

A mutrágyázás és elemi kén adagolás hatása a talaj kémhatására és felvehető SO_4^{2-} -tartalmára

KALOCSAI RENÁTÓ, FÖLDES TAMÁS, SCHMIDT REZSO és SZAKÁL PÁL

Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Mosonmagyaróvár

A kén mind a növényi, mind az állati szervezet számára fontos tápelem. A kén tartalmú aminosavak építőeleme, a peptidek, fehérjék és lipidek alkotórésze. Esszenciális tápelem, mely közvetlenül, vagy közvetve számos növényi és állati életfunkcióban szerepet játszik (BUZÁS, 1983; JANSSON, 1994; ZHAO et al., 1995; TÖLGYESI, 1990).

A kén visszapótlására a növénytrágyázási gyakorlat mindeddig viszonylag kisebb figyelmet fordított. Tette ezt annak ellenére, hogy a növények számára rendelkezésre álló kén mennyisége számos mezőgazdasági területen csökken. A tendencia okai között első helyen a „high analysis” mutrágyák használata (BOHN et al., 1985; TIWARI et al., 1995), valamint a csökkenő antropogén kén kibocsátás említhető meg (GIBBS, 1991; RADALIEU, 1995; ZHAO et al., 1995; BLAKE-KALFF et al., 1998; REYNOLDS et al., 1999; KöM KEVF, 2000; VARGA, 2001).

Ugyancsak a kéntrágyázás szükségességét erősíti az olyan nagyobb termőképességű, kedvezőbb kvalitatív mutatókkal rendelkező növényfajták, hibridek termesztésbe vonása, melyek makroelemekkel (így a kénnel) szemben támasztott igényei is nagyobbak (HENSIER & NINPHINUS, 1985; LOCH & NOSTICZIUS, 1992; GYORI & MARS, 2001), valamint az emelkedett N-, P- és K-ellátás is, amely természetesen növényeink termésszintjének növelése mellett azok S-tartalmának emelkedéséhez is vezet (LÁSZTITY, 1991; LÁSZTITY & CSATHÓ, 1995).

Fent részletezett összefüggéseknél fogva az okszerűen alkalmazott kéntrágyázás Európa számos területén egyre kifejezettebb növénytrágyázási jelentőséggel bír és mindennapi gyakorlattá válik (SCHNUG & PISSAREK, 1984; SCHNUG, 1988; WITHERS et al., 1997; HANEKLAUS & SCHNUG, 1992; SCHNUG et al., 1993; HAGLUND & HANSEN, 2000; HAGEL, 2000).

A közvetlen növénytrágyázási vonatkozásokon túl a kéntrágyázás letéteményese lehet a bázikus talajok (és szikesek) javításának (GROUDEVA et al., 1984;

Postai cím: KALOCSAI RENÁTÓ, Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Növénytermesztési Intézet, Földműveléstudományi Tanszék, 9200 Mosonmagyaróvár, Vár u. 2. *E-mail:* krenato@mtk.nyme.hu

SLATON et al., 1997, 1998a,b) és alapját képezheti egyes nehézfém-szennyezett talajok (bio)remediációjának is (SOUTHARM & BEVERIDGE, 1992; TICHY et al., 1997; MAINI et al., 2000).

A növények kénellátásában meghatározó szerepet játszik a talajok szerves kénformáinak mineralizációja, valamint a különböző redukáltsági fokú kénvegyületek mikrobiológiai oxidációja. Ezen folyamatok nyomon követése a talajban meglehetősen bonyolult, mivel számos tényező befolyása alatt állnak, amelyek közül a legfontosabbak: a talaj mikrobaközössége (KELLY, 1968, 1972, 1978; TRUDINGER, 1969; ALEXANDER (1961) és SZABÓ (1989) alapján KALOCSAI et al., 2000), a szerves- és mutrágyázás, a pH (KITTAMS, 1963; LAWRENCE & GERMIDA, 1991), a CaCO_3 -tartalom (NEILSEN et al., 1993), a hőmérséklet (BLAIS et al., 1993; LI et al., 2000), a szervesanyag-tartalom (WAINWRIGHT et al., 1986), a talajnedvesség (LAN et al., 2000), a talajszerkezet (SURENDRA et al., 1997), a szemcseméret (SOLBERG et al., 1992), a levegőzöttség, valamint a növényborítottság (FRENEY, 1960).

Már KITTAMS (1963) figyelmeztet, hogy még az azonos textúrával és pH-val jellemezhető talajok is jelentősen különbözhetnek S-oxidáló képességükben. Ezen eltérést a mikroflóra-népeség eltérő összetételével magyarázza. Következtetéseit alátámasztják GROUDEVA és munkatársai (1984), valamint SHINDE és munkatársai (1996) eredményei is. NEWELL és WAINWRIGHT (1987) különböző területek talajainak vizsgálata során megállapítják, hogy az atmoszférikus ülepedés révén nagyobb kénterhelést kapott talajok vonatkozó mikrobaközösségeinek egyedszáma nagyobb.

