

A talajfelszíni sókivirágzások elterjedése Magyarországon

Occurrences of salt efflorescences on soil surfaces in Hungary

SZENDREI Géza^{1*}, TÓTH Tibor², KOVÁCS-PÁLFFY Péter³, SAJÓ István⁴,
SZAKÁLL Sándor⁵ és KOVÁCS Árpád⁶

¹ Magyar Természettudományi Múzeum Ásvány- és Kőzettára, 1083 Budapest,
Ludovika tér 2.

² MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.

³ Magyar Állami Földtani Intézet, 1141 Budapest, Stefánia út 14.

⁴ MTA Kémiai Kutatóközpont, 1025 Budapest, Pusztaszeri út 59/67.

⁵ Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros.

⁶ Miskolci Egyetem Fém-tani Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros.

* e-mail: szendrei@miner.nhmus.hu

Abstract

For surveying and characterizing of the recent salt efflorescences on soil surfaces 176 spots were investigated since 1998. The aspects of selection were as follows: former published data, soil maps of the scale: 1:100000; 1:25000; 1:10000 and informations of persons well informed about the local conditions like from the rangers in National Parks, sheperds etc.

Salt efflorescences were determined on 39 localities (at 29 villages) out of all selected spots (Fig. 1). Nowadays the salt efflorescences are less frequent and can be found with smaller extent than in the past. Except for one spot (where the magnesium sulphate minerals were observed) sodium salts were dominant. Concerning the anion compositions sodium carbonates (nahcolite, natron, thermonatrite and trona), sulphates (thenardite, mirabilite) and chloride (halite) have been determined. Mixed salts (bloedite, burkeite) were very rare. X-ray powder diffraction scans were taken on a Phillips PW 1050 / PW 3710 diffractometer with Cu K alpha radiation.

The different mineral associations of the given salt efflorescences have been listed as well as salt mineral associations in various geographical regions have been summarized. Mainly sulphate minerals were dominant among the salt minerals in Transdanubia and East of Tisza river.

The most frequent salt minerals are in Hungary as follows: thenardite 71% (in % of all the occurrences), trona: 37%, gypsum: 32%, halite: 19%, thermonatrite: 14%. Concerning cation compositions: 79% sodium, 17% calcium, 4% other minerals, according to anion compositions: carbonates 29%, sulphate 58%, and 10% chloride, 3% carbonate–sulphate minerals (Fig. 2, 3).

The most common salt associations are: gypsum–thenardite: 10%, thenardite–trona: 10% and gypsum–thenardite–trona: 5% (in % of total occurrences).

Concerning the chemical compositions the figures are the followings: 48% sodium, 43% sodium–calcium, 9% other minerals or 23% sulphate, 41% carbonate–sulphate, 7% carbonate, 11% sulphate–chloride, 16% carbonates–sulphate–chloride, 2% carbonates–chloride minerals (Fig. 4, 5).

On two spots (Apaj, Hortobágy) repeated sampling were carried out to characterize the seasonal dynamics of salt formations.

For comparative basis salt efflorescences from abroad (Egypt, India and USA) have been collected. In these samples almost the same minerals were found as in the Hungarian ones, but generally with higher amounts. Among them one mineral occurs which was not observed in Hungary (i.e. leonite).

Salt efflorescences in Hungary are accumulations of relatively low concentrations comparing to data from abroad. There are no other data from praire ecological zone in Europe. Sodium carbonate (thermonatrite–trona or natron–thermonatrite or trona) association alone occurred only in Hungary and India.

Összefoglalás

A jelenlegi, hazai talajfelszíni sókivirágzások vizsgálatára 176 helyszínt jártunk be 1998 óta. A helyszínek kiválasztásának szempontjai a következők voltak: előzőleg publikált adatok, 1:100 000, 1:25 000, 1:10 000 méretarányú talajtérképek, a helyet jól ismerők, pl. természetvédelmi örök, pásztorok információi. A felkeresett területek közül 29 községhez tartozó 39 ponton találtunk sókivirágzásokat (1. ábra). Jelenleg tehát kevesebb helyszínen fordult elő sókivirágzás, mint a múltban és ezek kisebb kiterjedésűek is. Egy helyszínt kivéve döntően nátriumsósásványok fordultak elő, anionösszetételüket tekintve pedig mind nátrium-karbonát- (nahkoltit, nátron, termonátrit és trona), mind nátrium-szulfát- (mirabilit, thénardit), mind pedig nátrium-klorid-ásványok (halit). Kettős sók (blödit, burkeit) igen ritkák. A hazai sókivirágzások leggyakoribb sóásványai a következők voltak: thénardit 71% (az összes előfordulás %-ában), trona 37%, gipsz 32%, halit 19%, termonátrit 14%. Kationösszetételüket tekintve: 79% nátrium-, 17% kalcium- és 4% egyéb ásvány, míg anionösszetételük a következő: 29% karbonát-, 58% szulfát-, 10% klorid-, 3% karbonát-szulfát ásvány (2. és 3. ábra). A sóásványtársulások előfordulásának gyakoriságát földrajzi eloszlás szerint is értékeltük. A Dunántúlon és a Tiszától északra főként szulfátásványok fordultak elő. A leggyakoribb sóásványtársulások az alábbiak: 10% gipsz–thénardit, 10% thénardit–trona, 5% gipsz–thénardit–trona. A társulások kationösszetételük szerint: 48% nátrium-, 43% kalcium-nátrium, 9% egyéb ásvány, míg az anionösszetételük az alábbiak: 7% karbonát-, 23% szulfát-, 41% karbonát-szulfát, 2% karbonát-klorid, 11% szulfát-klorid, 16% karbonát-szulfát-klorid ásvány (4. és 5. ábra).

Két helyszínen (Apaj és Hortobágy) ismételt mintavétel történt a sókivirágzások szezonális dinamikájának kimutatására.

Összehasonlítási alapként külföldön (Egyiptom, India és USA) gyűjtött sóásványokat is megvizsgáltunk. Ezekben a mintákban főként ugyanazon ásványok fordultak elő, mint a hazai sókivirágzásokban, rendszerint nagyobb mennyiségben, de előfordult más ásvány is (pl. leonit).

A hazai sókivirágzások rendszerint kisebb mennyiségben fordulnak elő, mint külföldön. Európában a sztyepp zónából más előfordulás nem ismert. Csak nátrium-karbonát-ásványokból álló kivirágzások (termonátrit–trona vagy nátron–termonátrit vagy trona) hazánkon kívül csak Indiából (Datta *et al.*, 2002) ismertek.

1. Bevezetés

A felkeresendő területeket a következő szempontok szerint választottuk ki:

- korábban a szakirodalomban leírt sókivirágzásos helyek,
- talajtérképeken jelölt szikes talajfoltok. A 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképek szikes foltjait jártuk be, figyelembe véve az 1:25 000 és egyes esetekben az 1:10 000 méretarányú talajtérképeket is,
- az adott helyet jól ismerő szakemberek (pl. nemzeti parkok őrei, pásztorok) információi.

