

## A biológiai szódaképződést befolyásoló ökológiai tényezők vizsgálata a talajban

TIMÁR MÁTYÁSNEÉ és PÁTKAI TAMÁS

*MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*

Ismeretes, hogy alkalmas környezeti tényezők hatására biológiai úton is képződhet szóda a talajban, azáltal, hogy bizonyos mikroorganizmusok szulfát-tartalmú sók szulfát ionját használják fel energetikai folyamataik során elektron akceptorként. Nátriumszulfát jelenlétében a deszulfurikáló organizmusok anyagesere tevékenysége során keletkező és a talajban jelenlevő egyéb anyagok közötti kémiai reakciók szódafelhalmozódáshoz és szolonyecesedési folyamatokhoz vezetnek [1, 2, 7, 8, 9, 10].

Ez a folyamat mind talajtani, mind talajbiológiai szempontból jelentős és érdekes, ennek ellenére viszonylag kevés közlemény jelent meg azokkal a kérdésekkel kapcsolatban, melyek a talajban az organizmusok tevékenységét befolyásoló, illetve limitáló ökológiai faktorokat számba veszik. A deszulfurikáló organizmusok talajbani tanulmányozását megkönnyítik azok az ismeretek, melyek a baktériumok élettanáról, biokémiájáról rendelkezésünkre állnak [5].

Ezeknek az ismereteknek alapján a folyamat talajbiológiai vizsgálatánál a disszimilatív szulfátredukálók alábbi sajátosságait kell figyelembe venni: anaerob környezet,  $-200$  mv körüli  $E_h$ -igény, neutrális, illetve bázikus környezet,  $SO_4^{2-}$  és elektron donorként hasznosítható anyagok ( $H_2S$ , tejsav, stb.), valamint élesztő kivonathoz hasonló anyagok jelenléte mikromennyiségekben. Míg a talajok szulfát tartalmát elsődlegesen főképpen abiotikus folyamatok befolyásolják, addig a disszimilatív szulfát redukálók számára kedvező, többi ökológiai feltétel kialakításánál más mikroorganizmus csoportok tevékenysége meghatározó szerepű.

Jelen kutatásaink során a  $Na_2SO_4$  és cellulóz változó mennyiségeinek befolyását vizsgáltuk a deszulfurikációs folyamatokra a talajban modell kísérletben.

Hasonló vizsgálatokat ABD-EL-MALEK és RIZK végeztek [1] az egyiptomi Wadi-Natron tó környékéről származó szikes talajokban.

Megállapították, hogy ezekből a talajokból elkülönített disszimilatív szulfátredukálók még  $3.650$  mg/100 ml kéntartalmú  $Na_2SO_4$ -et tartalmazó táptalajban is aktív élettévékenységet folytatnak. Adataik szerint keményítő talajhoz való keverése nagymértékben gyorsítja a deszulfurikációs folyamatokat, azonban kontrollként alkalmazott, szervesanyaggal dúsítatlan mintákban is végbemennek a szulfátredukációs folyamatok.

Saját régebbi vizsgálataink során [8, 9], amikor a vizsgálatához használt talajból a növényi maradványok szabadszemmel látható részeit elkülönítettük,

azt tapasztaltuk, hogy a humusz és tőzeganyagok — a talajmikrobák számára nehezebben hasznosítható tápanyagforrások jelenlétében — a deszulfurikációs folyamatok nem indulnak meg csak biológiailag könnyebben mobilizálható szervesanyagok hozzáadása után.

ABD-EL-MALEK és RIZK a folyamat természetes körülmények közötti megfigyelése alapján [1] a növényi maradványokat bontó és deszulfurikáló organizmusok szimbiozisanak lehetőségét vetik fel, ezen belül a deszulfurikáló organizmusok tevékenysége következtében kialakuló bázikus körülményeknek fontos szerepet tulajdonítanak, mivel ez a tény teszi lehetővé a növényi maradványok folyamatos bomlását, megakadályozva a bontást végző organizmusok számára hátrányos savas környezet kialakulását.

### Anyag és módszer

A modellkísérletek céljára a fehérmegyei Sárretről származó szoloncsákos réti láptalaj felső szintjéből gyűjtöttünk mintát. A talaj környezetének részletes talajtani leírása SARKADI és munkatársai [6] által készített monográfiában található meg. A minta kémiai vizsgálati adatait korábbi munkában közöltük. [9].

A minta származási helyén, természetes körülmények között a szulfát-redukciós folyamat végbemegegy.

