterület karbonátos kőzetekben (mészkö, dolomit) és üledékekben (pannóni tavi képződmények, lösz) gazdag. A vízgyűjtőterület nyugati irányú asszimmetrikus kiterjedése, a vízbevétel nyugati dominanciája a Nyugati- és Keleti-medence vízkémiai paramétereiben változást okoz (1. ábra). A részvízgyűjtők közül a Zalái a legjelentősebb, a tó vízháztartásához jelentősen hozzájárul, hiszen a teljes vízbevétel több, mint fele a Zala vízgyűjtőjéről származik (Anda és Varga, 2010). A Zala éves átlagos vízhozama (az utóbbi öt év átlagából) $6,24 \text{ m}^3/\text{sec}$, míg a Keleti-medence VI. részvízgyűjtőjének ugyanezen paramétere $0,32 \text{ m}^3/\text{sec}$ (forrás: <http://www.kdtvizig.hu>).



1. ábra. A Balaton vízgyűjtőterülete a részvízgyűjtők és tórészek lehatárolásával
(forrás: <http://www.kdtvizig.hu>)

A vízkémiai paraméterek nyugat-kelet irányú változása a szélsőségesen csapadékos, áradásokkal jellemzett időszakokban a legszembetűnőbb, ilyenkor óriási K-Ny-i vezetőképesség- és kémiai gradiens mérhető. Egy ilyen áradásos helyzet utáni állapotot örökített meg a Nemzetközi Űrállomásról készített űrfelvétel, melyen vizuálisan is szembetűnő, ahogy a Zala áradásával érkező oldott szerves anyag (huminanyag) kávébarnára színezi a Nyugati-medence vizét, míg a Keleti-medence jellegzetes türkizkék, „balatoni” színe változatlan (2. ábra).

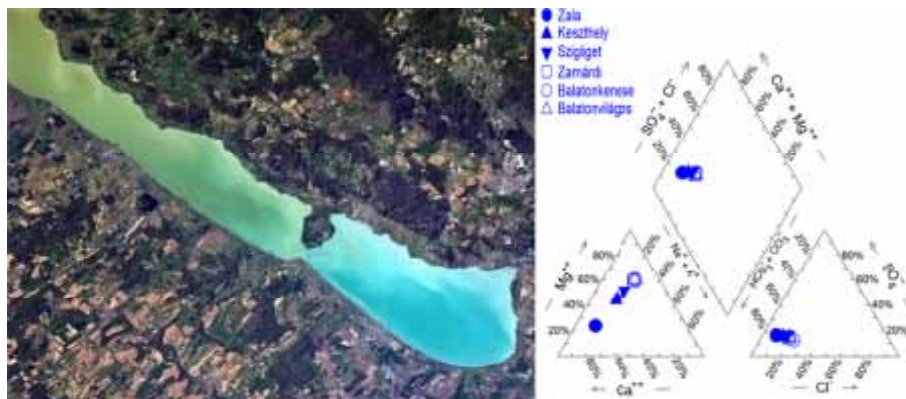
A szerves anyag változásán kívül a fő szerves víz-kémiai komponensek közül a Mg-tartalom növekedése szembetűnő; a kép készítésével szinte egyidejű méréseink szerint Ny-K-i irányban a Mg és Ca ionok mólaránya mintegy megháromszorozódik (2. ábra).

gelye mentén az üledék felső 10 cm-ében a Keleti-medence Mg-kalcit szemcséinek Mg-tartalma akár háromszorosa is lehet a Nyugati-medencében kivált ásványokéhoz képest. Ez a Mg-tartalom változás a bemutatott vízkémiai változásokkal teljes mértékben összhangban van.

Dolomit lényegesen kisebb mennyiségben található az üledékben, mint Mg-kalcit, azonban jelentősége a vizsgálataink alapján nem elhanyagolható. Az üledékben található dolomit szerkezetének részletes kristálytani vizsgálata kimutatta, hogy különbség van a Nyugati- és Keleti-medence dolomitszemcséinek kristálytani állandói között. Ismert, hogy a Nyugati-medencében az üledékminták dolomit anyaga eróziós eredetű, első sorban folyóvízi szállítással kerül a tóba. Ez a szemcseméretben is tükröződik: nagyobb dolomitszemcsék jellemzik a Nyugati-medence mintáit. Felmerült a kérdés, hogy honnan származhat az rendellenes kristálytani állandókkal rendelkező dolomit a Keleti-medencében. Említettük, hogy a jelenkori dolomitképződés ritka folyamat, ezért fontos ásvány-