A környezet és a talajok leírását, valamint a mintavételt a sztenderd módszerek szerint végeztük (Szabolcs, 1966). A sómintavétel a nemzetközi szakirodalom tapasztalatainak ismeretében történt, por- és bolygatatlan mintákkal. A talaj- és a talajvízminták vizsgálatait a sztenderd módszerekkel végeztük (Búzás, 1988).

A sódinamikai vizsgálatokhoz azokat a helyeket választottuk ki mintaterületnek, ahol igen részletes kutatások folytak a szikesedés szempontjából, így Apaj és Hortobágy-Nyírlapos. Ezekben a területeken ismételt vettünk mintát a sókivirágzásokból.

A vizsgálatok kiértékelésének szempontjai az alábbiak voltak:

- a jelenlegi állapotot hasonlítottuk a korábbi hazai állapotokhoz, amelyről a hazai szakirodalom feldolgozásával kaptunk képet (lásd Szendrei & Szakáll, 2006 ebben a kötetben),
- feldolgoztuk a sókivirágzásokban talált ásványok keletkezési viszonyairól rendelkezésre álló szakirodalmat, hogy a képződési körülményekre és folyamataikra következtethessünk,
- összehasonlítottuk a sókivirágzásokban talált ásványtársulásokat a nemzetközi szakirodalomban eddig leírt ilyen társulásokkal (lásd Szendrei, 2006 ebben a kötetben),
- értékeltük a sókivirágzásokról kapott adatokat térben és időben.

2. Az alkalmazott módszerek

A kiválasztott helyek jellemzésének szempontjai: a térképi koordináták feljegyzése, a talajhasználat jellemzése, növényasszociációk leírása és a talaj felső 40 cm-ben az elektromos vezetőképesség mérése a helyszínen SCT 12 műszerrel.

A sókivirágzás porszerű hintésként vagy vékony kéregként volt jelen, ezért teljesen nem lehetett elkülöníteni a talaj többi szemcséitől. A pormintát porüvegbe vettük, a néhány cm³-es bolygatatlan szerkezetű mintát pedig szorosan zárható, ún. csatos üvegbe. A mintákat pár óráig hagytuk állni az üvegek lezárása előtt.

Vizsgálati módszerek a következők voltak:

– Az ásványtani módszerek leírását az előző dolgozatban adtuk meg (lásd Szakáll *et al.*, 2006 ebben a kötetben).

– Alapvizsgálatokra és 1:10 arányú vizes kivonatok elemzésére került sor. A talaj-kémiai elemzések Lukács és Rédly (1988) leírása alapján történtek.

Az ásványtani vizsgálatokat a következők végezték. A röntgendiffrakciós vizsgálatokat a Magyar Állami Földtani Intézetben Dr. Baráth Istvánné és Dr. Kovács-Pálffy Péter, valamint az MTA Központi Kémiai Kutatóközpontban Dr. Sajó István készítették el és értékelték ki. A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokat és EDS-elemzéseket Kovács Árpád (Miskolci Egyetem, Fémtechnológiai Tanszék) végezte és értékelte Dr. Szakáll Sándorral (Herman Ottó Múzeum, Ásványtár, Miskolc). A talajtani vizsgálatokat a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet laboratóriumában történtek.

3. Eredmények

3.1. A sókivirágzások elterjedése

Az elmúlt nyolc évben 176 pontot jártunk be. E pontok közül 29 helységhez tartozó 39 helyen határoztunk meg sókivirágzást talajfelszínen (1. ábra).

3.2. A szikesek felszíni ásványi képződményei

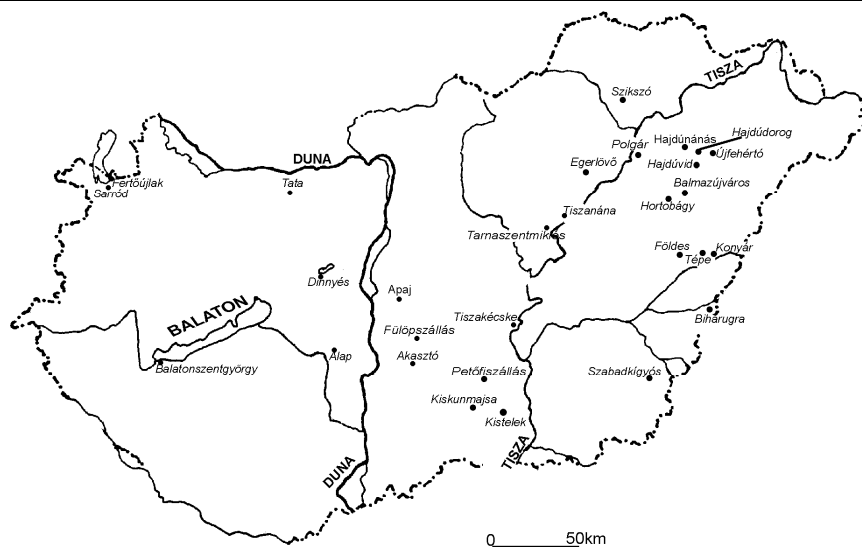
65 pontról vett mintákban röntgendiffrakciós elemzéssel az alábbi nem sóásványokat mutattuk ki: kvarc (átlag) – 57,8% (szélső értékek: 15–82%), plagioklászok – 14,1% (2–27%), kalcit – 6,8% (0–28%), illit – 5,5% (0–40%), dolomit – 3,1% (0–21%), klorit – 2,3% (0–8%), kálicföldpátok – 2,9% (0–9%), muszkovit – 1,7% (0–17%), szmektit – 1,6% (0–11%). 1% alatti átlagmennyiségben előforduló további ásványok: amfibolok, goethit, illit/szmektit, illetve illit/vermikulit közberétegzés, kaolinit, pirit. Az átlagösszetétel, illetve az egyedi minták összetétele nem utal sajátos jelenségre.

3.3. A szikeseken talált sóásványok jellemzése

3.3.1. Hazai sókivirágzásokban előforduló sóásványok

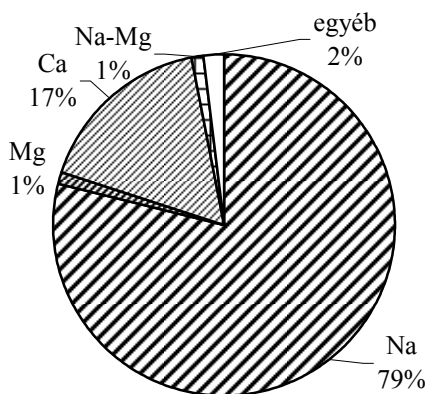
A szikes talajokon talált kivirágzások röntgen-pordiffrakcióval és mikroelemzéssel kombinált pásztázó elektronmikroszkóppal meghatározott sóásványait az I. táblázatban adtuk meg.