SHOLEH és munkatársai (1997) laboratóriumi vizsgálatok alapján felhívják a figyelmet, hogy a különböző tápelemek, kiemelten a foszfor kedvezően befolyásolja egyes *Thiobacillus* fajok szaporodását, ezáltal az elemi kén oxidációját. Megállapításait alátámasztják LI és munkatársai (2000) talajérleléses, valamint JEDLOWSKA és NOSKOVIC (1999) oszi búzával végzett 3 éves tartamkísérleteinek eredményei is. LEFROY és munkatársai (1997) szántóföldi kísérleteik alapján a foszfornak az elemi kén oxidációjára, valamint a tesztnövény (kukorica) gyökérnövekedésére kifejtett egyértelmű pozitív hatásáról számolnak be. A szerzőkolléktíva következő cikkében (SHOLEH et al., 1997) kiegészíti az előzőeket: 6 hét után az adagolt elemi S legnagyobb hányadának oxidációja az összes tápelem jelenlétében volt a legnagyobb.

Hazai talajaink kénellátottságával SZÁNTÓ (1984) mellett átfogóan csak JANSSON (1995) foglalkozott. Hazai termoterületekről az 1970-es évben 144 búza-, valamint 106 kukoricaállományból gyűjtött növény- és talajminták vizsgálati eredményei alapján megállapítja, hogy a vizsgált talajminták kén tartalma – részben az általánosan elterjedt *superfoszfát* alkalmazásának köszönhetően – nemzetközi összehasonlításban is előkelő helyet foglal el. Az elmúlt 30 évben azonban az ország talajainak kénállapotára vonatkozó felmérések nem történtek. Az egyes területek kénoxidáló képességéről (vonatkozó mikrobapopulációinak meghatározásáról, annak aktivitásáról) hazai irodalmi adatok nem állnak ren-

delkezésre, holott a talajok felvehető kénmennyiségének csökkenése (csökkenő antropogén kén kibocsátás, mutrágya-felhasználásunk csökkenése, illetve átalakulása), ezáltal termesztett növényeink kénellátottságának esetleges romlása alapján a probléma aktualitása vitathatatlan.

Anyag és módszer

Az elemi kén talajbeli oxidációjának, valamint a mutrágyázásnak az elemi kén oxidációjára kifejtett hatásának vizsgálatára két talajérleléses tenyészedény-kísérletet állítottunk be (egyenként 5 kezeléssel és 3 ismétléssel) a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Növénytermesztési Intézetének Földmuveléstani Tanszékén, Mosonmagyaróváron.

A kísérlet alapjául szolgáló meszes Duna öntéstalajt a komáromi székhelyű SOLUM Rt B/14. számú táblájának felső 15 cm-es rétegéből vettük 1999 októberében, az alapmuvelést megelőzően. A területről származó részmintákat egyenlítettük, gondosan összekevertük, majd az Intézet laboratóriumában három párhuzamos méréssel analizáltuk, az eredményeket átlagoltuk. A kísérlet talajának főbb jellemzői: pH(H₂O): 7,92; pH(KCl) 7,39; K_A: 37,2; szén-savas mésztartalom: 4,4 %; humusz: 2,5 %; szulfáttartalom: 40,43 mg kg⁻¹; AL-oldható P₂O₅, K₂O és Na: 176,8, 92,9 és 13,1 mg kg⁻¹; KCl-oldható Mg: 65,3 mg kg⁻¹; EDTA-oldható Zn-, Cu-, Mn- és Fe-tartalom: 1,2, 1,4, 53,6 és 24,3 mg kg⁻¹.

A továbbiakban a közepes N-, igen jó P-, igen gyenge K- és gyenge Zn-ellátottságú talajt két egyenlő részre osztottuk és a kereskedelemben is kapható 3 dl-es PVC edényekbe töltöttük tenyészedényenként 300 cm³ mennyiségben. Az egyik rész (A) NPK-mutrágyázásban nem részesült, míg a másikat (B) a vonatkozó talajvizsgálati eredmények, valamint a MÉM NAK mutrágyázási irányelvei alapján az oszi búza alá számított N-, P-, K-mutrágya adaggal kezeltük (BUZÁS et al., 1979). Az így módon talajba juttatott mutrágyahatóanyag-mennyiség megfelelt 191 kg ha⁻¹ nitrogénnek, 80 kg ha⁻¹ P₂O₅-nek, valamint 75 kg ha⁻¹ K₂O-nak. Az egyes hatóanyagok a tenyészedényekbe NH₄NO₃, a bázikus talajokon kevésbé hatékony, de kén nem tartalmazó hyperfoszfát, valamint KCl formában, a kereskedelemben kapható 300 cm³-es PVC edények felülete alapján számított arányban kerültek bemérésre 38,3; 16,07; valamint 15,072 mg hatóanyag/tenyészedény mennyiségben. A vizsgálatok során elemi kéntrágyaként a kereskedelemben is kapható ventilált kénport alkalmaztuk öt dózisban: 0,1 g (S₁), 1,0 g (S₂); 2,5 g (S₃); 5,0 g (S₄) és 10,0 g (S₅), mely 50, 500, 1250, 2500 és 5000 kg ha⁻¹ hatóanyag-mennyiségnek felelt meg.