A talajmintát szobahőmérsékleten kiszárítottuk, a növényi maradványoktól elkülönítettük, majd 10 g-os mennyiségeket 90 ml víz hozzáadásával lombikokban helyeztünk el. A kísérleti tervnek megfelelően változó mennyiségben cellulózt (Whatman No. 1 örölt szűrőpapír) és  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -et adtunk a mintákhoz. A kísérleti idő alatt anaerob körülmények kialakulásának elősegítése és fenntartása érdekében nitrogén gázt áramoltattunk keresztül a talajszuszpenziót tartalmazó edényeken, melyek légmentes összeköttetésben voltak  $\text{H}_2\text{S}$  és  $\text{CO}_2$  gázok elnyelésére alkalmas folyadékokkal megtöltött felfogó edényekkel. A kísérlet folyamán időközönként meghatároztuk a felszabaduló  $\text{H}_2\text{S}$  és  $\text{CO}_2$  mennyiségét. (A kénhidrogént jodometriás titrálással, a  $\text{CO}_2$ -t acidimetriával WINKLER (in ERDEY [3]) módszere szerint határoztuk meg). A kísérleti idő végén mértük a talaj pH-jának és titrálható alkalinitásának (szódalúgosság) mértékét, valamint a talajból 10%-os sósavval felszabadítható  $\text{H}_2\text{S}$  és esetenként a  $\text{CO}_2$  mennyiségét.

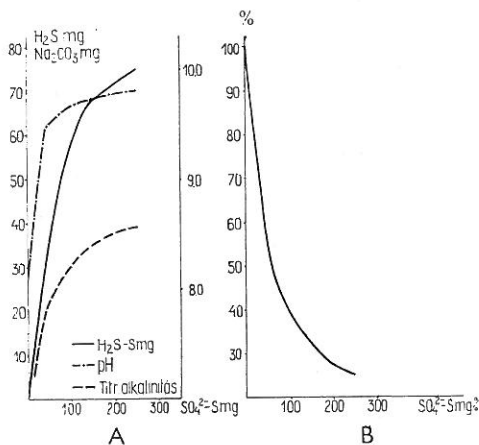
A talajjal elvégzett kísérletek kiegészítése céljából adatokat kívántunk kapni arra vonatkozóan, hogy a szulfát és szervesanyag mennyiségének változása miképpen befolyásolja a redukció eredményeként felszabaduló  $\text{H}_2\text{S}$  mennyiségét *Desulfovibrio desulfuricans* tiszta tenyészetében. Ezért *Desulfovibrio desulfuricans* Hildenborough törzs (NCIB 8303) tenyészetét változó mennyiségű szervesanyagot, illetve szulfátot tartalmazó táptalajokra oltottuk, a táptalaj egyébként mindenben megegyezett a MACPHERSON és MILLER által javasolttal [4]. (Energiaforrás: nátriumlaktát és  $\text{SO}_4^{2-}$ :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Talajjal elvégzett kísérletekhez hasonlóan a tenyészedenyek  $\text{H}_2\text{S}$  és  $\text{CO}_2$  felfogására alkalmas abszorpciós folyadékot tartalmazó edényekhez csatlakoztak. A kísérleti idő folyamán  $\text{N}_2$  áramlott az edényeken keresztül.

## Kísérleti eredmények

## I. Növekvő szulfátkoncentrációk hatása a szulfátredukció során átalakuló anyag mennyiségére

## a) Talajjal végzett kísérletek

A kísérlet során 1—1000 mg  $\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$  (0,6—624 mgeé./100 g talaj) tartományban egyenlőtlen lépcsőelosztású, 32 tagú koncentrációs sort alkalmaztunk. Hazai talajokban is előforduló szulfátkoncentrációk (0—31 mgeé./100 g talaj) ill. (1—49,6 mg  $\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$ ) tartományára 9 lépcső jutott. A minták



1. ábra

A) Növekvő  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  mennyiségek hatása a szulfátredukcióra

B) Redukció során keletkezett  $\text{H}_2\text{S}$  mennyisége a talajhoz adott szulfát %-ában

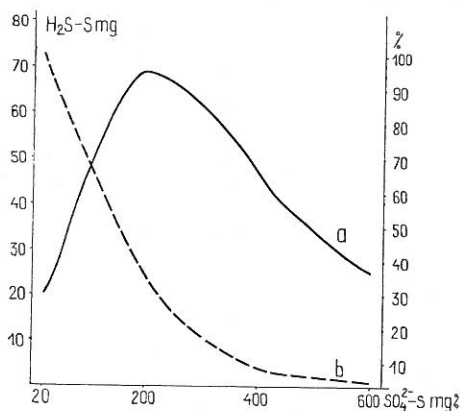
egységesen 250 mg őrölt szűrőpapírt tartalmaztak. Inkubáció szobahőmérsékleten történt és a szulfátredukció befejeződéséig tartott.