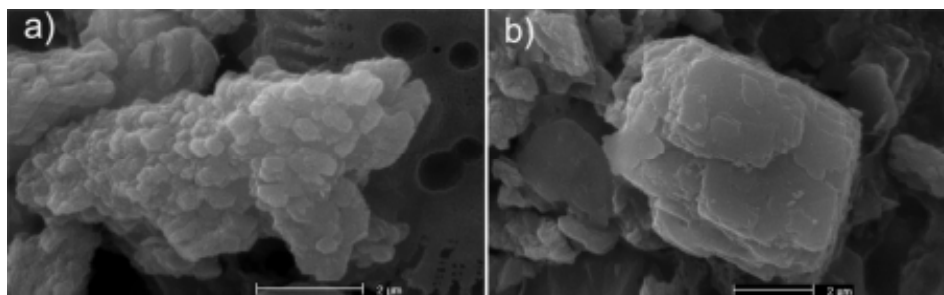
A vízkémiai paraméterek nyugat-kelet irányú változása a szélsőségesen csapadékos, áradásokkal jellemzett időszakokban a legszembetűnőbb, ilyenkor óriási K-Ny-i vezetőképesség- és kémiai gradiens mérhető. Egy ilyen áradásos helyzet utáni állapotot örökített meg a Nemzetközi Űrállomásról készített űrfelvétel, melyen vizuálisan is szembetűnő, ahogy a Zala áradásával érkező oldott szerves anyag (huminanyag) kávébarnára színezi a Nyugati-medence vizét, míg a Keleti-medence jellegzetes türkizkék, „balatoni” színe változatlan (2. ábra). A szerves anyag változásán kívül a fő szerves víz-kémiai komponensek közül a Mg-tartalom növekedése szembetűnő; a kép készítésével szinte egyidejű méréseink szerint Ny-K-i irányban a Mg és Ca ionok mólaránya mintegy megháromszorozódik (2. ábra). Ezek a különbségek az üledékben domináló karbonátok képződése szempontjából lényegesek.

A karbonátásványok közül részletesebben a Mg-kalcittal és a dolomittal foglalkozunk. E két karbonát képződését a tóban két folyamat irányítja. A Mg-kalcit a tóban válik ki és ülepedik, a dolomit – a korábbi eredmények alapján – feltehetően a folyók és a szél útján kerül a tóba. A Mg-kalcit keletkezéséről már szó volt. A Mg^{2+} ionok kalcit szerkezetbe épülésének következménye, hogy a kristályszerkezet megváltozik (a Ca^{2+} -nál kisebb méretű Mg^{2+} miatt az elemi cella méretei kisebbek lesznek). Ezt a változást elemezve állapítottuk meg az üledék felső 50 cm-ében a kalcit és Mg-kalcit $MgCO_3$ -tartalmát. A kalcit 2 mólszázaléknál kisebb Mg-tartalmú, a Mg-kalcit $MgCO_3$ -tartalma 2–17 mólszázalék között változik. A tó hosszten-



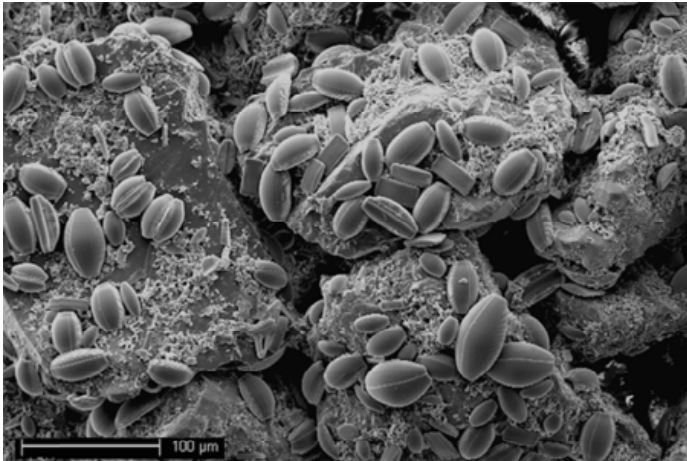
2. ábra. A Balaton színei a Zala áradásakor (forrás: NASA/Chris Hadfield) és vízkémiai változások nyugatról keletre

