KARSZTFEJLŐDÉS V.
Szombathely, 2000. pp. 21-39.

A MIKROBIÁLIS BEFOLYÁSOLTSÁGÚ KARSZTKORRÓZIÓ VIZSGÁLATA MAGYARORSZÁGI KARSZTOK TALAJAIBÓL SZÁRMAZÓ KISMINTÁKON

ZÁMBÓ LÁSZLÓ[1] - TELBISZ TAMÁS[2]

[1]ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1083 Bp. Ludovika tér 2.
[2]ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1083 Bp. Ludovika tér 2.

Abstract: The acids accumulating in soils and controlling the solution of carbonates – including the predominant CO_2 – mostly derive from three groups of processes: 1. root respiration of higher plants, 2. decomposition of soil organic matter by microorganisms (microbiota) and, 3. other decomposition processes not associated with microbial activities. Investigating carbonate solution in soils and attempting to obtain more precise data, I performed studies of corrosion on small samples. Altogether 96 corrosion models of identical composition, suitable for the measurement of corrosion below the soil layer have been constructed. Model investigations covered the 4 most common karst soils in the temperate and subtropical climatic belts. For each soil type 4 models involved the original microbiota and these models served to measure natural solution capacity. On the other hand, in four models for each soil type the soil was sterilised and here solution capacity without microbial action could be determined. The solution effect under rendzina soils is primarily used for the dissolution of the enclosed limestone fragments and thus here the solution of bedrock is of limited scale. Below karst soils of high clay content the corrosion of bedrock is more intensive than under rendzinas. On the whole, however, the amount of carbonates dissolved and transported into the depths of the karst is smaller than below rendzinas.

Bevezetés

Az elmúlt évtizedek vizsgálatai alapján általában elfogadottá vált, hogy a karsztos folyamatok a karsztban mozgó vízbe került különböző savaktól - ahogy *WHITE, W.* (1988) megjegyzi *"as the primary chemical driving force"* - függenek. Ugyancsak elfogadottá vált, hogy ezek egyik legfontosabb forrása a karsztot fedő talajtakaró. Magam a talaj a karsztoldódást befolyásoló szerepét "*karsztosodási talaj hatásnak*" nevezem legszívesebben.

A talajban keletkező savak közül a hidrogénkarbonátos oldást meghatározó CO_2 jelentősége a szakirodalom szerint kiemelkedőnek látszik. Általában egyetértés alakult ki abban, hogy a talajban kifejlődő karbonátos oldást döntően meghatározó savak - köztük a domináns szénsav - eredete 3 folyamatcsoportra vezethető vissza, amelyek:

1. a magasabbrendű növényzet gyökérlégzése,
2. a talajbeli mikrobiális élőlények (a mikrobióta) szervesanyag lebontó folyamatai,

3. egyéb, a mikrobióta működésével közvetlen kapcsolatban nem lévő mállási folyamatok.

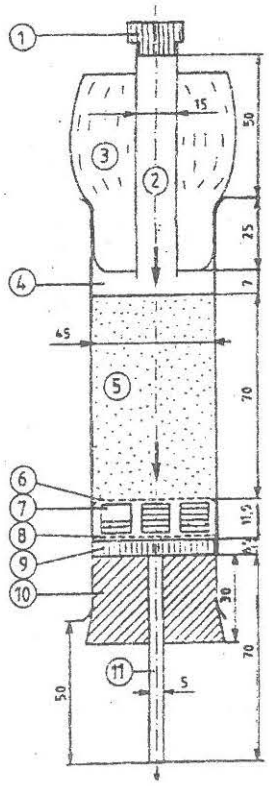
A fenti folyamatok közül a mikrobióta karbonátoldásban való jelentőségének közelítő feltárására kisminta kísérleteket végeztünk, amelyek során a magasabbrendű növényzet hatásának kizárásával a mikrobiális hatásra bekövetkező karbonátoldást összehasonlítottuk a hasonló körülmények között végbemenő abiotikus eredetű karbonátoldással és az eredményként nyert számszerű értékek alakulását megvizsgáltuk.

Anyag és módszer

A talajban keletkező abiotikus és mikrobiális karbonát-oldóhatás elkülönített mérésére törekedve azonos felépítésű korróziós kisminta modelleket állítottunk össze, amelyek a talaj alatti korrózió meghatározására alkalmas paramétereik alapján összehasonlíthatóknak mutatkoztak.

A talaj alatti karsztosodás modelljeinek szerkezeti felépítését az *1. ábra* mutatja. Ennek részei:

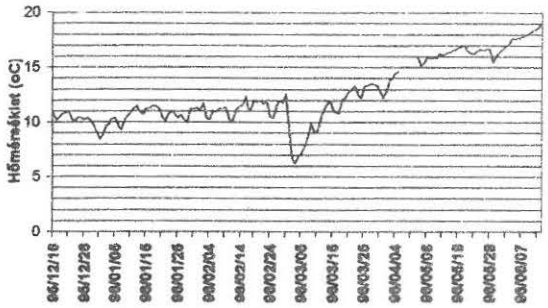
1. A kismintát befoglaló 40 mm átmérőjű üvegcső, amelyben a mérsékeltövi nyílt karsztokra jellemző, 9 cm hosszú eredeti szerkezetű talajoszlop került elhelyezésre.
2. A modellt felül a légcserét nem akadályozó baktérium-szűrő dugó zárta, amelyen keresztül a baktérium mentes, a csapadékot helyettesítő vízutánpótlás bejuttatható volt.
3. A talajoszlop alatt két erre a célra alkalmas, kémiailag közömbös műanyag szűrő között 7-7 db 1-1 cm^3 térfogatú, jól oldódó mészkő-kocka képviselte a korrodálódó kőzetet. A mészkőkockákat inhomogén szöveti összetételű, mikrokristályos kalcit iszapból (mikrit) és pátos kalcitból álló, helyenként ~0,1 mm-es átmérőjű, kerekded pórusokkal tagolt, kissé dolomitos mészkőből vágtuk ki. A kockák felületén - vizsgálataink szerint - a talajban keletkező korróziós hatás teljes mértékben érvényesült és a rajta átjutó talajoldat karbonát telítetté vált.
4. A modellt alul gumidugó zárta, amelyen keresztül a beszivárgó oldat steril műanyagzacskóba gyűlt össze. A vizsgálat célja az volt, hogy a talajban keletkező karbonátoldó képességet a mészkőkockák oldása által teljes egészében lekötve, a mészkőoldó képességet oldott karbonát-mennyiségben (oldott karbonát koncentrációban, illetve mg-ban), vagy ezzel egyenértékű CO_2 mennyiségben kifejezve, az oldóhatás összehasonlíthatóvá váljék.