A hazai talajok szulfáttartalmának megfelelő koncentrációk esetében a redukált kén abszolút mennyisége, a pH és a szódalúgosság közel lineárisan nőtt. Tovább növelve a szulfát koncentrációját 250 mg  $\% \text{SO}_4^{2-} - \text{S}$ -ig mindhárom tényező telítődési tendenciát mutatott (1. A. ábra). 250—800 mg  $\% \text{SO}_4^{2-} - \text{S}$  tartományban egyértelmű összefüggést nem sikerült megállapítani: a rendelkezésre álló szulfát mennyiségétől függetlenül 55—80 mg  $\text{H}_2\text{S}$  képződött, a pH 9,60—9,98 között ingadozott, a szódalúgosság 16—37 mg  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /10 g talaj értékek között mozgott. A szulfátkoncentráció további növelésére azonban határozottan gátlást szenvedett a folyamat.

Feltűnő, hogy csak mintegy 15—20 mg  $\% \text{SO}_4^{2-} - \text{S}$  tartalomig redukálódott el quantitative a talajhoz adott szulfát. (A keletkezett kénhidrogén kis részét még így is visszatartotta a lugos talaj.) A szulfátkoncentráció növekedésével a folyamat hatásfoka egyre csökken, ilyen értelemben tehát már viszonylag alacsony szulfátkoncentrációk is gátló hatásúak, annak ellenére, hogy a redukált kén abszolút mennyisége esetleg nő. Ezt jól szemlélteti az 1. B. ábra.

Említésre méltó, hogy 11,2 mg  $\% \text{SO}_4^{2-} - \text{S}$  tartalomig a pH a kontroll talajéhoz képest csökkent, illetve nem változott. Tehát ilyen szulfátmennyiség

redukálásakor keletkező lúgos terméket a szervesanyagok anaerob bomlásakor felszabaduló szerves savak még megkötik, sőt feleslegben maradnak. Hazai talajokban előforduló szélsőségesen magas szulfátkoncentrációk esetében azonban a pH 0,96—1,42 egységet is emelkedett, utóbbi esetben az eredetileg szódalugosságot nem mutató mintákban 10 g légszáras talajra számítva 12,0 mg  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -nak megfelelő alkalinitás volt mérhető.



2. ábra

Növekvő  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  mennyiségek hatása *D. desulfuricans* szulfátredukációs tevékenységére a)  $\text{H}_2\text{S}$ —S mg; b) Redukált kén mennyisége a szulfát-kén %-ában

Hangsúlyozni kívánjuk, hogy a fenti viszonyok egy adott talajra vonatkoznak, a mennyiségi adatok számszerű értékei messzemenően függnek a vizsgált talajtól. TIMÁRNÉ [8] vizsgálatai szerint egyes talajokban a jelen dolgozatban ismertetett adatoknál lényegesen alacsonyabb szulfát koncentrációk is határozott gátlást okozhatnak.

#### b) Tiszta tenyésztettel szintetikus táptalajban elvégzett kísérletek

A *Desulfovibrio desulfuricans* Hildenborough törzsének tiszta tenyésztével 480 mg % C-nek megfelelő tejsavat tartalmazó Macpherson táptalajban (pH 8,3) végzett vizsgálatok lényegében hasonló eredményre vezettek. Természetesen az itt tisztábban érvényesülő törvényszerűségek csak fenntartásokkal vehetők össze a talajban megfigyelt viszonyokkal.

18—600 mg %  $\text{SO}_4^{2-}$ —S tartományban vizsgálva a folyamatot a szulfát koncentrációjának határozott optimuma van 200 mg %-nál (2 ábra, a.). A szulfátredukáció befejezésekor mért pH értékek a termelődött  $\text{H}_2\text{S}$  mennyiségével korrelálnak. Az optimálisnak mutatóknál 10,06-ig emelkedik a pH, majd 600 mg %-nál 9,21-re csökken.

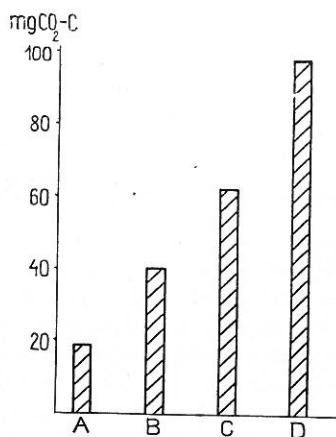
A tiszta tenyésztettel végzett kísérletben is megfigyelhető, hogy a szulfát-koncentráció emelkedése relatíve gátló hatású lehet a redukálódott szulfát abszolút mennyiségének növekedése esetén is (2 ábra, b.). A folyamat hatásfoka a legnagyobb mennyiségű szulfid képződésének esetében sem haladja meg a 35 %-ot.