Az előforduló sóásványok gyakorisága a következő (az előfordulások %-ában): blödit – 1,5%, burkeit – 4%, epsomit – 1,5%, gipsz – 32%, halit – 19%, hexahidrit – 1,5%, jarosit – 1,5%, melanterit – 3%, mirabilit – 3%, nahkolit – 1,5%, nátron – 4%, thénardit – 71%,

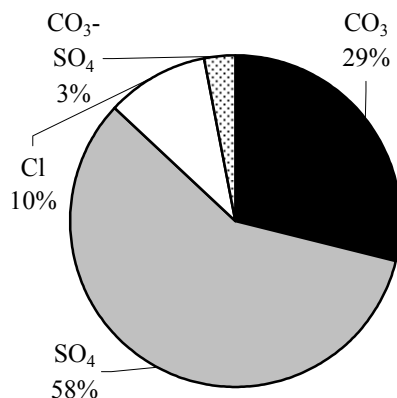


1. ábra. 1998 és 2005 között gyűjtött hazai sókivirágzások lelőhelyei
Fig. 1. Localities of salt efflorescences sampled in Hungary (1998–2005)

termonátrit – 14%, trona – 37%. A kationösszetételt tekintve (az adatok %-ában): nátrium-79%, kalcium-17% és egyéb ásványok-5%, míg anionösszetételük a következő: karbonát-29%, szulfát-58% és klorid-10%, karbonát-szulfát ásványok 3% (2. és 3. ábra).



2. ábra. 1998 és 2005 között gyűjtött hazai sókivirágzások sóásványainak kationösszetétele
Fig. 2. Cation composition of salt minerals in efflorescences sampled in Hungary (1998–2005)



3. ábra. 1998 és 2005 között gyűjtött hazai sókivirágzások sóásványainak anionösszetétele
Fig. 3. Anion composition of salt minerals in efflorescences sampled in Hungary (1998–2005)

I. Táblázat. Hazánkban talajfelszíni sókivirágzásokban meghatározott sóásványok (1998–2005), %

Table I. Salt minerals in efflorescences on soil surfaces in Hungary (1998–2005), %

Lelőhely (1)	Időpont (2)	Blődít (3)	Burkett (4)	Epsomit (5)	Gipsz (6)	Halit (7)	Hexahidrit (8)	Mirabilit (9)	Nahkolit (10)	Nátron (11)	Thénardit (12)	Termonatrit (13)	Trona (14)
Dunántúl													
Alap-1	2000. VIII. 23.										5		
Alap-2	2000. VIII. 24.				ny						6		
	2004. VII. 23.										18		
	2005. VII. 25.				ny						2		
Balatonszentgyörgy	2003. VI. 5.										13		
Dinnyés	2000. VIII. 24.					+				+	15		
	2003. VII. 14.										22		
Fertőújlak	2000. VIII. 28.				ny						7		
Sárród	2000. VIII. 28.	1			ny						3		
Tata	2000. VIII. 29.		+	6	1		ny						
	2003. VII. 14.				6						ny		
Duna-völgy, Duna–Tisza köze													
Apaj	lásd IV. táblázat												
Fülöpszállás	1995.												+
Kiskunmajsa	2001. VIII. 15.												6
	2005. VII. 18.					4					ny		19
Kistelek	2000. VIII. 23.					+							
	2001. VIII. 14.												15
Miklapuszta	1998. VII. 30.					+					+		10
(Akasztó)	2005. VII. 18.										1		2
Petőfiszállás	2000. VII. 28.								+			6	12
	2000. VII. 28.				ny								18
	2004. VII. 20.				ny						ny	14	47
	2005. VII. 18.												9
Tiszakécske	2003. VIII. 7.										3		
Tiszántúl													
Balmazújváros-1	2001. VIII. 23.					+					6		1
Balmazújváros-2	2001. VIII. 23.				ny						10		2
	2003. VII. 17.				1	ny					25		1
	2005. VII. 26					2					14		
Balmazújváros-3	2003. VII. 17.					ny					28		
Biharugra	2001. VIII. 16.										4		1
Hajdúdorog	2002. IV. 10.							+					
Hajdúnánás	2003. VIII. 8.										2		
Hajdúvid	2002. IV. 10.							+					
Hortobágy (Nyírolapos)	lásd IV. táblázat												
Hortobágy (Szásztelek)	1995.										5		
Hortobágy (Zám)	2000. IV. 16.				+	50							
	2005. VII. 26.				2								
Földes	2001. VIII. 17.				ny						3		1

Lelőhely (1)	Időpont (2)	Blödit (3)	Burkeit (4)	Epsomit (5)	Gipsz (6)	Halit (7)	Hexahidrit (8)	Mirabilit (9)	Nahkolit (10)	Nátron (11)	Thénardit (12)	Termonátrit (13)	Trona (14)
Konyár (P.lapos)	2001. VIII. 17.											6	9
Konyár-1	2001. VIII. 17.										2		11
Konyár-2	2003. VII. 16.									1		5	
	2003. VII. 16.											4	
Konyár-3 (Kerekfenék lapos)	2001. VIII. 17.												5
Polgár	1999. IX. 15.										1?		
Szabadkigyós-1	1999. IX. 07.				1						9		
Szabadkigyós-2	1999. IX. 07.				ny						10		
Szabadkigyós	2005. VII. 20.				1						3		
Tépe	1999. IX. 15.										ny		
Újfehértó	1999. VIII. 16.					+				1?		2	2
	2005. VII. 26.											1	
Tiszától É-ra													
Egerlövő	2000. VIII. 9.				ny	+					21		
	2005. VII. 26.				ny								
Tarnaszentmiklós	2000. VIII. 7.										5		
Tiszanána	2000. VIII. 07.				1						4		
Szikszó	2005. VI. 14.				+								

(1) Locality, (2) Date of sampling, (3) Bloedite, (4) Burkeite, (5) Epsomite, (6) Gypsum, (7) Halite, (8) Hexahydrate, (9) Mirabilite, (10) Nahcolite, (11) Natron, (12) Thenardite, (13) Thermonatrite, (14) Trona.

Az egyes ásványok előfordulása hazai ásványtársulásokban

Az ásványtársulásokat a következő felsorolásban az ásványt alkotó ionok alapján adtuk meg.

– a *trona* vagy egyedül fordult elő (Fülöpszállás, Kiskunmajsa, Kistelek, Konyár és Petőfiszállás) vagy nátrium-karbonát (Konyár és Petőfiszállás), nátrium-karbonát-szulfát (Biharugra, Hortobágy, Konyár és Miklapusztá), nátrium-karbonát-klorid (Újfehértó), nátrium-karbonát-szulfát-klorid (Balmazújváros és Miklapusztá), nátrium-karbonát-klorid-kalcium-szulfát (Petőfiszállás), nátrium-karbonát-szulfát-kalcium-szulfát (Balmazújváros, Földes, Hortobágy és Petőfiszállás), nátrium-karbonát-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Balmazújváros és Petőfiszállás) ásványtársulásokban volt megtalálható.