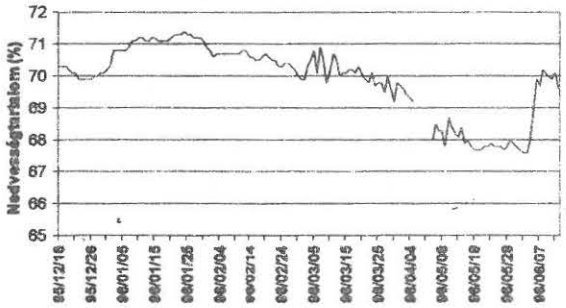
1. ábra: Talaj alatti karsztosodás modellje
Jelmagyarázat: 1, 10. Gumidugó, 2. Vízutánpótlás, 3. baktérium szűrő, 4. Üvegcső, 5. Talajminta, 6, 8, 9. műanyag szűrők, 7. 1 cm³ térfogatú mészkőkockák, 11. beszivárgó oldat
Fig. 1: Model of under soil karstification.
Legend: 1, 10. Rubber plugs, 2. Water recharge, 3. Becteria filter, 4. Glass tube, 5. Soil sample, 6, 8, 9. Palstic filters, 7. 1 cm³ volume limastone cubes, 11. Percolating solution

Az első kísérlet (P1) körülményei a következők:

1. A modellek működését a magyarországi éghajlati viszonyoknak megfelelően 9 hónapos - fagymentes - szakaszban - a karszttalajokra jellemző (átlagosan 12 °C-os) talajhőmérsékleti és talajnedvesség viszonyok között (25-100% között váltakozva, átlagosan 70%-os) 600 mm évi csapadéknak megfelelő vízutánpótlással vizsgáltuk (*2, 3. ábra*).



2. ábra. Hőmérséklet járása a talajmintákban az első kísérlet során
Fig. 2: Fluctuation of temperature in the soil samples during the first experiment.



3. ábra. Talajnedvesség változása a talajmintákban az első kísérlet során
Fig. 3: Fluctuation of soil moisture in the soil samples during the first experiment.

2. A modellekben a mérsékelt és szubtrópusi éghajlati övben leggyakoribb, a Magyarország ÉK-i részén elhelyezkedő Aggteleki-karsztról származó 4 alábbi talajtípus illetve altípus került elhelyezésre:
a. fekete rendzina (95-98 % szervesanyag., 2-5 % agyag, iszap),
b. barna rendzina (50-80 % szervesanyag, 20-52 % mészkő törm. agyag, iszap),
c. vörösagyagos rendzina(2-5 % szervesanyag, 95-98 % agyag, iszap),
d. (reliktum) vörösagyag (0,5-2 % szervesanyag, 99,5-98 % agyag, iszap).
3. Talajtípusonként 4-4 modellben az eredeti (original) mikrobióta működött ez a természetes körülmények közötti oldóképesség mérését szolgálta. Másrészt talajtípusonként 4-4 modellben a talajt sterilizáltuk itt a mikrobióta működés nélkül létrejövő oldóképességet lehetett mérni. Harmadrészt talajtípusonként 8 sterilizált modellben a 8 leggyakoribb baktérium-törzs és 8 sterilizált modellben a 8 leggyakoribb sugárgomba-törzs visszaoltása által, azok egyéni (a törzsre jellemző) karbonát-oldó hatását vizsgáltuk.

A korábbi mikrobióta vizsgálatok során elkülönített, mintegy 160 bacterium és sugárgomba törzsből választottuk ki a minden talajtípusban

előforduló leggyakoribb 8-8 törzset (Baktériumok: B1- *Bacterium megaterium* (mozgó típus); *B2-Bacillus cereus; B3-Micrococcus kristinae; B4-Bacterium megaterium; B5-Bacterium megaterium; B7-Bacterium megaterium* (nem mozgó típus); *B8-Bacterium megaterium; B10-Bacillus mycoides*; Sugárgombák: *S1-Streptomyces cellulose; S2-Streptomyces atrodivaceus; S3-Streptomycs diastaticus; S4-Streptomyces spadicus; S5-Streptomyces annulatus; S7-Streptomyces gelaticus; S8-Streptomyces exfoliatus; S10-Streptomyces aureocirculatus).*

A korróziós hatás mérését az alábbi 3 módon végeztük úgy, hogy összehasonlítható, számszerű eredményeket kapjunk.

1. Az átszivárgott összegyűjtött víz összkarbonát, kalciumkarbonát és magnéziumkarbonát tartalmának analízisével (mg-ban),
2. A karsztosodó kőzetet modellező mészkőkockák súlycsökkenésével (mg-ban),
3. A mészkőkockák felületén az oldás során megváltozó érdesség mikroszkópos-számítógépes mérésével, amelynek általában növekedő értékszámai az oldódás mértékének sajátos jellemzését adták.

Diszkusszió

WHITE, W. B. (1988) már tankönyvi általánosításban is leszögezi: a talajbani CO_2-produkció elsősorban a talaj "O" és "A" horizontjában megy végbe. Ennek figyelembevételével kísérleti mintáinkat a vizsgált talajok felső, humuszos (szerves anyagban gazdag) horizontjából gyűjtöttük. Így az eredmények a talajtípusok CO_2-ben legproduktivabb zónájára jellemzők és összehasonlíthatók. A talajban a légnemű CO_2 koncentráció a beszivárgó víz által feloldott valamint a talajlevegőben maradt CO_2 egyensúlyától függ. *REARDON, E.J.,-ALLISON, G. B.- FRITZ, P.* (1979) és mások tapasztalatai szerint a CO_2 produkciót és a CO_2 transzportot a magas produktivitású gyökér zónában és az alatt lehet legeredményesebben tanulmányozni, amelyet a gáz-víz rendszer telítetlen övezetének tekinthetünk. A talajban termelődő CO_2 jelentős hányada felfelé irányuló diffúzióval a szabad légkörbe távozik. A CO_2 veszteség a talajok fizikai jellemzői által is irányított folyamat: a laza szerkezetű talajokon könnyen diffundál keresztül a gáz, míg az agyagos talajok csapdába ejtik a CO_2-t (*WHITE, W.B.* 1988). Ezek a talajszerkezettől függő különbségek a kísérlet során is tapasztalhatók voltak.