Ha az egyes kezeléseken belül az idő függvényében is vizsgáljuk a szulfátredukciót, kimutatható, hogy a folyamat átlagsebessége a szulfátkoncentráció növekedésével csökken.

A talajban, illetve tiszta tenyészetben kapott eredmények összevetése esetén azt mondhatjuk, hogy természetes körülmények között a szulfátredukció lassabban folyik. Ennek okai a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiban (eltérő mikrokönyezet, pH,  $E_h$ , tápanyagellátottság, stb.) és a kialakuló mikroszervezet populációk kölcsönhatásaiban keresendők.

## II. Kölcsönhatások a cellulóz bontás és a deszulfurikáció között. Növekvő szervesanyag-mennyiségek hatása a szulfátredukcióra

A már ismertett kísérleti összcállításban 4,4—880 mg széntartalmú (0,01—2,00 g) cellulózt adtunk a talajhoz. A vizsgálatot két különböző — 20, illetve 200 mg%  $SO_4^{2-}-S$  — szulfátkoncentrációnál is elvégeztük. Három kontroll kezelést alkalmaztunk: steril talaj, talaj + cellulóz, talaj +  $SO_4^{2-}$ .



3. ábra

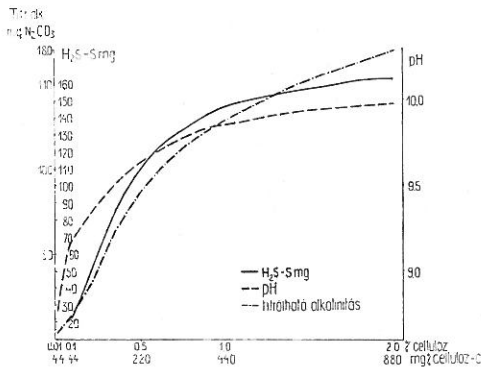
A különböző kezelések hatása a  $CO_2$  termelésére a talajban A) Steril talaj; B) Talaj + 0,5% cellulóz; C) Talaj + 0,5% cellulóz + 20 mg%  $SO_4^{2-}-S$ ; E) talaj + 0,5% cellulóz + 200 mg%  $SO_4^{2-}-S$ .

A kísérlet folyamán mértük a keletkező  $CO_2$  és  $H_2S$  mennyiségét, a folyamat befejeződése után a talaj pH-ját és titrálható alkalinitását. A mérési eredményeket statisztikai elemzés alapján értékeltük.

A 20 mg%  $SO_4^{2-}-S$ -t tartalmazó mintákban az adott szulfát közel teljes mennyisége átalakult, kivéve a legkisebb szervesanyag-kezelést, melynél a szulfátredukció gyakorlatilag nem ment végbe. A talaj  $CO_2$ -termelése a kezelések hatására lényegesen megnőtt. Jól megfigyelhető volt a priming-hatás, kis mennyiségű cellulóz a talaj eredeti szervesanyagainak (főleg humusz és tőzeg) mikrobiológiai bontását serkentette a cellulózt nem tartalmazó kontrollhoz képest. Azokban a mintákban, melyekben a szulfátredukció végbement, a széndioxid-termelés még nagyobb volt, tehát a deszulfurikáció hatására a talaj szervesanyagainak anaerob mikrobiológiai bontása fokozódik (3. ábra. A  $CO_2$  adatok Sz D = 5%-os szinten szignifikánsak).

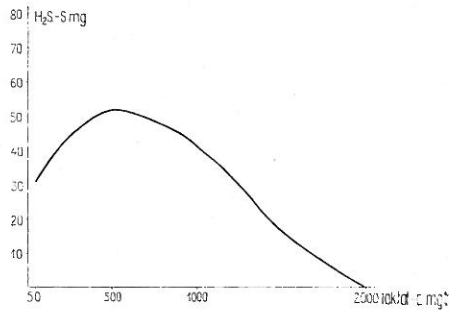
200 mg %  $\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$  esetében a szervesanyag-mennyiségének növelésével a kénhidrogén-termelés is emelkedett. Hasonló értelemben változott a kísérlet végén mért pH és titrálható alkalinitás (4. ábra.) (A  $\text{H}_2\text{S}$ -re vonatkozó adatok SzD = 0,1%-os szinten szignifikánsak).