– a *nátront* nátrium-karbonát (Konyár), nátrium-karbonát-klorid (Újfehértó), végül nátrium-karbonát-szulfát-klorid (Dinnyés) ásványtársulásokban lehetett kimutatni,

– a *termonátrit* vagy egyedül (Konyár és Újfehértó), vagy nátrium-karbonát (Konyár és Petőfiszállás), nátrium-szulfát-karbonát (Hortobágy), nátrium-karbonát-klorid (Kiskunmajsa és Újfehértó), nátrium-karbonát-szulfát-klorid (Hortobágy), nátrium-karbonát-szulfát-kalcium-szulfát (Petőfiszállás) ásványtársulásokban fordult elő,

– a *nahkolitot* a nátrium-karbonát ásványtársulásban (Petőfiszállás) mutattunk ki,

– a *thénardit* a sókivirágzásokban vagy csak egyedül fordult elő (Alap, Apaj, Balatonszentgyörgy, Dinnyés, Hajdúnánás, Hortobágy, Polgár, Tarnaszentmiklós, Tépe és Tiszakécske) vagy nátrium-karbonát-szulfát (Biharugra, Hortobágy, Konyár és Mikla-

puszta), nátrium-szulfát-klorid (Balmazújváros és Hortobágy), nátrium-karbonát-szulfát-klorid (Balmazújváros, Dinnyés, Hortobágy és Miklapusztá), nátrium-karbonát-kalcium-szulfát (Balmazújváros, Földes és Hortobágy), nátrium-kalcium-szulfát (Alap, Fertőújlak, Szabadkígyós, Tata és Tiszanána), nátrium-kalcium-magnézium-szulfát (Sarród), nátrium-magnézium-karbonát-szulfát-kalcium-szulfát (Tata), nátrium-karbonát-szulfát-kalcium-szulfát (Apaj, Balmazújváros, Földes, Hortobágy és Petőfiszállás), nátrium-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Egerlövő), nátrium-karbonát-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Balmazújváros) végül alumínium-kalcium-nátrium-vas-szulfát (Apaj) ásványtársulásokban fordult elő,

- a *mirabilit* egyedül fordult elő (Hajdúnánás, Hajdúvid),
- a *blödit* nátrium-magnézium-kalcium-szulfát ásványtársulásból írtuk le (Sarród),
- az *epsomit* magnézium-kalcium-szulfát ásványtársulásban határoztuk meg (Tata),
- a *hexahidrit* ugyancsak nátrium-karbonát-magnézium-kalcium-szulfát ásványtársulásban mutattuk ki (Tata),

- a *burkeitet* egyedül (Apaj), vagy vas-szulfát (Apaj), végül nátrium-karbonát-magnézium-kalcium-szulfát (Tata) ásványtársulásokban határoztuk meg,

- a *halit* egyedül (Kistelek) vagy nátrium-szulfát-klorid (Balmazújváros, Dinnyés és Hortobágy), nátrium-karbonát-klorid (Kiskunmajsa és Újfehértó), nátrium-karbonát-szulfát-klorid (Balmazújváros, Dinnyés, Hortobágy és Miklapusztá), nátrium-klorid-kalcium-szulfát (Hortobágy-Zám), nátrium-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Egerlövő), nátrium-karbonát-klorid-kalcium-szulfát (Petőfiszállás), nátrium-karbonát-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Balmazújváros és Dinnyés) ásványtársulásokban mutattuk ki,

Gipszet egyedül (Egerlövő, Szikszó és Zám) vagy nátrium-kalcium-szulfát (Alap, Fertőújlak, Szabadkígyós, Tiszanána és Tata), nátrium-karbonát-szulfát-kalcium-szulfát (Apaj, Balmazújváros, Földes, Hortobágy és Petőfiszállás), nátrium-klorid-kalcium-szulfát (Hortobágy-Zám), nátrium-karbonát-klorid-kalcium-szulfát (Petőfiszállás), nátrium-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Egerlövő), nátrium-karbonát-szulfát-klorid-kalcium-szulfát (Balmazújváros és Dinnyés), nátrium-karbonát-kalcium-magnézium-szulfát (Tata), nátrium-kalcium-magnézium-szulfát (Sarród), alumínium-kalcium-nátrium-vas-szulfát (Apaj) társulásokban határoztuk meg.

Apajon két esetben *melanteritet* és egyben *jarosit* mutattunk ki.

A sókivirágzások közül tehát előfordultak mind nátrium-klorid (halit), mind nátrium-szulfát (thénardit, mirabilit), mind nátrium-karbonát (nahkolit, nátron, termonátrit és trona) ásványok. Egy helyen magnézium-szulfát-ásványokat is meghatároztunk. Leggyakoribb a thénardit – 71% (az összes minta %-ban: 77), gyakori a trona – 37%, a gipsz – 32%, a halit – 19% és a termonátrit – 14%. A burkeit és a nátron 4%, a melanterit és a mirabilit 3%, a blödit, az epsomit, a hexahidrit, jarosit és a nahkolit ritka, 1,5–1,5%.

A meghatározott ásványok közül Magyarországon *először publikáltunk ásványtani meghatározást* a burkeitről, a nahkolitról.

Egy időpontban több helyről vettünk mintát a Hortobágy Nyírólaposról (II. táblázat).

Ugyanazon időpontban több fajta sókivirágzást (porszerű vagy kéregszerű, illetve fehér vagy barna színűt) összehasonlítva, közöttük lényeges minőségi különbség a fehér és a barna színű kivirágzás között volt (III. táblázat).

II. Táblázat. Egy időben egy terület különböző pontjairól vett minták sóásványai, %
Table II. Salt minerals in samples of efflorescences from different sites, of an area at the same time, %

Lelőhely (1)	Időpont (2)	Thénardit (3)	Trona (4)
Nyírólapos-1	2003. VII. 17	3	ny
Nyírólapos-2	2003. VII. 13.	16	
Nyírólapos-3	2003. VII. 13.	3	

(1) Locality, (2) Date of sampling, (3) Thenardite, (4) Trona.

III. Táblázat. Ugyanazon területről, egy időben különböző fajta kivirágzások sóásványai, %.

Table III. Salt minerals in different efflorescences of the same spots and at the same time, %.

Lelőhely (1)	Időpont (2)	Gipsz (3)	Halit (4)	Nahko- lit (5)	Thénar- dit(6)	Ter- mo- natrit (7)	Trona (8)
Nyírólapos (NYS-2), porszerű	2003. VII. 18				21		ny
Nyírólapos (NYS- 2), kéregszerű	2003. VII. 18.				5		
Petőfiszállás, fehér	2000. VII. 28.			+		6	12
Petőfiszállás, barna	2000. VII. 28.	ny	+				18

(1) Locality, (2) Date of sampling, (3) Gypsum, (4) Halite, (5) Nahcolite, (6) Thenardite, (7) Thermonatrite, (8) Trona.