A vizsgálathoz összeállított beszivárgási rendszer nyílt rendszernek minősült, amelyben a beszivárgó víz CO_2 tartalma elvileg egyensúlyban volt

a háromfázisú talajrendszerben kialakult gázfázisú CO_2-vel. A mészkőkockák oldódási folyamatában felhasználódó CO_2 utánpótlását főleg a fedőtalaj szerves anyagának mikrobiológiailag irányított lebomlása szolgáltatta.

Számos kutató (*GERSTENHAUER, A.*, 1960, *WHITE W.B.*, 1988 stb.) eredményei alapján általában elfogadott, hogy a CO_2 produkció jelentős mértékben függ a talajnedvességtől, és a talajhőmérséklettől. *MIOTKE, F.-D.* (1974) és *ATKINSON, C* (1977) a talajhőmérsékleti értékek és a CO_2-koncentráció értékek között közvetlen kapcsolatot állapított meg. *EDWARDS, N.T.* (1975), *ANDERSON, J.M.* (1973) *GARETT, H.E. - COX, G..S.* (1973), *JAKUCS L.* (1977) vizsgálatai a talajnedvesség és a CO_2-produkció összefüggéseire utalnak. *GUNN, J.-TRUDGILL, S.T.* (1982) megállapította, hogy a fő vegetációs periódusokban a talaj hőmérséklete és nedvességtartalma a CO_2 produkció rátáját befolyásoló legfontosabb tényező, de a mért koncentrációk és az időjárási paraméterek közötti összefüggés nem egyszerűsíthető le.

Kísérletünk során valamennyi minta hőmérséklete egyöntetűen változott (2. *ábra*) és az egyidejű vízutánpótlás (esőztetés) miatt a talajnedvesség változásának trendje is megegyezett (3. *ábra*) az egyes mintákban, bár a valós vízállapot a talajtípusok szerint egymástól eltérő konkrét értékekben fejeződött ki.

Korábbi terepi mérések szerint a talajok vastagsága a talajalatti mészkőoldóképességet jelentősen befolyásolja (*ZÁMBÓ L.* 1986, 1991, 1992). Hasonló megállapításra jutott *BÁRÁNY-KEVEI, I.* (1991, 1992) a talajszintek mikrobiális aktivitását vizsgálva.

CROWTHER, J. Z. (1983, 1984) a talajok átlagos CO_2-tartalmát mérve, a mélység felé szignifikáns CO_2-koncentráció növekedést tapasztalt.

A szervesanyag mennyisége a mélység növekedésével csökken, miként a mikrobák száma és aktivitása is, ezért a biogén CO_2-produkció a felső szintekben magasabb. A felszín felé azonban a porozitás és a gázdiffuzió növekedésével a szabad légkörbe történő CO_2 veszteség is jelentősen megnövekedik. *CROWTHER, J. Z.* (1983) szerint a talajszellőztetés tehát nagyon fontos tényező a talajlégkör CO_2-tartalmának alakulásában. A talajvastagság és talajszellőztetés zavaró hatását csökkentendő az összehasonlíthatóság érdekében kísérleti mintáink azonos talajmélységből kerültek vizsgálatra.

Talajon átszivárgó víz
Water percolating on soil

I. táblázat
Table I.

Beszivárgás (ml)	Fekete rendzina	Barna rendzina	Vörösagyagos rendzina	Vörös agyag
Original 1	322.50	283.50	327.30	410.50
Original 2	306.00		400.50	393.00
Original 3	240.50	162.50		
Original 4			266.50	468.00
Original átlag	289.67	223.00	331.43	423.83
B1	434.00	419.50	330.50	435.90
B2	387.50	364.30	421.00	314.90
B3	422.50	162.50	425.00	442.20
B4	353.50	217.10	416.70	411.50
B5	405.50	432.10	415.00	282.30
B7	291.00	266.20	410.50	313.80
B8	418.50	377.00	256.50	359.10
B10	221.50	410.50	388.00	397.30
Bakt. átlag	366.75	331.15	382.90	369.63
S1	378.50	327.70	421.50	307.20
S2	220.50	417.60	391.80	203.00
S3	423.20	426.80	405.50	275.20
S4	387.90	411.00	133.00	221.00
S5	401.90	410.50	416.30	384.50
S7	369.80	390.70	292.50	399.00
S8	408.70	319.70	407.70	422.50
S10	429.50	333.00	158.30	85.30
Sugárg. átlag	377.50	379.63	328.33	287.21
B. és S. átlag	372.13	355.39	355.61	328.42
Steril 1				
Steril 2	234.00	182.00	266.50	221.00
Steril 3	91.00	182.00	266.50	390.00
Steril 4	195.00	162.50	234.00	266.50
Steril átlag	173.33	175.50	255.67	292.50