A 2000. február 24-én indított kísérlet alatt a talajokat szántóföldi vízkapacitáson, napi vízpótlás mellett inkubáltuk (KITTAMS, 1963; JANZEN & BETTANY, 1987; NEWELL & WAINWRIGHT, 1987; SHUKLA & SINGH, 1992; LAN et al., 2000 szerint) A hőmérsékletet VARGA-HASZONITS és munkatársai (2000) ala p-

ján $22,8 \pm 0,5$ °C értéken tartottuk, mely gyakorlatilag a hazai szántóterületeink felső 10 cm-es rétegében mérhető maximális hőmérsékletnek felel meg.

A 84 napos inkubációs idő elteltével meghatároztuk a talajok pH(H₂O), pH (KCl) értékeit, valamint fotometriás módszerrel azok vízoldható (felvehető) SO₄²⁻ koncentrációit (BUZÁS, 1988 alapján).

Az egyes kezelések során kapott eredményeket és az azok közötti összefüggéseket variancia-, valamint regresszióanalízis (SVÁB, 1981) segítségével értékeltük.

Eredmények

A kezelések hatása a talaj pH(H₂O) értékeire

Az elemi kén adagok hatását vizsgálva az aktuális pH(H₂O) értékeire a műtrágyázatlan sorozatnál (1. táblázat) az egyes kezelések között szignifikáns különbséget nem találtunk. A statisztikailag nem igazolható összefüggés ellenére ($F = 0,74$) a növekvő kénadagok hatására bekövetkező pH-csökkenés tendenciája az adatok alapján azonban nyomon követhető.

A műtrágyázott sorozat pH(H₂O) értékeinek összehasonlítása során az egyes kezelések között 0,1 %-os szignifikancia szinten érvényesülő különbségek adódtak (1 táblázat).

A növekvő kénadagok hatására bekövetkező aktuális pH-csökkenés a vizsgálati eredmények alapján 0,1 %-os szignifikancia szinten volt igazolható ($F = 82,42$).

A két sorozat átlageredményeinek összehasonlítása alapján a csoportátlagok közötti 0,1 %-on szignifikáns különbség ($F = 211,7$) a műtrágyázásnak az elemi kén talajbeli oxidációjára kifejtett pozitív hatását mutatja, alátámasztva LI és munkatársai (2000), JEDLOWSKA és NOSKOVIC (1999), LEFROY és munkatársai (1997), valamint SHOLEH és munkatársai (1997) kutatási eredményeit.

Az emelkedő alkalmazott kénmennyiségekkel a műtrágyázatlan talajok pH(H₂O) értékei az $y = -0,0114x^2 + 0,0466x + 7,574$, az NPK-műtrágyázott talajok pH(H₂O) értéke az $y = -0,0693x^2 + 0,1207x + 7,494$ egyenlettel leírható függvény mentén csökkent. Ez utóbbi összefüggés 1,0 %-on szignifikáns ($P < 1,0$).

Összegezve a kísérleti eredményeket megállapíthatjuk, hogy a talajok pH(H₂O) értékei az elemi kén növekvő dózisainak hatására minden esetben csökkentek a kezeletlen kontroll értékeihez képest.

Az NPK-kezelés hatására a kénadagolás során bekövetkező pH(H₂O)-csökkenés az egyes kezelések között 0,1 %-os szinten szignifikáns különbséget adott ($F = 60,49$).

1. táblázat

Az NPK-mutrágyázás és az elemi kén adagolás hatása a talajok pH(H₂O) és pH(KCl) változására meszes Duna öntéstalajjal beállított tenyészedény-kísérletben 89 napos inkubálás után

(1) S-kezelés	(2) Mutrágyázatlan talaj		(3) NPK-kezelt talaj	
	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)
	átlagértékei		átlagértékei	
a) kontroll	7,75	7,37	7,63	7,35
0,1 g S	7,60	7,29	7,53	7,39
1,0 g S	7,65	7,31	7,49	7,31
2,5 g S	7,58	7,24	7,23	6,90
5,0 g S	7,59	7,32	6,84	6,60
10,0 g S	7,52	7,17	6,38	6,18
b) csoportátlag	7,62	7,28	7,18	6,95

Megjegyzés: A pH(H₂O) átlagértékek esetén bármely két kezelés között az SzD_{5%} = 0,16; a csoportátlagok között SzD_{5%} = 0,07. A pH(KCl) átlagértékek esetén bármely két kezelés között az SzD_{5%} = 0,14; a csoportátlagok között SzD_{5%} = 0,06

A kezelések hatása a talaj pH(KCl) értékeire

A mutrágyázatlan sorozatnál (1. táblázat) a talaj pH(KCl) értékeinek alakulását tekintve sem találtunk szignifikáns különbséget az egyes kezelések között ($F = 1,48$), míg az NPK-mutrágyázott sorozat pH(KCl) értékeinek összehasonlítása során az egyes kezelések között 0,1 %-os szignifikancia szinten igazolható különbségek adódtak ($F = 106,52$).