Érdekes módon a cellulóz növekvő mennyiségeinek hatására nem alakultak ki szignifikáns különbségek az egyes kezelések széndioxid termelése között. Ebben feltehetőleg a magas pH játszott szerepet.



4. ábra

Növekvő cellulóz mennyiségek hatása a szulfátredukcóra, a talaj pH-jára és titrálható alkalinitására



5. ábra

Tejsav növekvő mennyiségeinek hatása a *D. desulfuricans* tenyészetének deszulfurikáló aktivitására

A talajhoz adott szulfát ebben a kísérletben sem redukálódott el teljes egészében. Az eredmények azt mutatják, hogy a C/S arány növekedésével a redukált kén mennyisége növekedik, 4:1 C/S aránynál már az adott szulfát 75%-a átalkult a jelen kísérleti körülmények között.

A *D. desulfuricans* Hildenborough törzsének tiszta tenyészetében, elektron-donorként tejsavat alkalmazva (50–1000 mg% laktát-szén tartományban) azt találtuk, hogy a laktát koncentrációjának optima van 500 mg% körül 200 mg %  $\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$  jelenlétében (6. ábra). Ennél nagyobb koncentrációja gátló hatású. Tiszta tenyészetben tehát a redukció során kialakuló magas pH-n kívül az elektron donor afiziológiás mennyisége is limitálhatja az organizmus tevékenységét.

A talajban, ahol a szulfátredukáló organizmusok által energiaforrásként hasznosítható vegyületeket (elektron-donort) az anaerob cellulózbontók folyamatosan termelik, annak koncentrációja feltehetőleg nem emelkedik gátlóan magas értékig. Ugyanakkor a cellulózbontás savanyú termékei (szerves savak,  $\text{CO}_2$ ) pufferolják a közeget. Ezzel magyarázható, hogy 200 mg%  $\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$  esetében a talajban 4 hónap alatt a szulfát 75%-a átalakul, míg tiszta tenyészetben a folyamat egy hónap múlva megáll és a jelenlévő szulfátnak csak mintegy 25 %-a redukálódik el.

### Következtetések

1. A modellkísérlet körülményei között 15–20 mg S-tartalmú  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  koncentráció fölött a deszulfurikációs folyamatok hatására a jelenlévő szulfát nem alakul át teljes egészében szulfidká. A szulfátkoncentráció növelésével a szulfidképződés fokozható.



2. A deszulfurikáló organizmusok számára optimális szulfátmennyiség (200 mg%  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{—S}$ ) 75%-on felüli átalakulására 4 : 1-nél tágabb cellulóz C—szulfát—S arány szükséges a vizsgált talajban.

3. A deszulfurikációs folyamat hatására az anaerob cellulózbontók aktivitása fokozódik. A serkentő hatás érvényesülésének útját még nem sikerült tisztázni, feltehetőleg a  $\text{H}_2\text{S}$  és a kialakuló alacsony redoxpotenciál játszik benne szerepet.

4. A disszimilatív szulfátredukáló mikroorganizmusok számára kívánatos környezeti feltételek kialakításában és fenntartásában fontos szerepe van az anaerob cellulózbontó mikroorganizmusoknak. A cellulózbontás végtermékei pufferolják a deszulfurikációs folyamatok során képződött lúgos termékeket, ugyanakkor tápanyag és energiaforrások a folyamatot végrehajtó deszulfurikálók számára. E két különböző folyamat során adott időszakban keletkező anyagcsere termékek mennyisége határozza meg alapvetően a talajminta tulajdonságainak változását, amelyek mind a deszulfurikáció, mind a cellulózbontás további folyamataira visszahatnak.

### Összefoglalás

Biológiai deszulfurikációs folyamatok eredményeként szóda képződhet a talajokban. E folyamatot végrehajtó szervezetek jellegzetes mikróbatársulások keretében fejtik ki tevékenységüket a talajban. A deszulfurikáló organizmusok a növényi maradványokat bontó anaerob szervezetek (a kísérletek során cellulózbontók) által termelt anyagcsere termékeket hasznosítják energianyerő műveleteik során és a növényi maradványokat elbontó organizmusok tevékenysége biztosítja a deszulfurikálók által igényelt alacsony  $E_h$  érték kialakulását a talajban. A szulfátredukció során keletkező anyagcsere termékek serkentik az anaerob cellulózbontók tevékenységét. A két organizmus csoport ellentétes irányban befolyásolja a környezet pH értékének alakulását: a cellulózbontás eredményeként a pH érték csökken, a nátriumszulfát redukációjakor keletkező termékek ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) az alkalinitást növelik.