Az első vizsgálat (P1) eredményei a következők

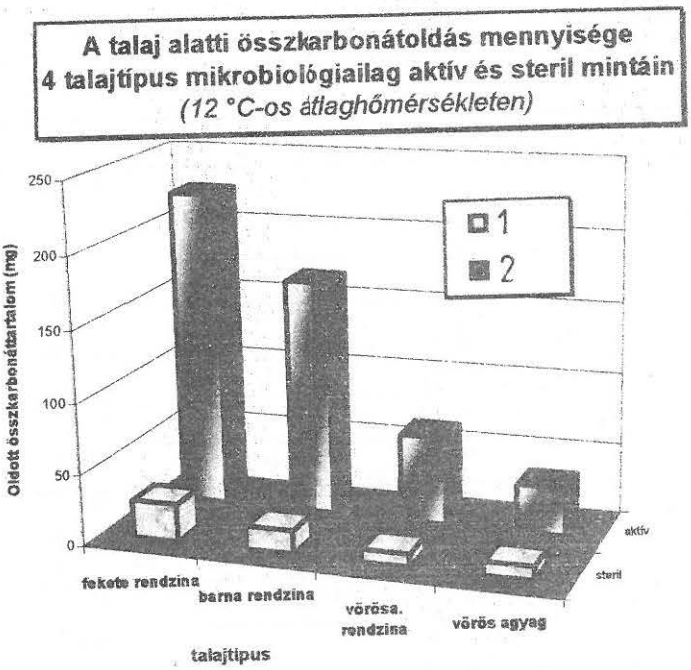
1. A talajos karsztmodellen átszivárgó víz mennyisége abiotikus körülmények között a talaj szervesanyag-tartalmával ellenkező trend szerint változik (*1. táblázat*, steril minták átszivárgása), ami arra utal, hogy a talajok pórustérfogatának infiltrációt módosító hatásán túlmenően, a szervesanyag-tartalom növekedése elősegíti az evaporáció fokozódását.
2. A mikrobióta működése minden vizsgált talajtípusban csökkenti a víz talajpórusokban való tározódásának idejét és ezzel csökkenti a párolgás lehetőségét, így 25-30 %-kal növeli a beszivárgást (*1. táblázat*). Csökkent törzsszámmal jelenlévő mikrobióta (talajdegradáció esetén) a rendzina talajokban valószínűleg általában fokozza a beszivárgást, de ennek a kérdésnek eldöntéséhez további vizsgálatok szükségesek.
3. A teljes mikrobióta működés által keltett oldóhatás általában valamivel nagyobb, mint egyetlen baktérium vagy sugárgomba törzs keltette oldóképesség, de az eltérés nem jelentős. Azt jelentheti ez, hogy a korrózióban nincs különös jelentősége a mikrobióta fajgazdagságnak. Megfordítva ez azt is jelenti, hogy környezet kedvezőtlenné válása - pl. környezetszennyezés által - egyes fajok számára nem okozza feltétlenül a korrózió intenzitásának megváltozását (*2. táblázat*). Egyes talajok alatt (pl. fekete rendzina) bizonyos baktérium-fajok, mások alatt (pl. barna rendzina) inkább a sugárgomba fajok működése hatásosabb a korrózióra.
4. Az átszivárgott vízben az originál minták esetében a karbonát-koncentráció a rendzinák alatt jóval magasabb mint az agyagos talajok alatt (*2. táblázat*):

- A mikrobióta működése miatt keletkező oldóképesség (originál minták) a rendzinák alatt közel nagyságrenddel nagyobb mint a nem mikrobiális forrásból származó oldóképesség (steril minták). Az agyagos talajok alatt ez az arány csak 2,5-szeres (*2. táblázat*).
- Az összes oldott karbonáttartalom az originál aktív mintákban az egyes talajtípusok alatt a szervesanyag-tartalom szerinti arányokat mutat (*4-5. ábra*).
- Az összes oldott karbonát mennyiségében kifejeződő oldóképesség talajtípusonként számszerűen jól elkülönülő, talajtípusonként-jellemző értékeket mutat.
- A mikrobióta működés miatti oldás (aktív minták) minden vizsgált talajtípusban sokszorosa az egyéb módon bekövetkező oldásnak, de az arányok a rendzináktól az agyagokig csökkenő tendenciát mutatnak.

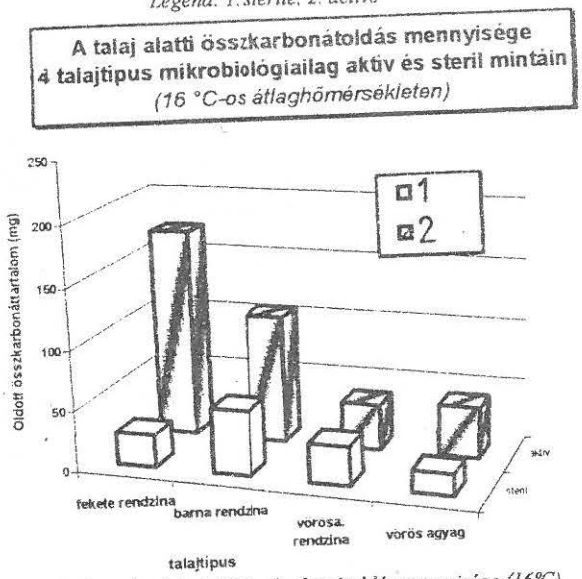
Oldott összkarbonát
Quantity of total soluted carbonate

II. táblázat
Table II.

Össz-karb.(mg)	Fekete rendzina	Barna rendzina	Vörösagyagos rendzina	Vörös agyag
Original 1	205.75	133.25	60.87	32.84
Original 2	200.43		84.11	47.94
Original 3	263.73	198.00		
Original 4			41.67	19.48
Orig. átlag	223.30	165.63	62.22	33.42
B1	264.74	154.57	46.27	32.69
B2	219.36	87.44	54.43	70.85
B3	192.24	45.78	72.25	30.51
B4	194.07	71.64	113.34	31.68
B5	231.13	162.03	43.57	42.90
B7	150.74		87.02	25.73
B8	205.92	21.53	52.83	110.96
B10	221.50	151.89	68.29	39.06
Bakt. átlag	209.96	99.27	67.25	48.05
S1	179.03	123.18	42.15	24.58
S2	152.14	120.04	50.15	18.88
S3	169.28	142.98	60.41	14.31
S4	207.52	122.89	26.61	7.96
S5	182.86	131.36	71.60	34.60
S7	184.90	76.19	29.41	94.18
S8	118.93	71.93	72.57	34.64
S10	188.55	111.55	16.62	10.75
Sugárg. átlag	172.90	112.52	46.19	29.99
B. és S. átlag	191.43	105.89	56.72	39.02
Steril 1				
Steril 2	33.26	20.89	8.26	10.55
Steril 3			10.29	12.08
Steril 4	19.80	11.89	9.15	5.68
Steril átlag	26.53	16.39	9.23	9.44