A mutrágyázatlan, valamint az NPK-mutrágyázott sorozat pH(KCl) átlageredményeinek összehasonlítása 0,1 %-os szignifikancia szinten igazolható különbségeket adott ($F = 162,02$).

A növekvő kénadagok hatására a mutrágyázatlan sorozat pH(KCl) értékei az $y = -0,0,136x^2 + 0,0584x + 7,24$ egyenlettel, az NPK-mutrágyázott sorozat pH(KCl) értékei az $y = -0,0407x^2 - 0,0687x + 7,53$ egyenlettel leírható függvény mentén csökkentek. Ez utóbbinál az illeszkedés szorossága 1,0 %-os tévedési valószínűséggel szignifikáns ($P < 1,0$).

Az elvégzett vizsgálatok alapján a kísérletbe vont talajok pH(KCl) értékei a kéntrágyázás növekvő adagjainak hatására csökkentek és a legalacsonyabb érték minden esetben a legnagyobb (10 g) kénadag esetén volt mérhető.

A kezelések hatása a talaj vízdoldható SO₄²⁻-tartalmára

A talajok felvehető (vízdoldható) szulfátion-tartalma a 84 napos érlelési periódus során mind a mutrágyázatlan, mind pedig a mutrágyázott sorozatnál meghaladta a kezeletlen kontroll értékeit.

A kísérlet során a növekvő elemi kén adagok a kén oxidációjának következtében 0,1 %-os szignifikancia szinten igazolható szulfátion-koncentráció növekedést eredményeztek mind a műtrágyázatlan, mind pedig az NPK-műtrágyázott sorozatnál ($F = 47,29$; $F = 52,48$) (2. táblázat).

2. táblázat

Az NPK-műtrágyázás és az elemi kén adagolás hatása a talajok SO_4^{2-} -koncentráció változására meszes Duna öntéstalajjal beállított tenyészedény-kísérletben 89 napos inkubálás után (mg kg^{-1})

(1) S-kezelés	(2)	(3)
	Műtrágyázatlan talaj	NPK-kezelt talaj
	SO_4^{2-} átlagértékei (mg kg^{-1})	
a) kontroll	58,00	62,67
0,1 g S	254,67	202,67
1,0 g S	988,33	986,67
2,5 g S	978,33	725,0
5,0 g S	1038,33	853,33
10,0 g S	996,67	1114,33
b) csoportátlag	719,10	657,44

Megjegyzés: $\text{SzD}_{5\%} = 144,37$ bármely két kezelés között; $\text{SzD}_{5\%} = 64,57$ a két sorozat átlaga között

A műtrágyázott, valamint műtrágyázatlan kezeléseket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a növekvő kénadagok hatására a talajban mérhető szulfátion-koncentráció a kezelésekkal emelkedett ugyan, de az tendenciáját, valamint abszolút értékeit tekintve a két sorozatnál eltérően alakult.

A növekvő kénadagok hatására bekövetkező SO_4^{2-} -koncentráció változást a műtrágyázatlan sorozatnál az $y = -105x^2 + 782,96x - 349,25$ ($P < 10,0$), az NPK-műtrágyázott sorozat esetében az $y = -46,587x^2 + 450,14x - 58,594$ regressziós egyenlet írja le.

A statisztikai értékelés alapján 5 %-os szignifikancia szinten volt bizonyítható, hogy az NPK-kezelések esetében a talaj felvehető szulfátion-tartalma a műtrágyázatlanokéhoz képest alacsonyabb ($F = 5,93$).

Mindkét sorozat esetén a 0,1 g S/tenyészedény kezelés eredményezte a legalacsonyabb koncentrációt. A maximális koncentrációkat tekintve azonban az egyes kezelések között eltérések voltak. Míg a műtrágyázatlan talajmintáknál az 5 g-os S-kezelés adta a maximális felvehető szulfátion-koncentrációt ($1038,33 \text{ mg kg}^{-1}$), addig a műtrágyázott sorozat esetében ez a 10 g-os S-kezelésnél volt mérhető ($1114,33 \text{ mg kg}^{-1}$). Ezen érték adta egyben a kísérlet során mért legmagasabb koncentrációt.

Következtetések, javaslatok

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a meszes talajon beállított kezelések során alkalmazott elemi kén növekedési dózisa mind a mutrágyázatlan, mind pedig az NPK-mutrágyázott sorozat esetében az adagolt kén oxidációjának erősödését eredményezték. Az összefüggés háttérében a mikrobiális kénoxidáció erősödése állhat, amit a mutrágyázás a folyamatban szerepet játszó mikrobaközösségek esetleges tápelemigényének kielégítésén túl (SHOLEH et al., 1997) a talaj lokális pH-értékeinek csökkentésével is segít (LAWRENCE & GERMIDA, 1991).

A mikrobiális kénoxidáció során keletkezett H_2SO_4 a talajban disszociál, a keletkező H^+ -ionok a talaj pH-t savas irányba tolják el.