3.3.2. Hazai sókivirágzásokban előforduló sóásványtársulások

A sókivirágzások földrajzi elterjedése

A Dunántúlon és a Tiszától északra döntően szulfátásványok fordultak elő, míg a többi területen karbonát-szulfát-klorid ásványtársulások találhatók a sókivirágzásokban. A nátriumionok mellett kalciumionok (gipsz) és alárendelten magnéziumionok (blödit, epsomit, hexahidrit) fordulhatnak elő ásványalkotó elemként.

Az adatokat tájegységenként is összefoglaltuk, bár kevés adat állt rendelkezésre.

Dunántúl (6 leelőhelyről 11 adat).

A sókivirágzásokat döntően szulfátásványok jellemzik (egy esetben nyomokban halit, illetve pásztázó elektronmikroszkóppal kombinált mikroanalízissel kimutatott burkeit és nátron fordult elő). Az egyik tatai mintavételtől eltekintve a mintákban minden esetben thénardit volt kimutatható, mellette esetenként gipsz (Alap, Fertőújlak, Sarród és Tata). A dinnyési 2000. augusztus havi mintában pásztázó elektronmikroszkóppal halitot mutattunk ki, a sarródi mintában pedig blöditet. A tatai mintában a 2000. augusztus havi

mintavételnél, egyedül az országban a gipsz mellett magnézium-szulfát-ásványok, így epsomit és hexahidrit fordultak elő. Jellemző ásványtársulásai a gipsz–thénardit, illetve a thénardit egyedül. A múltbeli 3 adatból 2 karbonátos és 1 szulfátos volt.

A Duna-völgy és Duna–Tisza köze (7 pontról 17 adat):

Apaj: alapvetően szulfátos sóásványkiválások, emellett két esetben burkeit, egy esetben pedig halit és termonátrit fordult elő. Néhány kivételtől eltekintve (Apaj, Kistelek és Tiszakécske) a sókivirágzások anionösszetételt tekintve karbonátásványt tartalmaztak, így karbonátosak, karbonátos-szulfátosak, karbonátos-kloridosak, vagy karbonátos-szulfátos-kloridosak voltak. E mintákban a trona majdnem mindig kimutatható volt, mellette esetenként termonátrit fordult elő (Kiskunmajsa és Petőfiszállás), vagy kimutatható volt a gipsz (Petőfiszállás), illetve a thénardit (Miklapusza és Petőfiszállás), vagy a halit (Kiskunmajsa, Miklapusza és Petőfiszállás). A múltbeli adatok többsége karbonátos, de jelentős volt a karbonátos-kloridos anionösszetétel is, amely utóbbi jelenleg ritkább.

A Tiszántúlra nem lehetett általánosítani az adatokat, ezért azokat tájakra–kistájakra összegeztük.

Hortobágy (3 lelőhelyről: Nyírólapos, Szásztelek és Zám, 21 adat).

A mintavételek változatos képet mutattak: szulfátos-karbonátos-kloridos sókivirágzások. A szászteleki mintában thénardit fordult elő, a zámi minta pedig kloridos, alárendelten szulfátos. A nyírólaposi 17 mintavételben thénardit mindig előfordult, emellett kilenc esetben karbonátásványok is (trona, termonátrit, illetve egy esetben mindkettő). Esetenként gipsz, valamint halit is meghatározható volt. A társulások szulfátosak, karbonátos-szulfátosak, szulfátos-kloridosak és karbonátos-szulfátos-kloridosak.

Jellemző társulásai: thénardit egyedül, vagy thénardit–trona, gipsz–thénardit–trona, thénardit–termonátrit–trona. A múltbeli adatok: négy szulfátos kivirágzás.

Berettyó–Körös vidék (2 helységből, 4 pontból 4 adat). Szulfátos-karbonátos sókivirágzások: gipsz–thénardit, thénardit–trona. A múltbeli adat: 2 karbonátos, 1 szulfátos-kloridos.

Hajdúság (8 helység, 13 pontjából, 16 adat).

A hajdúsági szikes felszíni sókivirágzások is változatos képet mutatnak; szulfátos-karbonátos-kloridos sókivirágzások. A balmazújvárosi mintákban thénardit mindegyik kivirágzásban előfordult, emellett esetenként kevés gipsz, valamint egyes esetekben trona és/vagy halit volt kimutatható. Az ásványtársulások: karbonátos-szulfátos, szulfátos-kloridos és karbonátos-szulfátos-kloridos. Mindegyik konyári kivirágzásban nátrium-karbonát-ásvány fordult elő; termonátrit–trona (Petrovits-lapos), termonátrit, illetve nátron–termonátrit (Konyár-2), trona (Kerékfenék-lapos), illetve thénardit–trona (Sóstó-1-mesterséges?). A többi ponton csak egy mintavétel történt, amelyek az anionösszetételt tekintve szulfátosak: mirabilit, thénardit, (Hajdúdorog, Hajdúnánás, Hajdúvid, Polgár és Tépe), illetve karbonátos-szulfátosak (Földes). A többenél gyakoribb társulásai: thénardit egyedül, gipsz–thénardit–trona és halit–thénardit. A múltbeli adat: egy-egy karbonátos és karbonátos-kloridos anionösszetételű.

Nyírség (1 lelőhelyről 2 adat). Döntően karbonátos sókivirágzás, halit csak nyomokban volt: halit–nátron–termonátrit–trona. Alapvetően az anionösszetételt tekintve karbonátos sókiválás. Mindkét mintavételnél termonátrit fordult elő a mintában, emellett az egyik mintában nátron és trona, illetve pásztázó elektronmikroszkóppal halit is. A múltbeli adatok: 3 karbonátos anionösszetételű.

A Tiszától északra (4 lelőhelyről 5 adat). Uralkodóan szulfátos sókivirágzások: thénardit, egyes esetekben gipsz. Egy esetben (Egerlövő) mikroelemzéssel kombinált pásztázó elektronmikroszkópal halitot mutattunk ki. Ásványtársulásai: gipsz, gipsz–halit–thénardit, gipsz–thénardit, thénardit.

Ásványtársulások gyakorisága hazánkban:

Monomineralikus kiválások (az összes minta %-ában: 44%):

25% thénardit,
6% trona,
4% gipsz,
3% mirabilit,
3% termonátrit
1,5 % burkeit,
1,5% halit.

Ásványtársulások (57%):

Szulfátos társulások:

13%,
gipsz–thénardit: 10%,
blödit–gipsz–thénardit: 1,5%
gipsz–jarosit–melanterit–thénardit: 1,5%,
4,5%
nahkolit–termonátrit–trona: 1,5%,
nátron–termonátrit: 1,5%,
termonátrit–trona: 1,5%,

Karbonátos-szulfátos társulások: 19%,

thénardit–trona: 10 %,
gipsz–thénardit–trona: 5%,
burkeit–melanterit: 1,5%,
burkeit–epsomit–hexahidrit–gipsz: 1,5%
gipsz–termonátrit–thénardit: 1,5%,
gipsz–termonátrit–thénardit–trona: 1,5%,
termonátrit–thénardit–trona: 1,5%,

Karbonátos-kloridos társulások: 3%

halit–nátron–termonátrit–trona: 1,5%,
halit–termonátrit–trona: 1,5%.