tani kérdés, hogy képződhet-e egyáltalán a Balatonban ez az ásvány. A Keleti-medence vize Mg-ban gazdag és nagy a Mg-kalcit Mg-tartalma, mely előfeltétele a dolomit kialakulásának, ráadásul itt a legnagyobb a dolomit szerkezeti anomáliája. Mindez a durvaszemcsés déli/nyugati mintákra nem igaz. Ezekből a megfigyelésekből azt feltételezzük, hogy a dolomit egy része a tó vizéből közvetlenül válik ki, míg a durvaszemcsés déli-parti minták dolomit anyaga eróziós eredetű. Minthogy az üledék rendkívül apró szemcsenyagú, az egyedi karbonátszemcséket mikro- és nanoléptékben elektronmikroszkópokkal tanulmányoztuk. Érdekesség, hogy mintáinkat a Keleti-medencében télen a jég alól, közvetlenül a víztestből gyűjtöttük, így az üledék felkeveredését kizárva a vízben kivált karbonátszemcséket fogtuk fel. A mintákban a morfológiai vizsgálatokra alkalmas pásztázó elektronmikroszkóppal kisebb részben 1–2 μm -es romboéderez dolomitkristályokat figyeltünk meg (3.a ábra). Kis méretüknél fogva ezek lehetnek az eltérő rácsparaméterekkel rendelkező, tóban kiváló szemcsék. A karbonátszemcséket zömében néhány mikrométeres, megnyúlt részecskék uralják. A hosszúkás kristályok 5 μm -nél kisebb Mg-kalcit szemcsék. Nagyobb felbontású képen több kisebb, ~30–100nm-es szemcse aggregátumainak tűnnek (3.b ábra), ám a szerkezetvizsgálatra alkalmas transzmissziós elektronmikroszkóppal megállapítottuk, hogy az aggregátumokat alkotó nanokristályok elrendeződése nem véletlenszerű. Az apró kristályok azonos kristálytani irányban rendeződnek, tehát a Mg-kalcit szemcsék „mezokristályok”. A mezokristály stabil állapot előfordulásához általában valamilyen szerves polimer molekula jelenléte

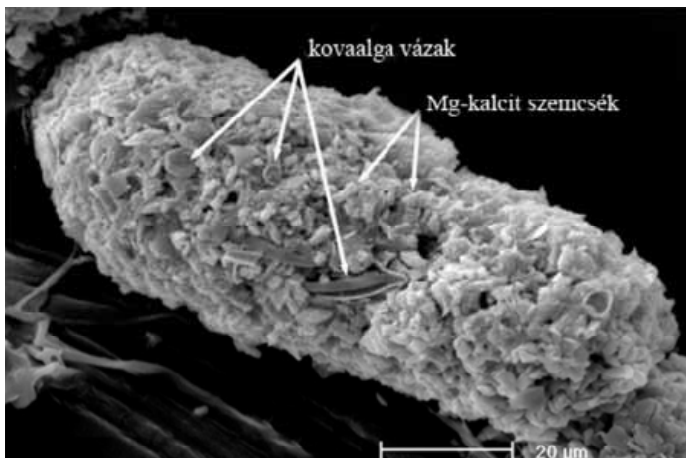


3. ábra. Balatonban kiváló Mg-kalcit- (a) és dolomitkristály (b) pásztázó elektronmikroszkópos felvétele

szükséges. Éppen ezért érdekes, hogyan alakul ki a Mg-kalcit a Balatonban. Irodalmi adatokból ismert, hogy az algasejtek felülete hozzájárulhat a kalcitkristályok képződéséhez (Dittrich, 2004) azáltal, hogy a sejt felületén lévő polimer mátrix megköti a kalcitképződéshez szükséges Ca^{2+} ionokat. Kérdés, hogy a balatoni kalcit képződésénél hasonló folyamatok játszódnak-e le. Ennek a részletesebb vizsgálata a jövő feladata. Az biztos, hogy a szerves ásványok keletkezése és további sorsa nem független a tó élővilágától – gondoljunk itt a biogén mészkiválásra. Ha közelebbről szemügyre vesszük az üledéket, további példákkal is találkozhatunk. Ilyen a kvarcsezemcsék felületét benépesítő kovaalgák (4. ábra) vagy a szerves szemcsék és szűrő szervezetek (kagylók, zooplankton) kapcsolatának példája. Az automatikusan szűrő élőlények a tóban lebegő szilárd részecskéket kénytelenek a táplálékkal együtt felvenni, majd a számukra emészthetetlen anyagot pelletek formájában bocsátják vissza a vízbe (5. ábra). A 100–200 μm -es pelletek elsősorban karbonátásványok (Mg-kalcit) és néhány kovaalga-váz mellett egyéb ásványi törmelékeket tartalmaznak (G.-Tóth és mtsai, 1987). Valószínű, hogy a balatoni iszap egy részét ezek a pelletek alkotják.