E két egyidejűleg működő és egymást nagymértékben befolyásoló organizmus csoport számára hasznosítható különböző tápanyagok változó mennyiségeinek hatására a talajtulajdonságok eltérően változnak meg. A változások mértékét a nátriumszulfát és a cellulóz abszolút mennyiségei, valamint a két anyag mennyiségének egymáshoz való viszonya szabja meg.

Hazai talajok  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tartalmának megfelelő koncentrációk növekvő mennyiségeinek hatására a szulfid képződés fokozódik, bár a folyamat határfoka csökken. Adott mennyiségű szulfát nagyobb mértékű redukációjára tág C/S arány esetében lehet számítani.

### Irodalom

- [1] ABD-EL-MALEK, Y. & RIZK, S. G.: Bacterial sulphate reduction and the development of alkalinity. I. Experiment with synthetic media. II. Laboratory experiments with soil. III. Experiments under natural conditions in the Wadi Natrun. *J. Appl. Bact.* **26**. 7—26. 1963.
- [2] ANTIPOV—KARATAJEV, I. N.: A szolonyeczek javítása a Szovjetunióban. *Sz. U. Tud. Akad. Moszkva. M. D. K. fordítás* 2250. 1957.

- [3] ERDEY, L.: Bevezetés a kémiai analízisbe. II. Tértfogatos analízis. Tankönyvkiadó. Bpest. 1962.
- [4] MACPHERSON, R. & MILLER, D. A.: Nutritional studies on *Desulfovibrio desulfuricans* using chemically defined media. *J. Gen. Microbiol.* **31**. 365—373. 1963.
- [5] POSTGATE, S. R.: Recent Advances in the Study of the Sulfate-Reducing Bacteria. *Bac. Rev.* **29**. 425—441. 1965.
- [6] SARKADI, J., SZÜCS, L. & VÁRALLYAY, GY.: Nagyléptékű genetikus üzemi talaj-térképek. Genetikus talajtérképek I. sorozat. 8. sz. OMMI, 1964.
- [7] SZABOLCS, I., MÁTÉ, F., MOLNÁR, F. & KOCH, L.-NÉ: Szikesedési folyamatok vizsgálata modell kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*, **5**. 297—304. 1956.
- [8] TIMÁR M.-NÉ: Biológiai szódaképződés szikes talajokban. Kandidátusi értekezés. 1965.
- [9] TIMÁR, M.-NÉ & SZABOLCS, I.: Szervesanyag hatása a szikesekben folyó szulfát-redukcióra. *Agrokémia és Talajtan*. **13**. 129—136. 1964.
- [10] WHITTIG, L. D. & JANITZKY, P.: Mechanisms of formation of sodium carbonate in soils. I. Manifestations of biological conversions. *J. Soil Sci.* **14**. 322—333. 1963.

*Érkezett: 1966. szeptember 15.*

## The Examination of Ecological Factors Influencing Biological Soda Formation in Soils

*É. TIMÁR and T. PÁTKAI*

Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

### Summary

In the course of a model experiment, we examined the effect of changing quantities of sodium sulphate and cellulose on biological desulfurication processes in a soil sample, taken from the upper layer of a solonchak-like lowmoor fen soil, under anaerob conditions. On the basis of the formation of  $H_2S$  and  $CO_2$  and by measuring the changes in the sample's pH value, the following results were obtained:

1. The effect of increasing amounts of sodium sulphate was studied in a 1—1000 mg%  $SO_4^{2-}$  — S range. In the case of concentrations corresponding to the sulphate content of Hungarian soils, the increase of the absolute amount of the reduced sulphur, the pH and the soda alkalinity was approximately linear.

The sulphate added to the soil was quantitatively transformed into sulphide not exceeding a 15—20 mg%  $SO_4^{2-}$  — S content. With increasing sulphate concentration, the absolute amount of the reduced sulphur may be increased but the degree of efficiency of the process decreases. This phenomenon might also be observed in a synthetic culture medium with the pure culture of the Hildenborough strain of *Desulfovibrio desulfuricans*.

2. The effect of increasing amounts of cellulose (Whatman 1 paper) were studied in a range from 4,4 to 880 mg% C-content in the presence of sodium sulphate containing 20 — 200 mg sulphur. Three control treatments were employed: 1, sterile soil, 2, soil + cellulose, 3, soil +  $SO_4^{2-}$ . In the samples where sulphate reduction processes took place, the  $CO_2$  production of the soil was increased. The low  $E_H$  value — which favourably influences the activity of anaerob cellulose decomposing microorganisms — caused by the formation of  $H_2S$  is probably responsible for this phenomenon.