Szulfátos-kloridos társulások: 7%

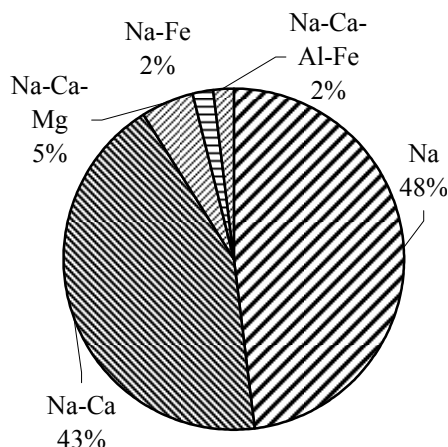
halit–thénardit: 4%
gipsz–halit: 1,5%
gipsz–halit–thénardit: 1,5%,

Karbonátos-szulfátos-kloridos társulások: 10,5%

gipsz–halit–trona: 1,5%,
halit–nátron–thénardit: 1,5%,
gipsz–halit–nátron–thénardit: 1,5%,
gipsz–halit–thénardit–trona: 1,5%,
halit–termonátrit–thénardit: 1,5%,
halit–thénardit–trona - 3%.

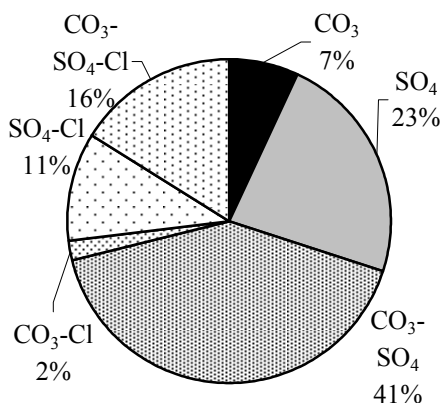
A leggyakoribb ásványtársulások: gipsz–thénardit: 10%, thénardit–trona: 10 %, gipsz–thénardit–trona: 5%, halit–thénardit: 4%.

A meghatározott nátriumsósásvány-társulások kémiai összetétele: 48% nátrium-, 43% nátrium-kalcium, 9% egyéb ásvány, míg anionösszetétele: SO_4 23%, $\text{CO}_3 - \text{SO}_4$ 41%, CO_3 7%, $\text{SO}_4 - \text{Cl}$ 11%, $\text{CO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl}$ 16%, $\text{CO}_3 - \text{Cl}$ 2%. (4. és 5. ábra). Az összevetés a múltbeli adatokkal nagy óvatosságot igényel, mivel a régi adatok bruttó nedves kémiai elemzések, a mostaniak pedig együttesen végrehajtott kémiai és ásványtani vizsgálatok eredményein alapulnak, emellett kicsi a mintaszám. Mindazonáltal szembevetünk, hogy míg a múltban a CO_3 -os kivirágzások uralkodtak, most a SO_4 -osok, és a múltban a $\text{CO}_3 - \text{Cl}$ -os típus gyakoribb volt (6. és 7. ábra).



4. ábra. 1998 és 2005 között gyűjtött hazai sóásvány-társulások kationösszetétele

Fig. 4. Cation composition of salt mineral associations in efflorescences sampled in Hungary (1998–2005)



5. ábra. 1998 és 2005 között gyűjtött hazai sóásvány-társulások anionösszetétele

Fig. 5. Anion composition of salt mineral associations in efflorescences sampled in Hungary (1998–2005)

A sókivirágzásokban előforduló ásványasszociációk összevetése a külföldi adatokkal.

A sókivirágzások (a gipsztől eltekintve) a kationok alapján – két kivételtől eltekintve – nátriumsók. A világon viszonylag kevés helyről írtak le olyan sókivirágzást, amelyben csak nátriumásványok vannak: Marcén és Callén, Spanyolország (Vizcayno *et al.*, 1995); Gujarat, India (Kooistra, 1983); Uttar Pradesh, India (Datta *et al.*, 2002), Punjab, Peru (Shahid & Jenkins, 1994); és Santa Rosa és El Milagro, Peru (Mees & Stoops, 1991). Még ritkább a csak nátrium-karbonát-ásványokat tartalmazó kivirágzás, amelyet Magyarországon kívül csak Indiából írtak le az Indus és a Gangesz síkságán (Uttar Pradesh, India – Datta *et al.*, 2002).

A hazai előfordulásokban a sókivirágzások több mint 40%-a monomineralikus: burkeit, gipsz, halit, mirabilit, termonátrit, thénardit és trona. Monomineralikus gipsz kivirágzást írtak le Észak-Dakotából (USA, Keller *et al.*, 1986a), thénarditot Punjabból (Pakisztán, Shalid & Jenkins, 1994), halitot a Szaharából (Algéria, Hamdi-Aissa *et al.*, 2004), a Nilus-delta északi részéről (Egyiptom, Hanna & Stoops, 1976), Iránból és Szíriából (Eswaran *et al.*, 1980) és Indiából (Kooistra, 1983), valamint Kazahsztánból (Menjajlo *et al.*, 1989) és Punjabból (Pakisztán, Shahid *et al.*, 1992).

Gipsz-thénardit sókivirágzást Észak-Dakotából (Skarie *et al.*, 1987) és Azerbajdzsánból (Feofarova, 1958), halit-thénardit sókivirágzást Mongóliából (Tursina 1981, Tursina *et al.*, 1980), termonátrit-thénardit sókivirágzást Pakisztánból (Shahid & Jenkins, 1994) mutattak ki.

3.4. Sódinamikai vizsgálatok

Két ponton, Apajon és Hortobágyon többször is vettünk mintát a sódinamika feltárására.

Az egyik vizsgálati terület Apaj községtől délre a Kunszentmiklós felé haladó út mellett van. A terület közelében évtizedek óta folynak talajtani felmérések. Korábban a szolonszók, újabban szolonszók-szolonyec, illetve szolonyec talajok a jellemzőek, mivel az elmúlt évtizedek folyamán a talajvízszint-süllyedés volt az uralkodó folyamat. A terület jellemző növényzete az ürmös szikes gyepek.

A másik terület a Hortobágyi Nemzeti Park Nyírólapos-Nyári járás területének délkeleti részén, a Debreceni-határcsatorna és az M33-as műút (84-es km-kő környéke) közötti szikes lapos. A terület a tiszántúli szolonyec talajok „klasszikus” mintaterülete, a réti szolonyec talajok tipikus bemutató szelvénygödre itt található. Itt hosszú idő óta folynak különböző célú talajtani vizsgálatok (Oertli & Rajkai, 1988; Rajkai *et al.*, 1988; Szabolcs, 1971; Tóth *et al.*, 1991; Tóth & Kertész, 1993; Tóth & Rajkai, 1994). A terület jellegzetessége a hortobágyi, sőt országos viszonyok szempontjából is kiterjedt sókivirágzások foltok gyakorisága. A legmagasabb övezettől a legmélyebbig haladva a terület taljai a réti csernozjom-mélyben sós réti talaj sorozat, a klasszikus szolonyec katéna tagjai, a növényzet ennek megfelelő, a löszpusztagyeptől a szikes mocsárig terjed.