A mutrágyázatlan, illetve az NPK-mutrágyázott sorozatok $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{pH}(\text{KCl})$ értékeit, valamint a kezelések során mért felvehető szulfátiókonzentrációit összevetve azonban ellentmondást figyelhetünk meg:

A drasztikus pH-csökkenés látszólag nem magyarázható az adagolt elemi kén mikrobiális oxidációjával, mivel a mért felvehető SO_4^{2-} -mennyiségek az NPK-mutrágyázott sorozat esetében a mutrágyázatlan kezeléseknél alacsonyabb értékeket adtak, a mutrágyázatlan kezelések pH-értékei között pedig szignifikáns különbséget kimutatni nem tudtunk. Ezzel szemben az NPK-mutrágyázott sorozat $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{pH}(\text{KCl})$ értékeinek csökkenése 0,1 %-os szignifikancia szinten jelentős és tendenciózus.

A fent részletezett összefüggésnek számos magyarázata lehet, melyek feltehetőleg szimultán jelentkeztek is a kísérlet során:

– A mikrobiális tevékenység során keletkezett SO_4^{2-} a talaj magas CaCO_3 -tartalmának köszönhetően, azzal reakcióba lépve alacsony oldékonyságú CaSO_4 -ot eredményezhetett.

– A mutrágyázással vélhetően megerősödött bakteriális tevékenység során keletkező szulfátionok a talaj pH-t erosen (2, 2,5 egységgel) savas irányba tolták el, minek következtében a talajok szulfátió-adszorpciója ugrásszerűen megnövekedett (ENSMINGER, 1954; KAMPRATH et al., 1956; ZHANG et al., 1996; PATIL et al., 1997). Ezáltal csökkenthetett, illetve változatlan szinten maradhatott a mérhető vízoldható SO_4^{2-} -tartalom a vizsgálati periódus során.

A mutrágyázott kezelések alacsonyabb pH-értékei azonban nem csupán biológiai, hanem részben kémiai okokkal is magyarázhatóak:

– A kijuttatott ammónium-nitrát az elemi kén oxidációja során keletkezett kénsavval vegyülve ammónium-szulfátot és salétomsavat alkotott, mely utóbbi a kénsavnál erősebb sav.

– A KCl-mutrágya kénsavval reakcióba lépve kálium-szulfátot és sósavat alkotott, mely utóbbi szintén erősebb sav, mint a kénsav.

Az összefüggések feltárásához mindenképpen további vizsgálatok elvégzése látszik szükségesnek.

A minták 1 N KCl módszerrel mért SO_4^{2-} , valamint gipsztartalmának meghatározása mellett mindenképpen indokolt a kénoxidációban szerepet vállaló heterotróf és autotróf mikroorganizmusok (KALOCSAI et al., 2000) abundanciájának mintákból történő meghatározása, az esetleges eltérések értékelése.

Összefoglalás

A szerzők laboratóriumi talajérleléses kísérletet állítottak be meszes Duna öntéstalajon különböző elemi kén dózisosok (0,1 g; 1,0 g; 2,5 g; 5,0 g; illetve 10 g/tenyészedény, azaz 50, 500, 1250, 2500 és 5000 kg ha⁻¹) talajbeli oxidációjának vizsgálata céljából mutrágyázatlan, illetve NPK-mutrágyázott körülmények között. A 84 napos inkubációs periódus elteltével a talajok pH(H₂O), pH(KCl) értékeit, valamint a talajokban mérhető, vízdoldható szulfátion-koncentrációt elemezték. Az eredményeket varianciaanalízis és regressziószámítás segítségével értékelték.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapították, hogy a mutrágyázatlan talajok különböző elemi kén adagok hatására kialakult pH-értékei szignifikáns különbséget nem mutattak, míg a mutrágyázott kezelések esetén az emelkedő kéndózisok hatására bekövetkező pH-csökkenés 0,1 %-os szignifikancia szinten általánosnak bizonyult.

A talajok felvehető szulfátion-koncentrációja vélhetően a kezelések, valamint a talajok mikrobiális tevékenységének hatására minden esetben nőtt. Az elemi kén adagok, valamint a talajok mért szulfátion-koncentrációinak 0,1 %-os szignifikancia szinten érvényesülő összefüggései azonban a talaj pH-értékeinek alakulásával bizonyítható kapcsolatot nem mutattak. A látszólagos ellentmondás háttérében számos biológiai, fizikai és kémiai tényező állhat, melyek meghatározása a kapott összefüggések tisztázása szempontjából további vizsgálatok szükségességét veti fel.

Kulcsszavak: kén, oxidáció, mutrágyázás, pH, szulfátion-koncentráció

Irodalom

- ALEXANDER, M., 1961. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons Inc. New York.
- BLAIS, J. F., TYAGI, R. D. & AUCLAIR, J. C., 1993. Bioleaching of metals from sewage sludge: effects of temperature. *Water Res. Oxf.* **27**. (1) 111–120.
- BLAKE-KALFF, M., ZHAO, J. F. & McGRATH, S. P., 1998. Sulfur nutrition and environmental quality. COST Action 829: Fundamental, Agronomical and Environmental Aspects of Sulfur Nutrition and Assimilation in Plants. Meeting of Working Group IV 'Sulfur nutrition environmental quality and pest tolerance' November 6-7, 1998, Pulawy, Poland.
- BOHN, H. L., McNEAL, B. L. & O'CONNOR, G. A., 1985. Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó – Gondolat Kiadó. Budapest.