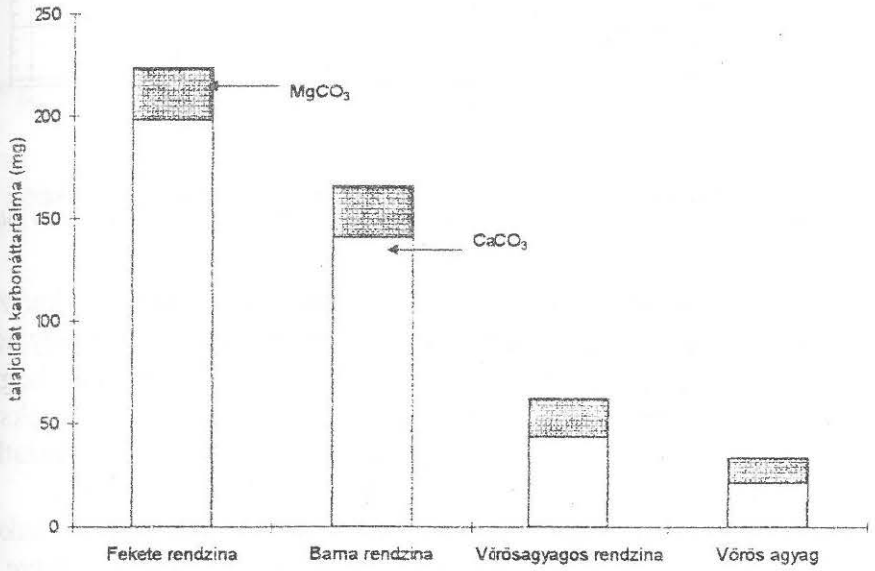


4. ábra: A talaj alatti összkarbonátoldás mennyisége (12°C)
Jelmagyarázat: 1. steril, 2. aktív
Fig. 4: The quantity of total carbonate solution under soil (at 12°C).
Legend: 1.sterile, 2. active



5. ábra: A talaj alatti összkarbonátoldás mennyisége (16°C)
Jelmagyarázat: 1. steril, 2. aktív
Fig. 5: The quantity of total carbonate solution under soil (at 16°C).
Legend: 1.sterile, 2. active

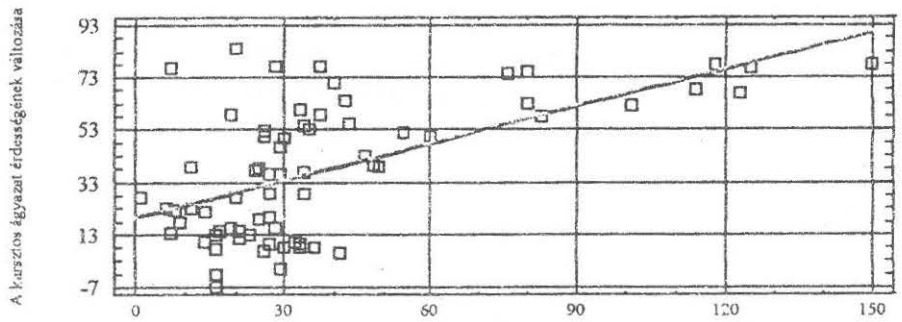
5. Az összes oldott karbonáttartalmon belül a kalciumkarbonát és magnéziumkarbonát aránya talajtípusonként lényegesen eltérő (*6. ábra*).
- A magnéziumkarbonát oldása általában sokkal kisebb arányban megy végbe mikrobiális hatásra, mint a kalciumkarbonáté. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy a talaj alatt esetleg karbonát-specifikus oldóhatásokra következtethessünk.
- Úgy tűnik, hogy a kalciumkarbonát oldódás sokkal nagyobb változatosságot mutat talajtípusok szerint, mint a magneziumkarbonát oldása, amely az előbbiek szerint- is jobban függ a nem mikrobiális hatásra keletkező oldóképességtől.



6. ábra: A karbonátfajták megoszlása az egyes talajtípusok alatt (12°C)
Fig. 6: Distribution of carbonate types under certain soil types (at 12°C).

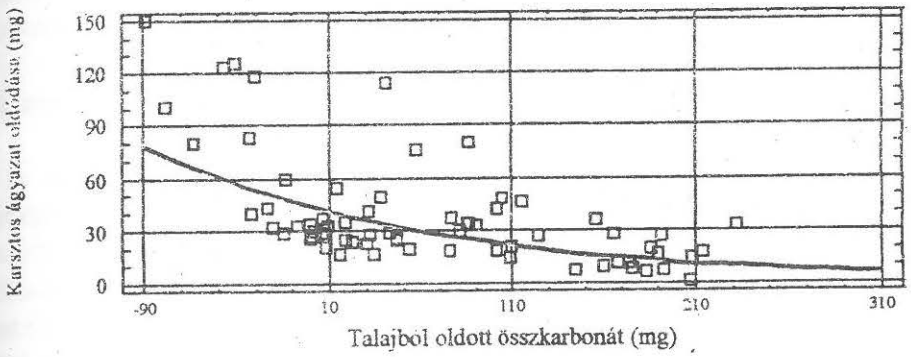
6. A karsztos ágyazat korrózióját és a mészkőkockák felszínének érdességváltozását egybevetve a következőket kaptuk:
- Az oldódás során az érdesség mutatószáma – néhány kivételtől eltekintve – növekedett.
- Az oldódó kőzetfelszín érdességének növekedése gyenge lineáris összefüggést (korrelációs együttható, r=0,58) mutat a karsztos ágyazat oldódásával (*7. ábra*). A kapcsolat gyengesége elsősorban azzal magyarázható, hogy az ágyazat kismértékű (rövid ideig vizsgált) oldódása esetén az érdesség megváltozása nagyon tág határok között mozgott.

- A létező, de gyenge korrelációs összefüggés miatt az érdesség megváltozásából közvetlenül nem következtethetünk az ágyazat oldódásának mértékére.

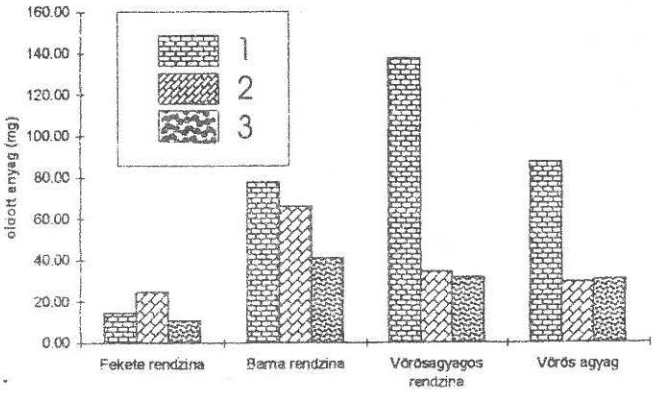


7. ábra: A karsztos ágyazat oldódásának és az oldódó felszín érdességváltozásának összefüggése
Fig. 7: Relationship between the solution of the karstifiable embedment and changing of roughness of the soluble surface.