Az ismételt vett minták sósványait a IV. táblázatban adtuk meg.

Apaj

Anionösszetételt tekintve vagy karbonát- és szulfátsókiválások, így a 1999. április hó: gipsz, termonátrit és thénardit, illetve burkeit (2001. május hó), valamint burkeit és melanterit (2000. augusztus hó) vagy szulfátsókiválások, így gipsz, melanterit, jarosit csoportbeli ásvány, thénardit (2000. október hó), illetve thénardit (2002. május hó).

Nyírólapos

17 ismételt mintavétel történt, amelyekben a thénardit volt az a sósvány, amely mindegyikben előfordult (1–32% közötti mennyiségben).

2001. évben öt ismételt mintavétel volt. Az anionösszetételt tekintve a tavaszi mintavétel szulfátos (thénardit) volt, a nyári mintavételek (június-augusztus hó) karbonátos-szulfátosak (esetleg gipsz, valamint trona és thénardit), míg az őszi mintavételben a karbonát- és szulfátsókiválások (termonátrit, thénardit) mellett megjelenik a halit is, előrehaladott kristályosodást jelezve.

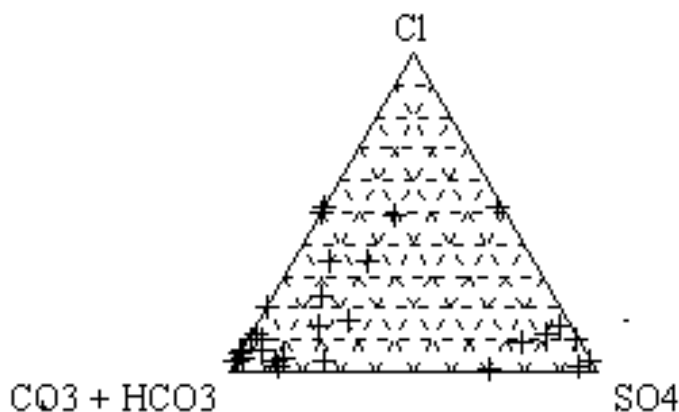
Az 1998. évi nyári mintavételben (július hó) trona és thénardit fordult elő, a 2003. évben nyáron (július hó) thénardit vált csak ki, illetve 2005-ben (július hó) a thénardit mellett halit is.

IV. Táblázat. Ismételten talaj felszínén vett sókivirágzások ásványi összetétele, %
Table IV. Salt minerals in repeated samples of efflorescens, %

Lelőhely (1)	Időpont (2)	Burkeite (3)	Gipsz (4)	Halit (5)	Jarosit (6)	Melanterit (7)	Thénardit (8)	Termonátrit (9)	Trona (10)
Apaj 1999/1	1999. IV. 9.		ny				3	1	
2000/9	2000. VIII. 23	1				1			
2000/ 23	2000. X. 20.		ny		ny	1	2		
2001/7	2001. V.10.	ny							
2002/1	2002. V. 23.						1		
Nyíró- lapos	1998. VII. 27.						3		ny
	1999. X.						10		
2000/ 25	2000. X. 27.						9	9	3
2001/4	2001. III. 28.						12		
2001/ 10	2001. VI. 12.		1				5		3
2001/ 11	2001. VI. 12.						17		11
2001/ 12	2001. VII. 16						8		5
2001/ 23	2001. VIII. 23		ny				32		1
2001/ 26	2001. XI. 7.			4			1	8	
NYS1	2003. VII. 17.						20		
NYS3	2003. VII. 18.						3		
NYS2	2003 VII. 18.						16		
13994	2005. VII. 26.			1			5		

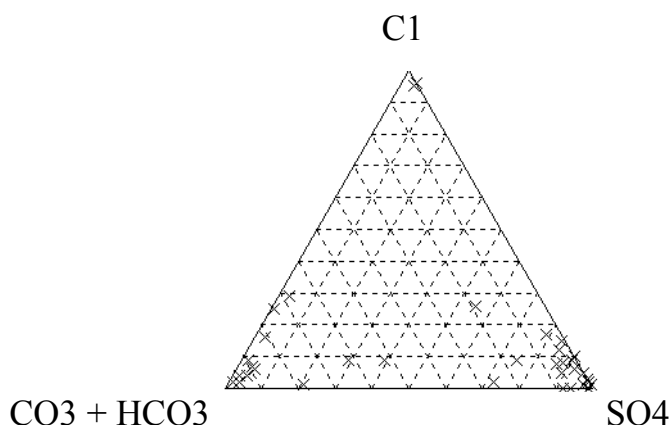
(1) Locality, (2) Date of sampling, (3) Burkeite, (4) Gypsum (5) Halite, (6) Jarosite, (7) Melanterite, (8) Thenardite, (9) Thermonatrite, (10) Trona.

Az 1999. és 2000. évi őszi (október havi) mintavételekben a thénardit, illetve trona, termonátrit és thénardit jellemző.



6. ábra. Az 1998 előtt gyűjtött sókivirágzások vizes kivonatainak anionösszetétele

Fig. 6. Anion composition in water extracts of salt efflorescences sampled in Hungary (before 1988)



7. ábra. Az 1998 és 2005 között gyűjtött sókivirágzások vizes kivonatainak anionösszetétele

Fig. 7. Anion composition in water extracts of salt efflorescences sampled in Hungary (1998–2005)

A sóásványok elterjedésének hosszú távú, évtizedes–évszázados változására az 1998–2005 közötti vizsgálatok eredményeinek az 1998 előtti adatokhoz való hasonlításával lehet következtetni. A múltban 65 helységhez tartozó 107 helyszínről van publikált adat, jelenleg pedig 29 községhez tartozó 39 ponton találtunk sókivirágzást, tehát a múltban előfordulásuk jóval gyakoribb volt és nagyobb kiterjedésben is fordultak elő. Földrajzi elterjedésüket tekintve a múltban a Nyírségben jóval, a Duna-völgyben és a Duna–Tisza közén valamivel több, a Hajdúságban pedig kevesebb előfordulás volt ismert.

A jelenleg meghatározott sóásványok anionösszetétele jóval több nátrium-szulfát-ásványt, és kevesebb nátrium-karbonát- és nátrium-karbonát- és kloridásványtársulást jelez. A múltban a sókivirágzásoknak csak a kémiai összetételéről volt adat, ezért ezeket az 1998–2005 között gyűjtött sókivirágzások kémiai összetételével (pontosabban vizes kivonatainak anionösszetételével) is összevetettük (6. és 7. ábra), ez az összehasonlítás megerősítette a korábbi kutatások megállapításait (Szabolcs, 1961). A jelenség magyarázatát ebben a kötetben Tóth & Szendrei (2005) adja.