In samples containing 20 mg%  $SO_4^{2-}$  — S, almost the whole amount of the added sulphate was transformed, except in the case of the treatment where the lowest amount of organic matter was added. In that case sulphate reduction practically did not take place.

In the case of 200 mg%  $SO_4^{2-}$  — S, with increasing amounts of organic matter, the  $H_2S$  production was also increased and the pH value and the degree of titratable alkalinity measured at the end of the experiment changed in a similar way. The sulphate added (200 mg% S) to the soil was not completely reduced even in this experiment. If the ratio of cellulose C to sulphate S was 4:1, then 75 per cent of the added sulphur was transformed.



*Figure 1. A)* The effect of increasing amounts of sodium sulphate on sulphate reduction. *B)* The amount of  $H_2S$  forming in the course of reduction in the percentage of sulphate added to the soil.

*Figure 2.* The effect of increasing amounts of sodium sulphate on the sulphate reduction activity of *D. desulfuricans*. a,  $H_2S-S$  mg; b, amount of reduced sulphate in the percentage of  $SO_4^{2-}-S$ .

*Figure 3.* The effect of various treatments on the  $CO_2$  production in the soil. A) sterile soil; A) soil + 0,5% cellulose; C) soil + 0,1% cellulose + 20 mg%  $SO_4^{2-}-S$ ; D) soil + 0,5% cellulose + 200 mg%  $SO_4^{2-}-S$ .

*Figure 4.* The effect of increasing amounts of cellulose on sulphate reduction and on the pH and the titratable alkalinity of the soil.

*Figure 5.* The effect of increasing amounts of lactic acid on the desulfuricative activity of a culture of *D. desulfuricans*.

## Étude des conditions écologiques qui influencent la formation biologique de la soude dans le sol

É. TIMÁR et T. PÁTKAI

Institut de Recherches de Pédologie et de Chimie Agricole de l'Académie des Sciences de Hongrie, Budapest

### Résumé

Nous avons étudié en une expérience modèle, dans des conditions anaérobiques, l'effet des quantités variables de sulfate de sodium et de cellulose sur les processus de la désulfuration biologique dans un échantillon, provenant de la couche supérieure d'un sol de prairie solonchaqueux marécageux. En mesurant la formation du  $H_2S$  et du  $CO_2$  et la variation du pH de l'échantillon nous avons obtenu les résultats suivants:

1. Nous avons étudié l'effet des quantités croissantes dans le domaine de 1—1000 mg % S— $SO_4^{2-}$ . Dans le cas des concentrations correspondant à la concentration de la teneur en sulfate des sols hongrois la quantité absolue du soufre réduit, le pH et l'alcalinité sodique progressait linéairement, à peu près.

Le sulfate ajouté au sol ne s'est transformé quantitativement que jusqu'à une teneur de 15—20 mg %  $SO_4^{2-}$ . En augmentant la concentration du sulfate la quantité absolue du soufre réduit peut être augmentée, mais l'efficacité du processus diminue. L'on a pu observer ce phénomène aussi avec une culture pure d'une race de *Desulfovibrio desulfuricans* Hildenborough dans un milieu nutritif synthétique.

2. Nous avons étudié l'effet des quantités croissantes de la cellulose (papier Whatman 1) dans le domaine de 4,4 — 880 mg de C, en présence de  $Na_2SO_4$  contenant 20 et, respectivement, 200 mg de soufre. Nous avons employé 3 manipulations de contrôle: 1. sol stérile, 2. sol + cellulose, 3. sol +  $SO_4^{2-} - S$ . Dans les échantillons où l'on a pu observer des processus de réduction de sulfate, la production du  $CO_2$  dans le sol a augmenté; dans l'engendrement de ce changement la petite valeur de  $E_h$  joue probablement un rôle, parce qu'elle influence favorablement l'activité des organismes anaérobies décomposant la cellulose.

Dans les échantillons contenant 20 mg % de  $SO_4^{2-} - S$  la production de  $H_2S$  a augmenté avec l'augmentation de la matière organique, de même que le pH et l'alcalinité titrable mesurés à la fin de l'expérience. Dans cette expérience le sulfate ajouté au sol (200 mg % S) n' a pas été réduit totalement, avec une proportion de 4:1 de C cellulosique et S sulfatique 75% du soufre a été transformé.

*Fig. 1. A)* Effet des quantités croissantes de  $Na_2SO_4$  sur la réduction des sulfates *B)* Quantité de  $H_2S$  formé au cours de la réduction en % du sulfate ajouté au sol.