7. A talajoldat karbonáttartalma fordított összefüggést mutat a karsztos ágyazat oldódásával (a legjobb illeszkedést az exponenciális függvény adja, ez esetben a korrelációs együttható, r=-0,65, 8. *ábra*). Ez arra utal, hogy a karbonátban gazdagabb talajok esetén a talajon átszivárgó víz már a sokszor a talajban telítetté válik (karbonát szempontjából), így a karsztos ágyazathoz érkezve agresszivitása lecsökken és azt már kevéssé oldja.
– A karsztdenudáció összességében arányos a talajban keletkező oldóképességgel, de ez differenciáltan érvényesül: a talajban illetve az ágyazaton végbemenő oldás aránya eltérő lehet. Intenzív oldódás ott megy végbe, ahol a rendzinák alatt erős a törmelék képződése és a rendzinaképződés is gyors folyamat.
8. A különböző módon - 1. az oldat analízisével, illetve 2. a mészkőkockák súlycsökkenésben kifejeződő korróziójával - mért oldóképesség-értékek eltérő eredményeket mutatnak talajtípusok szerint (*4-5, 9. ábrák*).

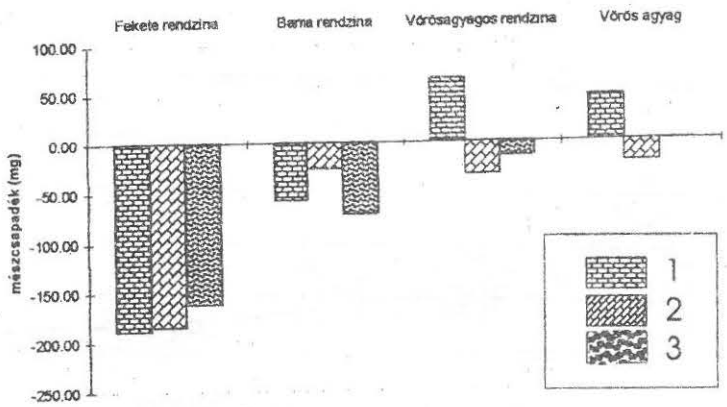


8. ábra: A talajból oldott karbonátmennyiség és a karsztos ágyazat oldódásának összefüggése
Fig. 8: Relationship between the quantity of carbonate dissoluted from the soil and solution of the karstifiable embedment.



9. ábra: Karsztos ágyazat oldódása
Jelmagyarázat: 1. originál átlag, 2. bakteriális átlag, 3. sugárgomba átlag
Fig. 9: Solution of karstifiable embedment
Legend: 1. original average, 2. average of bacteria, 3. average of ray fungi

A beszivárgás során a mészkőtörmelékben gazdag rendzinákban keletkezett oldóhatás nagyrészt a törmelékoldására korlátozódik, míg az agyagos talajokban - a kapilláris vízemelkedés közbejöttével a mészkőágyazaton kioldott karbonát egy része az agyagtalajok "visszameszeződését" okozhatja. Véleményem szerint ez a magyarázata egyes agyagtalajok rendzinásodásának (*10. ábra*). A karbonátos ágyazat (a modellben a mészkőkockák) oldása az agyagtalajok alatt nagyobb mértékű, mint a rendzinák alatt (*9. ábra*)



10. ábra: Az agyagtalajok "visszameszeződése"
Jelmagyarázat: 1. originál átlag, 2. bakteriális átlag, 3. sugárgomba átlag
Fig. 10: "Reliming" of clayey soils.
Legend: 1. original average, 2. average of bacteria, 3. average of ray fungi

A bemutatottak alapján a következők feltételezhetők: a rendzina talajok oldóhatása elsősorban a bennük foglalt mészkőtörmelék oldására használódik fel, a rendzinák alatt a szálban álló kőzet karsztosodása kismértékű. Az agyagos karszttalajok alatt a szálban álló kőzet korróziója gyorsabb, összességében azonban az oldódott és a karszt mélyére jutó karbonátok mennyisége kisebb, mint a rendzinák alatt.

A második és harmadik vizsgálat (P2, P3; 1996-99)

Az első modellkísérleti szakaszban (P1, 1995-96) átlagosan 12 °C-os hőmérsékleten nyert eredmények alapot adtak arra, hogy a további kísérletek egy-egy tényezőjének változtatásával megvizsgáljuk az adott tényező szerepét a mérésadatok alakulásában.

A P2-P3 kísérletben a korróziós kisminta-modeleket változatlan összeállításban, klímaszekrényben, 5 °C-os, 16 °C-os és 20 °C-os hőmérsékleten tartva, vizsgáltuk a karbonátoldó-képesség alakulását, illetve a talajbani és ágyazati karbonátoldás jellemző értékeit természetes (originál) mikrobióta működés mellett (aktív minták), összehasonlítva a P1 kísérlet már elemzett megfelelő adataival.

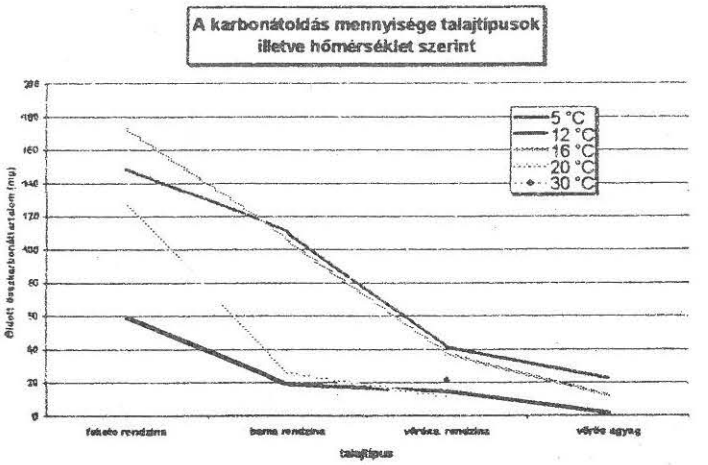
A kiválasztott hőmérsékleteken végzett 6-6 hónapos mérések lehetővé tették az egyébként változatlan feltételek között nyert eredmények összehasonlítását abban a hőmérsékleti tartományban,

1. amelyben a hazai karsztok talaj alatti korróziója az év folyamán végbemegy,

2. amely átlagos talajhőmérsékletek a különböző éghajlati zónák talajaira a mikrobióta aktív működése idején átlagosan jellemzők (hideg mérsékelt öv, szubtrópus, nedves trópus).