- BUZÁS I., 1983. A növénytaplálás zsebkönyve. Mezogazdasági Kiadó. Budapest.
- BUZÁS I. (szerk.), 1988. A talajok fizikai és kémiai vizsgálati módszerei. Mg. Kiadó. Bp.
- BUZÁS I. et al. (szerk.), 1979. N-, P-, K-mutrágyázási irányelvek. In: Mutrágyázási irányelvek: az üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest
- ENSMINGER, L. E., 1954. Some factors affecting the adsorption of sulphate by Alabama soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **18**. 259–264.
- FRENEY, J. R., 1960. The oxidation of cysteine to sulfate in soil. *Austral. Biol. Sci.* **13**. 387–412.
- GIBBS, D., 1991. Forget the environment – The real battle’s about jobs, coal and politics as usual. Clear air legislation and flue gas desulphurisation in the U.S.A. In: *Acid Deposition. Origins, Impact and Abatement Strategies*. 12–128. Springer New York.
- GROUDEVA, V. I., GROUNDEV, S. N. & SZEGI, J., 1984. Prevention of soil alkalization by means of laboratory -bred chemoautotrophic bacteria. In: *Soil Biol. and Conservation of the Biosphere*. **2**. 847–854. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- GYORI Z. & MARS É., 2001. A mutrágyázás hatása az oszi búza kén tartalmának változására a tenyészidőszak folyamán. II. Növénytermesztési Tudományos Nap „Integrációs feladatok a hazai növénytermesztésben” MTA Növénytermesztési Bizottság. Budapest
- HAGEL, I., 2000. Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen schwefelmangelgefährdeter standorte des Ökologischen Landbaus. *Landbauforschung Völkenrode*. **220**. 1–89.
- HAGLUND, S. & HANSEN, S., 2000. The concentration level of sulfur in ley in organic agriculture. In: *Proc. COST Action 829: Meeting of Working Groups I. and III. Sulfur and Crop Quality: Molecular and Agronomical Strategies for Crop Improvement*. Napoli, Italy, January 8–10, 2000.
- HANEKLAUS, S. & SCHNUG, E., 1992. Baking quality and sulphur content of wheat II: Evaluation of the relative importance of genetics and environment including sulphur fertilization. *Sulphur in Agric.* **16**. 889–892.
- HENSIER, R. F. & NINPHINUS, N., 1985. Sulphur Emissions: A Soil Balance Perspective. An educational series of the Cooperative Extension Service and the College of Natural Resources. University of Wisconsin, Stevens Point.
- JANSSON, H., 1994. Sulphur status of soils – a global study. *Norwegian J. Agric. Sci. Suppl.* **15**. 173–214.
- JANSSON, H., 1995. Status of sulphur in soils and plants of thirty countries. In: *World Soil Resources Reports*. 426–498. FAO. Rome.
- JANZEN, H. H. & BETTANY, J. R., 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. *Soil Sci.* **144**. (2) 81–89.
- JEDLOVSKA, L. & NĚSKOVIC, J., 1999. The dynamics of changes in chosen fractions of sulphur in the soil. *A. Fytotechnika et Zoologica*. **2**. (2) 33–36.
- KALOCSAI R. et al., 2000. A kén – a környezetszennyező esszenciális makroelem. *Acta Agronomica Óváriensis*. **42**. (2) 261–286.
- KAMPRATH, E. J., NELSON, W. L. & FITTS, J. W., 1956. The effect of pH, sulphate, and phosphate concentrations on the adsorption of sulphate by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **20**. 463–466.
- KELLY, D. P., 1968. Biochemistry of oxidation of inorganic sulphur compounds by microorganisms. *Aust. J. Sci.* **31**. 165–173.
- KELLY, D. P., 1972. Transformations of sulphur and its compounds in soils. In: *Symposium international sur le Soufre en Agriculture*. *Ann. Agron. Num. Hors. Série*. 217–232.
- KELLY, D. P., 1978. Bioenergetics of chemolithotrophic bacteria. In: *Companion to Microbiology*. (Eds.: BULL, A. T. & MEADOW, P. M.) 363–386. Logman. London.