*Fig. 2.* Effet des quantités croissantes de  $Na_2SO_4$  sur l'activité réductrice du *D. desulfuricans*. a)  $H_2S-S$  mg; b) la quantité du sulfate réduit en % de  $SO_4^{2-}-S$ .

*Fig. 3.* Effet des divers traitements sur la production de  $CO_2$  dans le sol. A) sol stérile; B) sol + 0,5% cellulose; C) sol + 0,1% cellulose + 20 mg%  $SO_4^{2-}-S$ ; D) sol + 0,5% cellulose + 200 mg%  $SO_4^{2-}-S$ .

*Fig. 4.* Effet des quantités croissantes de cellulose sur la réduction du sulfate, le pH du sol et son alcalinité titrable.

*Fig. 5.* Effet des quantités croissantes sur l'activité désulfuricante des cultures de *D. desulfuricans*.

## Изучение экологических факторов, влияющих на биологическое образование соды в почве

Е. ТИМАР и Т. ПАТКАИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии А. Н. Венгрии, Будапешт

### Резюме

Изучалось влияние различных количеств целлюлозы и сернокислого натрия на биологические десульфурикационные процессы в образце из поверхностного слоя солончаковой лугово-болотной почвы в модельном опыте в анаэробных условиях. На основании изменения образования  $H_2S$ ,  $CO_2$  и pH среды образца получили следующие результаты:

1. Влияние возрастающих количеств сернокислого натрия изучали в пределах от 1 до 1000 мг. %  $S-SO_4^{2-}$ . В случае концентраций, соответствующих содержанию сернокислого натрия в почвах Венгрии, абсолютное количество восстановленной серы, pH и щелочность от соды возрасли приблизительно линейно.

Из добавленных к почве сульфатов  $S-SO_4^{2-}$  квантитативно образовалось только 15—20 мг. % сульфидов. Абсолютное количество восстановленной серы можно увеличить повышением концентрации сульфатов, однако коэффициент полезного действия процесса снижается. Это явление наблюдалось и в синтетической питательной среде с чистыми культурами штамма *Desulfovibrio desulfuricans* Hildenborough.

2. Влияние возрастающих количеств целлюлозы (фильтровальная бумага ватман-1) изучали в пределах 4,4—880 мг. % содержания углерода и в присутствии 20—200 мг. в виде  $Na_2SO_4$ . Применяли три вида контроля: 1. Стерильная почва. 2. Почва + целлюлоза. 3. Почва +  $S-SO_4^{2-}$ . В тех образцах, где происходили процессы восстановления сульфатов, продуцирование  $CO_2$  в почве возрасло. Предполагаем, что в этом процессе играла роль низкая величина  $E_h$ , получившаяся в результате возникновения  $H_2S$ , которая благоприятно влияет на деятельность анаэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

В образцах, содержащих 20 мг. %  $S-SO_4^{2-}$  приблизительно полное количество сульфата переобразовалось, за исключением варианта с наименьшим количеством органического вещества, в котором восстановление сульфатов практически не произошло.

При содержании 200 мг. %  $S-SO_4^{2-}$  с повышением количества органического вещества продуцирование  $H_2S$  повысилось. Аналогично изменялась pH и титруемая щелочность, измеренные в конце опыта. Добавляемые к почве сульфаты (200 мг. % S) полностью не восстановились и в этом опыте, в случае соотношения углерода, целлюлозы и серы сульфата равное 4:1 восстанавливалось до сульфатов 75 % от внесенной серы.

Рис. 1. А) Влияние возрастающих количеств  $Na_2SO_4$  на сульфатредукцию. В) Количество  $H_2S$  образовавшееся в результате процессов редукции в % от сульфата, внесенного в почву.

Рис. 2. Влияние возрастающих количеств  $Na_2SO_4$  на сульфатредуцирующую активность. а)  $H_2S-S$  в мг. б) Количество восстановленной серы в % от  $S-SO_4^{2-}$ .

Рис. 3. Влияние различных вариантов на образование  $CO_2$  в почве. А) стерильная почва; В) почва + 0,5% целлюлоза; С) почва + 0,1% целлюлоза + 20 мг %  $S-SO_4^{2-}$ ; Д) почва + 0,5% целлюлоза + 200 мг%  $S-SO_4^{2-}$ .

Рис. 4. Влияние возрастающих количеств целлюлозы на сульфатредуцирующие процессы, pH и титруемую щелочность почвы.

Рис. 5. Влияние возрастающих количеств молочной кислоты на десульфурикационную активность колонии *Desulfovibrio desulfuricans*.