A kísérletek összehasonlító értékelése

1. A különböző hőmérsékleteken beszivárgott vízben mért összes oldott karbonát mennyisége a vizsgált talajtípusok, illetve altípusok esetében többé-kevésbé párhuzamos trendek szerint alakult (*11. ábra*), nevezetesen a csökkenő szervesanyag-tartalomnak megfelelően (fekete rendzina - barna rendzina - vörösagyagos rendzina - vörös agyag) az oldás mennyisége is csökkent. Az összes talaj esetében a legerősebb oldóképesség 12-16°C körüli értéknél fejlődik ki. Vélhetően valamennyi vizsgált talajféleség mikrobiótája ilyen hőmérsékleti tartományban a legaktívabb. 20 °C-on már lényegesen alacsonyabb az oldott összkarbonáttartalom. Úgy tűnik, hogy ez a hőmérséklet már csökkenti a mikrobiális működést. A legalacsonyabb oldóképesség a vizsgálatban számításba vett leghidegebb talajhőmérsékletű (5 °C-on) mintáknál jelentkezett. A talajhőmérséklet és mikrobiális aktivitás összefüggésének részletesebb elemzése további vizsgálatokat igényel. Megállapítható, hogy a különböző talajtípusok oldóképessége nem egyformán követi a hőmérséklet megváltozását.

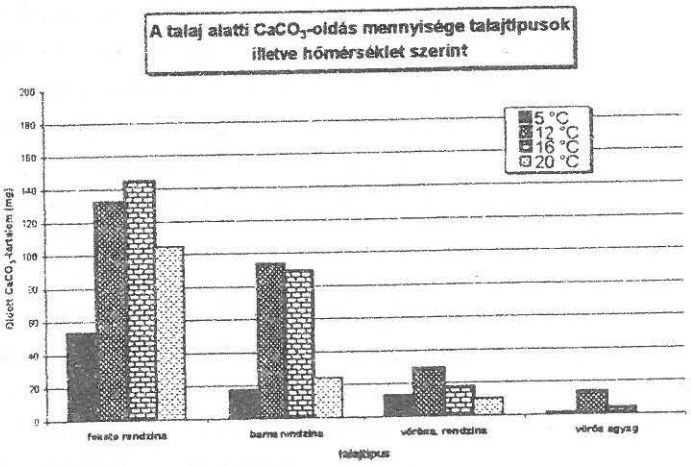


11. ábra: A karbonátoldás hőmérsékletfüggése különböző talajtípusok esetén
Fig. 11: The carbonate solution's temperature dependence at different soil types.

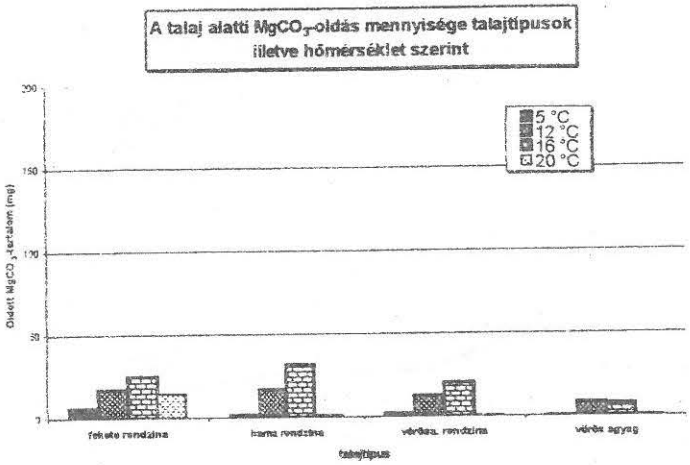
2. Az adatokból megfigyeléseket tehetünk az egyes karbonátfajták hőmérséklet szerint eltérő oldódási jellegzetességeire is (*12, 13. ábrák*).

– A $CaCO_3$ általában 12 °C-on oldódik a legnagyobb mértékben, viszont a $MgCO_3$ általában inkább 16 °C-on oldódik a legjobban. Ez egybevág *MÁNDY T.* (1954) vizsgálataival.

–A $CaCO_3$ oldódása lényegesen hőmérsékletfüggőbb, mint a $MgCO_3$ oldódása, ahogy ez korábbi terepi vizsgálatainkban is igazolódott (*TELBISZ, T. - VIGASSY, T. - ZÁMBÓ, L.*, 1999).

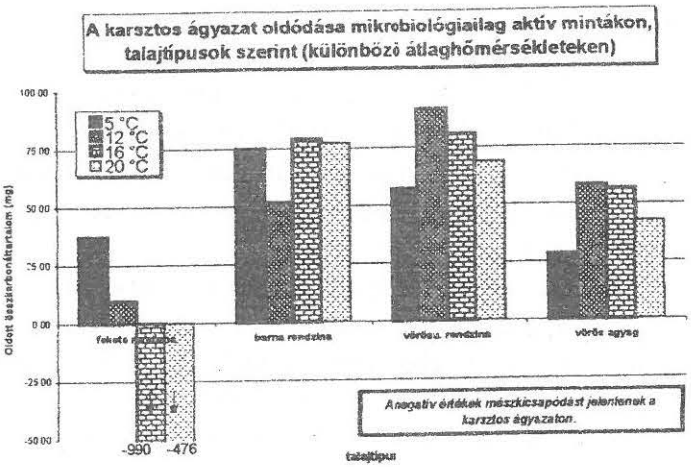


12. ábra: A talaj alatti $CaCO_3$-oldás mennyisége
Fig. 12: The quantity of under soil $CaCO_3$ solution.



13. ábra: A talaj alatti $MgCO_3$-oldás mennyisége
Fig. 13: The quantity of under soil $MgCO_3$ solution.

3. A fekete rendzina talajminta esetében igen erőteljes oldás játszódik le már a talajszelvényben (*14. ábra*), így ennek a karbonátmennyiségnek a jelentős része már a talajszelvény alatt az ágyazaton kicsapódik (mészkéreg képződése), mert ebben a térben feltehetően megváltoznak az oldóképesség viszonyok. Ez a jelenség a többi talajtípus esetében alig jelentkezik. A karsztos ágyazat oldódása a másik két rendzina-altípus esetén hasonló, viszonylag magas értékeket mutat, ezeknél kisebb mértékű, de nem jár kicsapódással a vörös agyag alatt.