- KITTAMS, H. A., 1963. The use of sulfur increasing the availability of phosphorus in rock phosphate. Ph.D. Thesis. University of Wisconsin.
- KÖM Környezeti Elemek Védelmének Foosztálya, 2000. A levegő éró terhelések. <http://www.gridbp.ktm.hu/grid3ver/hatas/levego/2leghat.htm>
- LAN, Y. Q. et al., 2000. Pyrite oxidation under different conditions. Journal of Nanjing Agric. Univ. **23**, (1) 81–84.
- LAWRENCE, J. R. & GERMIDA, J. J., 1991. Enumeration of sulfur-oxidizing populations in Saskatchewan agricultural soils. Can. J. Soil Sci. **71**, 127–136.
- LÁSZTITY B., 1991. A NPK tápanyagellátás hatása az oszi búza kén tartalmának és felhalmozásának dinamikájára. Agrokémia és Talajtan. **40**, 131–139.
- LÁSZTITY B. & CSATHÓ P., 1995. NPK műtrágyázás vizsgálata tartamkísérletben mezőföldi csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **44**, 47–60.
- LEFROY, R. D. B., SHOLEH, R. & BLAIR, G., 1997. Influence of sulfur and phosphorus placement, and sulfur particle size, on elemental sulfur oxidation and the growth response of maize (*Zea mays*). Austr. J. Agric. Res. **48**, 485–495.
- LI, S. H. et al., 2000. Oxidation of elemental sulfur in selected soils of China. Pedosphere. **10**, 69–76.
- LOCH J. & NOSTICZIUS Á., 1992. Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MAINI, G. et al., 2000. An integrated method incorporating sulfur-oxidizing bacteria and electrokinetics to enhance removal of copper from contaminated soil. Env. Sci. and Techn. **34**, 1081–1087.
- NEILSEN, D. et al., 1993. Oxidation of elemental sulphur and acidulation of calcareous orchard soils in southern British Columbia. Can. J. Soil Sci. **73**, 103–114.
- NEWELL, W. & WAINWRIGHT, M., 1987. Influence of soil moisture on sulphur oxidation in brown earth soils. Biol. and Fert. of Soils. **5**, (3) 209–214.
- PATIL, S. G., VEERAMALLAPPA, P. & HEBBARA, M., 1997. Sulphate retention as influenced by pH and soil constituents in some major soil groups of Karnataka. J. Ind. Soc. Soil Sci. **45**, 48–53.
- RADALIEU, D., 1995. The Air Pollution Problem. Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology. Lewis Publishers. New York.
- REYNOLDS, B. et al., 1999. Acid deposition in Wales: The results of the 1995 Welsh acid waters survey. Environmental Pollution. **105**, (2) 251–266.
- SCHNUG, E., 1988. Quantitative und qualitative Aspekte der Diagnose und Therapie der Schwefelversorgung von Raps (*Brassica napus* L.) unter besonderen Berücksichtigung glukosinolat armer Sorten. Habilitationsschrift, Agrarwiss. Fak. Kiel
- SCHNUG, E. & PISSAREK, H. P., 1984. Kalium und Schwefel, Minimumfaktoren des schleswig-holsteinischen Rapsanbaus. Kali-Briefe (Büntehof) **16**, 77–84.
- SCHNUG, E., HANEKLAUS, S. & MURPHY, D., 1993. Impact of sulphur supply on the baking quality of wheat. Aspects of Appl. Biol. **36**, Cereal Quality III. 337–346.
- SHINDE, D. B., PATIL, P. L. & KHADE, K. K., 1996. A study on sulphur biofertilization of greengram for yield and quality. J. Maharashtra Agric. Univ. **21**, (3) 365–367.
- SHOLEH, E., LEFROY, R. D. B. & BLAIR, G. J., 1997. Effects of nutrients and elemental sulfur particle size on elemental sulfur oxidation and the growth of *Thiobacillus thiooxidans*. Austr. J. Agric. Res. **48**, 497–501.
- SHUKLA, A. R. & SINGH, R. S., 1992. Oxidation of sulphur in pyrites in relation to soil and water regime. J. Ind. Soc. Soil Sci. **40**, 848–850.
- SLATON, N. A. et al., 1997. Amendment of alkaline soils with elemental sulfur. In: Research Series. Arkansas Agric. Exp. Stat. No. 456. 130–136.