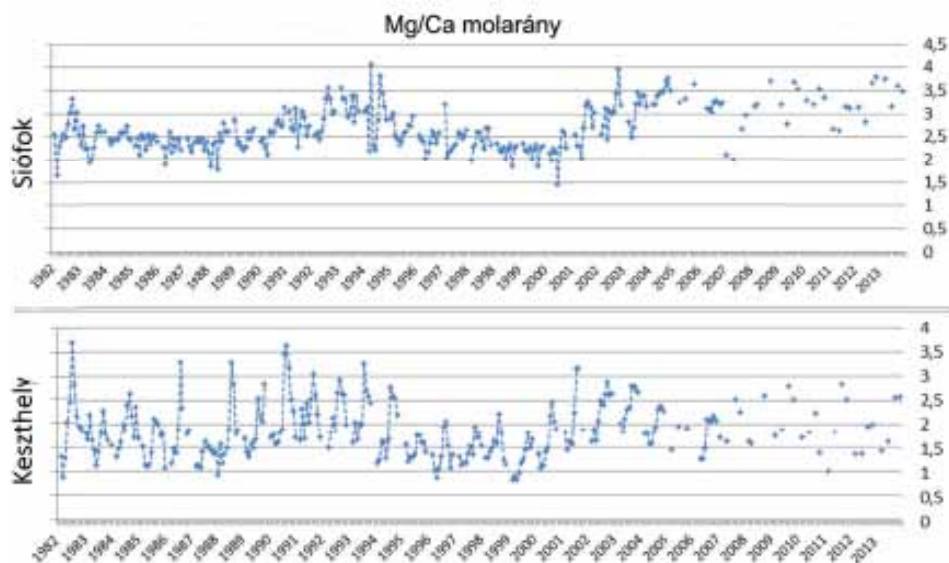


4. ábra. Kvarcsezemcséket kolonizáló kovaalgák



5. ábra. Kagyló pellet

Van-e, és ha igen, akkor mi az összefüggés az eddig ismertetett vízkémiai és karbonát-szemcse-tulajdonságok és az évszakos és időjárási szélsőségek által generált változások között? A karbonátásványok kiválásához kellőképpen túltelített oldat szükséges, melyet a vízkémia, a hőmérséklet és a pH befolyásol. A vízkémiai paraméterek közül fontos a Mg/Ca arányának alakulása, hiszen ez meghatározza, mely karbonátásvány válik ki a tóban. A Balaton harminc éves vízkémiai adatait (forrás: Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság) elemezve kimutattuk, hogy a Mg/Ca arány lényegesen nagyobb a Keleti-medencében. A szezonális változások a Nyugati-medencében kifejezettebbek a tóba torkolló Zala folyó évszakosan ingadozó vízhozama miatt. Érdekes, hogy az utóbbi tíz évben mindkét medencében átlagosan nagyobb Mg/Ca arány jellemezte a vizet (6. ábra).



6. ábra. A víz Mg/Ca molaránya az utóbbi harminc évben Keszthelyen és Siófokon

A vízkémiai paraméterek változása befolyásolja, hogy mely karbonátásványok válnak ki a vízben és mennyi azok Mg-tartalma, így közvetve az üledék ásványos jellegét is meghatározzák. Amennyiben a dolomitkiválással kapcsolatos feltételezésünk helyes, a dolomit kiválásának a szárazabb periódusok kedveznek, hiszen ilyenkor a víz töményedik, és nagyobb az oldott Mg-tartalma. Sajnos az utóbbi harminc év száraz periódusainak nyomait hiába keresnénk az üledéket részletesen tanulmányozva, hiszen a Balaton sekélysége miatt az üledék felső 3–5 cm-es rétege a szél által keltett turbulencia miatt állandóan keveredik, s így a szezonális, sőt éves különbségek összemosódnak. Nagyobb időléptékben az üledékvizsgálatok eredményeit a mélyebb rétegekben lejátszódó átalakulási folyamatok (a Mg-ban dús pórúsvíz miatt nő a kalcit Mg-tartalma) tehetik vitatottá. Ennek ellenére Müller (1978) és Cserny (2000) munkáiból a Mg-kalcit Mg-tartalmának mérésén alapuló klímaváltozások azonosíthatók. A száraz és nedves időszakok pontosabb meghatározása kagylóléhejak izotópos vizsgálatával lenne lehetséges (Schöll-Barna

és *mtsai*, 2012); a héj izotópösszetétele tükrözi a víz összetételét, az pedig az éghajlati paraméterek változékonyságától függ. Tehát annak ellenére, hogy az elmúlt tíz évben az időjárási szélsőségek hathattak a tóban kicsapódó karbonátásványokra, a fentebb említett okok miatt ez a hatás nem elegendő az üledék felső rétegeiben végbemenő ásványtani változások kimutatásához.