14. ábra: A karsztos ágyazat oldódása
Fig. 14: Solution of karstifiable embedment.

Konklúzió

A vizsgálat alapján adódó legfontosabb következetés, hogy a talajok alatt a mészkőoldás nagymértékben a talajtípustól és annak mikrobiális hatásra kialakult oldóképességétől függ. A modellkísérlet körülményei között az egyes talajtípusokban szignifikáns mészkőoldó-képesség alakul ki, amelynek nagysága hőmérsékletfüggést mutatott a +5 és +20 °C közti tartományban végzett kísérleteinkben. Az egyes talajtípusokra jellemző oldóképességek arányát a talajtípusok szervesanyagtartalma, ill. szervesanyag-utánpótlása határozza meg.

A potenciális oldóképesség realizálódását a talajtípusok szerkezeti tulajdonságai, karbonáttartalma, vastagsága és a nagyobbrészt ezektől függő talajszellőzés befolyásolják. A talajtípusokban kifejlődő mészkőoldó

képesség túlnyomórészt mikrobiális tevékenységre vezethető vissza: valamennyi vizsgált talajtípus esetében ez legalább 3-9-szerese a nem mikrobiális hatásra bekövetkező oldásnak.

Szeretnénk megjegyezni, hogy az eddigi eredmények további vizsgálatokkal kiegészítendők. A kialakított módszer alkalmasnak látszik arra, hogy a laboratóriumi körülmények (pl. a hőmérsékleten kívül más tényezők - vízutánpótlás - mennyiségének) változtatásával is elvégezve a kisminta-vizsgálatot a karsztos talajhatás további aspektusai kerülhetnek megismerésre.

IRODALOM

ANDERSON, J.M. (1973): Carbon-dioxide evolution from two temperate, deciduous woodland soils. - Journal of Applied Ecology 10., p. 361-378.

ATKINSON, T.C. (1977): Carbon-dioxide in atmosphere of the unsaturated zone: ez important control of groundwater hardness in limestones. - Journal of Hydrology 35., p. 111-123.

BÁRÁNY-KEVEI, I. (1992): Ecological regulation of karst development. - New perspectives in Hungarian Geography. - Akadémiai Kiadó, p.77-80.

CROWTHER, J.L. (1983): Carbon-dioxide concentrations in some tropical karst soils, West-Malaysia. - Catena 10., p. 27-39

CROWTHER, J.L. (1984): Soil carbon-dioxide and weathering potentials in tropical karst terrain, Peninsular Malaysia: a preliminary model. - Earth Surface Processes and Landforms 9., p. 397-407.

CUCCHI, F.-FORTI, F. (1986): Misure di dissoluzione di rocce carbonatiche: le ricerche a Trieste. - Atti e Memorie Comm. Grotte E. Boegan Vol. 25., p. 97-102.

DAOXIAN, Y. (1997): The carbon cycle in karst. - Zeitschrift für Geomorphologie 108. p. 91-102

DE JONG, E. (1981): Soil aeration as affected by slope position and vegetation cover. - Soil Science 131, p. 34-43

EDWARDS, N.T. (1975): Effect of temperature and moisture on carbon-dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. - Soil Science Society of America, Proceedings 37, p. 361-365.

GARRETT, H.E.-COX, G.S. (1973): Carbon-dioxide evolution from the floor of an Oak-Hickory forest. - Soil Science Society of America, Proceedings 37, p.641-644.

GERSTENHAUER, A. (1972): Der Einfluss des CO_2-gehaltes der Bodenluft auf die Kalklösung. - Erdkunde 26, p.116-120.

GUNÉS, A.-HERNANDEZ, J.-GINÉS, J.-POL, A. (1987): Observaciones sobre la concentración de dióxide de carbono en la atmósfera de la cova de les Rodes. - Endins 13, p. 27-38.
GUNN, J.-TRUDGILL, S.T. (1982): Carbon-dioxide production and concentrations in the soil atmoshpere: a case study from New-Zealand vulcanic ash soils. - Catena 9., p. 81-94
GUNN, J. (1986): Solute processes and karst landforms. - in: TRUDGILL, S.T. (ed.): Solute Processes. Wiley & Sons, p. 363-437.
JAKUCS, L. (1977): Morphogenetics of Karst Regions. - Akadémia Kiadó, Budapest.
MÁNDY, T. (1954): Mészkövek és dolomitok oldási vizsgálata (Solutional examination of limestones and dolomites) - Hidrológiai Közlemények, 34. p. 508.
MIOTKE, F.D. (1972): Die Dussung des CO_2-gehaltes der Bodenluft mit dem Dräger-Gerät und die beschleunigte Kalklösung durch höhere Fliessgeschwindigereiten. - Zeitschrift für Geomorphologie 16(1), p.93-102.
REARDOM, E.I.-ALLISON G.B.-FRITZ, P. (1979): Seasonal chemical and isotopic variations of soil CO_2 at Trout Creek, Ontario. - Journal of Hydrology 43, p. 355-371.
SMETTEM, K.R.I. (1986): Solute movement in soils - in: TRUDGILL, S.T. (ed.): Solute Processes. Wiley & Sons, pp. 141-165.
TELBISZ, T. - VIGASSY, T. - ZÁMBÓ, L., (1999): Variances of karst corrosion on the basis of differences in the solution of Ca- and Mg-carbonates - IGU International Symposium on Nature Conservation and sustainable development on karst terrains, Budapest-Miskolc, 5-9 September, 1999., Abstract Vol p. 27.
TRUDGILL, S.T. (1986) (ed.): Solute Processes. - Wiley & Sons, Chichester.
ZÁMBÓ, L. (1986): Characteristic values of karst-corrosion soil impact in the soil cover of dolines. - Annales Univ. Sci. Pudapestinensis de Sectio Geographia de Rolando Eötvös Nominatae. Tom XX-XXI., p. 311-325.
ZÁMBÓ, L. (1992): The soil effect in karst corrosion. - New Perspectives in Hungarian Geography, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 81-90.
ZÁMBÓ, L.-DARABOS, G. (1993): An investigation of microbial CO_2 production in karst soils. - In: Zámbó, L. (ed.): Conference on the Karst and Cave Research in Hungary, Jósvafő, p. 141-146.
WHITE W. (1988): Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains – Oxford University Press