- SLATON, N. A. et al., 1998a. Field evaluation of an elemental sulfur product on rice growth. In: Research Series. Arkansas Agric. Exp. Stat. No. 460. 322–325.
- SLATON, N. A. et al., 1998b. Influence of two elemental sulfur products applied to an alkaline silt loam on rice growth. In: Research Series. Arkansas Agric. Exp. Stat. No. 460. 326–329.
- SOLBERG, E. D. et al., (Eds.) 1992. Factors Affecting the Effective Use of Elemental Sulphur Fertilizers in Western Canada. Proc. Intern. Symp. on the Role of Sulphur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition. The Sulphur Institute. Washington, USA.
- SOUTHARM, G. & BEVERIDGE, T. J., 1992. Enumeration of Thiobacilli within pH-neutral and acidic mine tailings and their role in the development of secondary mineral soil. Appl. Env. Microbiol. **58**. 1904–1912.
- SURENDRA-S. SINGH, K. P., SARKAR, A. K. & SINGH, S., 1997. Oxidation of elemental sulphur and pyrites in acid sedimentary soils. J. Res. Birsa Agricult. Univ. **9**. (2) 197–199.
- SVÁB J., 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezogazdasági Kiadó. Budapest
- SZABÓ I. M., 1989. A bioszféra mikrobiológiája. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- SZÁNTÓ, A., 1984. Recent fertilizer trends in Hungary. In: Proc. 9th CIEC World Fertilizer Congress, Budapest. Vol. 1. 65–68. Goelte Druck, Goettingen.
- TICHY, R. et al., 1997. Use of elemental sulphur to enhance a cadmium solubilization and its vegetative removal from contaminated soil. Nutr. Cycl. in Agroecosys. **46**. 249–255.
- TIWARI, H. C., GANGWAR, M. S. & NAND-RAM, S., 1995. Effect of continuous cropping and fertilization on the total, organic, and available sulphur in a Hapludoll. Trop. Agric. **72**. (4) 274–276.
- TRUDINGER, P. A., 1969. Assimilatory and dissimilatory metabolism of inorganic sulphur compound by microorganism. Adv. Icro. Physiol. **3**. 111–158.
- TÖLGYESI GY., 1990. A kén helye és szerepe a táplálékláncban. Magyar Állatorvosok Lapja. **45**. 305–312.
- VARGA T., 2001. Az üzemi légszennyező anyag kibocsátások alakulása az észak-dunántúli régiókban. In: XV. Országos Környezetvédelmi Konferencia. Siófok, 2001. szeptember 11–13. 283–287.
- VARGA-HASZONITS Z. et al., 2000. Magyarország éghajlati erőforrásainak agroklimatológiai elemzése. Mosonmagyaróvár.
- WAINWRIGHT, N., NEWELL, W. & GRAYSTON, S. J., 1986. Effect of organic matter on sulphur oxidation in soil and influence of sulphur oxidation on soil nitrification. Plant. and Soil. **96**. 369–376.
- WITHERS, P. J. A. et al., 1997. Sulphur inputs for optimum yield of cereals. Aspects of Appl. Biol. **50**. 191–198.
- ZHANG, G. Y., BRUMMER, G. M. & ZHANG, X. N., 1996. Effect of perchlorate, nitrate, chloride and pH on sulfate adsorption by variable-charge soils. Geoderma. **73**. 217–229.
- ZHAO, F. J., MCGRATH, S. P. & CROSLAND, A. R., 1995. Changes in the status of British wheat grain in the last decade and its geographical distribution. <http://emily.soils.wisc.edu>

Érkezett: 2002. december 10.

Effect of Elemental Sulphur Application and Fertilization on the pH and SO_4^{2-} Content of the Soil in an Incubation Experiment

R. KALOCSAI, T. FÖLDES, R. SCHMIDT and P. SZAKÁL

Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of West Hungary,
Mosonmagyaróvár (Hungary)

Summary

A laboratory experiment was carried out on a calcareous Danube alluvial soil to study the oxidation of elemental sulphur in the soil under fertilized and unfertilized conditions. The sulphur doses used in the experiment were 0.1, 1.0, 2.5 and 5.0 g pot⁻¹. The main characteristics of the experimental soil were as follows: pH(H₂O): 7.92; pH(KCl) 7.39; K_A: 37.2; CaCO₃ content: 4.4%; humus: 2.5%; sulphate content: 40.43 mg kg⁻¹; AL-soluble P₂O₅, K₂O and Na: 176.8, 92.9 and 13.1 mg kg⁻¹; KCl-soluble Mg: 65.3 mg kg⁻¹; EDTA-soluble Zn, Cu, Mn and Fe content: 1.2, 1.4, 53.6 and 24.3 mg kg⁻¹. In the NPK-treated series the active agents were applied to the soil surface of 300 cm³ PVC pots in the form of NH₄NO₃, hyperphosphate, which is less effective on basic soils but does not contain sulphur, and KCl, at rates of 38.3, 16.07 and 15.072 mg pot⁻¹, respectively. After 84 days of incubation the pH(H₂O), pH(KCl) and water-soluble sulphate-ion concentration was measured. The results were evaluated by ANOVA and analysis of regression.

On the basis of the experiments it was established that under unfertilized conditions the pH values of the soil did not change significantly due to the application of elemental sulphur, while in the fertilized soil the increasing sulphur doses resulted in a significant (p 0.01) decrease in the pH.

The available sulphate content of the soil increased in every case due to the treatments and to the microbial activity of the soil. However, the correlation between the elemental sulphur doses and the available sulphate content (p 0.01) did not exhibit any significant connection with the pH changes in the soil. This apparent contradiction can be explained by numerous biological, physical and chemical factors that raise the necessity of further investigations.

Table 1. Effect of NPK fertilization and the application of elemental sulphur on the soil pH(H₂O) and pH(KCl) after 89 days of incubation in a pot experiment set up using Danube alluvial soil. (1) S treatment. a) Control; b) group average. (2) Mean values of pH(H₂O) and pH(KCl) in unfertilized soil. (3) Mean values of pH(H₂O) and pH(KCl) in NPK-treated soil. *Note:* For the pH(H₂O) means, LSD_{5%} = 0.16 between any two treatments and 0.07 between group averages. For the pH(KCl) means, LSD_{5%} = 0.14 between any two treatments and 0.06 between group averages.

Table 2. Effect of NPK fertilization and the application of elemental sulphur on the soil SO_4^{2-} concentration after 89 days of incubation in a pot experiment set up using Danube alluvial soil. (1) See Table 1. (2) Mean SO_4^{2-} values in unfertilized soil (3) in NPK-treated soil, mg kg⁻¹.