Összefoglalás

A Balaton karbonátásványainak részletes vizsgálatával, új módszerek alkalmazásával újabb ismereteket szereztünk a tó régóta kutatott üledékével kapcsolatban. Az utóbbi harminc év vízkémiai paramétereit vizsgálva több megállapítást tettünk a vízben kiváló kristályok és a vízkémiai jellemzők kapcsolatáról. A tó vize kalcitra és dolomitra nézve egyaránt túltelített. A beömlő vízfolyások hozamának változása hatással van a telítettség-re, ami a tóban nyugat-kelet irányú kémiai gradienst eredményez, s változik a lebegőanyag és üledék ásványainak összetétele is. A víz Mg/Ca arányának nyugat-kelet irányú növekedése nagyobb Mg-tartalmú Mg-kalcit kiválását eredményezi. A rendszeres vízkémiai monitoring eredményei alapján megállapítható, hogy az utóbbi tíz évben mindkét medencében (Keszthelyi és Siófoki) átlagosan nagyobb Mg/Ca arány jellemezte a vizet. Kérdés, hogy ez milyen komplex folyamatnak a végeredménye, bár feltehetően a klímaváltozással kapcsolatos szélsőségesen alacsony vízállások gyakoribb előfordulásával hozható összefüggésbe.

A korábbi munkákból ismert karbonátásványok jelenlétét igazoltuk az üledékben. Elsőként írtuk le a dolomit kristálytani állandóinak változását a tó keleti medencéjében. A dolomit és Mg-kalcit hasonló, nyugat-kelet irányú anomáliái arra engednek következtetni, hogy a dolomit egy része helyben keletkezik. Természetesen ez további vizsgálatot érdemel. A jövőben további kutatásokat végzünk, amelyek eredményeivel pontosíthatjuk a vízszintingadozás üledékképződésre gyakorolt hatását, és annak közvetett következményét a tó ökoszisztémájára.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program* című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- Anda, A. és Varga, B. (2007): Analysis of precipitation on Lake Balaton catchments from 1921 to 2007, *Időjárás*, **114**. 187–201.
- Cholnoky Jenő (1987): A Balaton limnológiája. In: *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei*. I. kötet, III rész. A Magyar Földrajzi Társaság Balaton-bizottsága.
- Cserny T. (1987): A Balaton aktuálgeológiai kutatásának eredményei. In: *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1985. évről*. Hungarian Geological Institute. 343–365.
- Cserny, T. és Nagy-Bodor, E. (2000): Limnogeology of Lake Balaton (Hungary). In: Gierlowski-Kordesch, E. H. és Kelts, K. R. (szerk.): *Lake Basins through space and time*. *AAPG Studies in Geology*, **46**. 605–618.
- Cserny T. (2002): A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei, *Földtani Közlöny*, **132**. 193–213.
- Dittrich, M. és Obst, M. (2004): Are picoplankton responsible for calcite precipitation in lakes? *Ambio*, **33**. 559–564.

Gácsér Vera és Molnár Ágnes (2013): *Időjárás szél-sőségek és hatásaik Magyarországon*. Kézirat. Pannon Egyetem.

Gaines, A. M. (1977): Protodolomite redefined. *Journal of Sedimentary Petrology*, **47**. 543–546.

G.-Tóth, L.; Zánkai, N. P. és Messner, O. (1987): Alga consumption of four dominant planktonic crustaceans in Lake Balaton (Hungary). *Hydrobiologia*, **145**. 323–332.

Lóczy Lajos (1913): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei*. Magyar Királyi Földrajzi Társaság.

Müller, G. (1970): High-magnesian calcite and protodolomite in Lake Balaton (Hungary) sediments. *Nature*, **226**. 749–750.

Müller, G., Irion, G. és Förnster, U. (1987): Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment, *Naturwissenschaften*, **59**. 158–164.

Schöll-Barna, G., Demény, A., Serlegi, G., Fábián, S., Sümei, P., Főrizs, I. és Bajnóczi, B. (2012): Climatic variability in the Late Copper Age: stable isotope fluctuation of prehistoric *Unio pictorum* (Unionidae) shells from Lake Balaton (Hungary). *Journal of Paleolimnology*, 1–14.

Tullner, T. és Cserny, T. (2003): Quaternary sediments in Lake Balaton, focusing on the investigation of lake level changes. *Acta Geologica Hungarica*, **46**. 2. sz. 215–238.