3.5. Külföldi sóminták vizsgálata

A diagnosztikai tapasztalatok szerzése és a sóásványtársulásokról lévő adatok gyarapítása szempontjából a külföldi utak során lehetőség szerint sókivirágzásokat gyűjtöttünk (V. táblázat). Az Amerikai Egyesült Államokból, Egyiptomból és Indiából származó mintákban egyrészt olyan ásványok (blödit, epsomit, gipsz, halit, hexahidrit, thénardit, termonátrit, trona) fordultak elő, mint hazánkban is, de általában nagyobb koncentrációban, másrészt olyan ásvány (leonit), amelyet hazánkban nem találtunk.

V. Táblázat. Külföldi sókivirágzások ásványi összetétele, %

Table V. Salt minerals in efflorescences from soil surfaces collected outside Hungary, %

Lelőhely (1)	Blödit (2)	Epsomit (3)	Gipsz (4)	Halit (5)	Hexahidrit (6)	Leonit (7)	Thénardit (8)	Termonátrit (9)	Trona (10)
Egyiptom									
Al-Baharia	73		2		5	20			
India									
L.vansar 1,				6			9	16	
L.vansar 2,			ny.	12			12		10
Lakhuwali,			2	7			33		
USA									
Lander-1,	42	39	1				13		
Lander-2,	27	4					67		
Salton Sea			1	95					

(1) Locality, (2) Bloedite, (3) Epsomite, (4) Gypsum, (5) Halite, (6) Hexahydrite, (7) Leonite, (8) Thenardite, (9) Thermonatrite, (10) Trona.

3.6. Tóparti sókivirágzások

Három területen, így Dinnyésen, Kardoskúton és Zabszéken a tóparton beszáradó sókivirágzásokból is vettünk mintát. Ezekben egyrészt olyan ásványok (gipsz, halit, nátron, thénardit, termonátrit és trona) fordultak elő (VI. táblázat) mint a talajokban is, másrészt eltérő ásvány is, mint a northupit.

Dinnyésen a tóparton vett mindkét sókivirágzásban előfordult a thénardit. A 2000. augusztus havi mintavétel ásványi összetétele mind a kationok összetételét (kalcium-, magnézium- és nátriumionok), mind pedig az anionösszetételt (karbonát-, szulfát- és kloridionok) tekintve összetett, míg a 2003. július havi összetételét tekintve egyszerűbb nátriumsó-kiválás, anionösszetételt tekintve pedig karbonát és szulfát. A tronával szemben

a northupit az egyensúlyi koncentrációt meghaladó széndioxid-koncentrációt jelez (Bradley & Eugster, 1969).

VI. Táblázat. Tóparton vett sókivirágzások sóásványai, %

Table VI. Salt minerals in efflorescences sampled on lake shore, %

Lelőhely	Időpont	Gipsz	Halit	Nátron	Northupit	Thénardit	Termonatrit	Trona
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Dinnyés	2000. VIII. 24.	ny			4	24		
	2003. VII. 14.			8		6		
Kardoskút	2000. VIII. 22.		2					
Zabszék 1998/5	1998. X. 15.		2					7
2000/10	2000. VIII. 23.							
2000/24	2000. X. 20.		1			4	2	
2001/5	2001. IV. 5.			5				
2001/6	2001. V. 10.						1	
2001/24	2001. VIII. 27.	ny				1		5
2001/27	2001. X. 27.	1				7		
11741	2003. VIII. 6.							16

(1) Locality, (2) Date of sampling, (3) Gypsum, (4) Halite, (5) Natron, (6) Northupite, (7) Thenardite, (8) Thermonatrite, (9) Trona.

A kardoskúti tófenéken vett egy mintából a sóásványok közül csak halitot lehetett kimutatni.

A Zabszék-tóból 4 év alatt ismételt mintavétel történt, a minták változatos képet mutatnak. A sókiválások anionösszetételüket tekintve általában karbonátosok (vagy karbonátosok is). A nátrium-szulfát-ásvány, a thénardit (négy kivételtől eltekintve) és a nátrium-klorid-ásvány, a halit az őszi mintavételekben (1998. X. 15., 2000. X. 20., 2001. X. 27.) fordult elő. A nátrium-karbonát-ásványokat tekintve is változatos: trona vagy termonatrit vagy nátron fordult elő. Kalciumásványt, – gipszet – csak két esetben mutatunk ki.

A sók kiválását tekintve három alapeset valószínűsíthető:

Karbonátosásványok. Kizárólag csak karbonátásványok, ami két képződési lehetőséget vet fel. Egyrészt $\text{CO}_3\text{-HCO}_3$ anionösszetételű oldat kristályosodása, másrészt összetett anionösszetételű oldat, amelynek kristályosodása csak a karbonátásványok kiválásának szakaszáig jutott el (2001. április hó: nátron, 2003. augusztus hó: trona). A hőmérsékletet tekintve a trona és nátron közül az előző kiválását $25\text{ }^\circ\text{C}$ alatt határozták meg (Milton & Eugster, 1959), míg a termonatritot a nátron dehidrációs termékének tekintik, $35\text{ }^\circ\text{C}$ feletti hőmérsékletnél (Monnin & Schott, 1984, Stoops, 1987).

Karbonát-klorid sóásványkiválás. A karbonát-klorid anionösszetételű oldat végbe ment kristályosodása (1998. október hó: trona és halit).

Szulfátosásványok. Szulfát anionösszetételű oldat, amelyből először a kalciumásványként a gipsz vált ki, majd a nátrium-szulfát-ásványként a thénardit (2001. október hó).

Összetett kiválás. A karbonátos és szulfátos anionösszetételű oldatból vagy elsőként a kalciumásvány, a gipsz vált ki, majd a nátrium-karbonát- és nátrium-szulfát-ásványok (2001. augusztus hó: gipsz, trona, thénardit) vagy az oldat kationösszetétele alapvetően nátriumionos, amelynél a kristályosodás karbonát- és szulfátkiválásig jut el (2001. május hó: termonátrit és burkeit, vagy végigmegy a legnagyobb oldhatóságú nátrium-klorid kiválásáig (2000. október hó: termonátrit, thénardit és halit). A nátriumásványok között a nátronhoz képest a trona 25° C feletti (Milton & Eugster, 1959), míg a termonátrit 35 °C feletti hőmérsékletű kristályosodást jelez (Monnin & Schott, 1984, Stoops, 1987).

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Dr. Bakacsi Zsófiának a Hortobágy-Szásztelekről gyűjtött sókivirágzás rendelkezésünkre bocsátásáért. A hazai sókivirágzások egykori és mai elterjedését bemutató szövegközi térképek elkészítését Fehér Bélának és Pentelényi Antalnak köszönjük.