

SUMPOR – DOSADAŠNJA SAZNAJNA

Nataša Popović, Darinka Bogdanović, Petar Sekulić

Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

Izvod: Kroz istraživanja je utvrđeno da sumpor spada u grupu neophodnih konstitucionih elemenata u ishrani biljaka. Utvrđeno je da se njegov značaj može povezati sa asimilacijom azota i fosfora u ishrani biljaka. Smatra se da primena sumpora utiče na stvaranje aminokiselina u biljci, a da njegov višak može da utiče na smanjenje prinosa i poremećaj u sintezi belančevina. Ispitivanja sumpora su bila tokom godina usmerena na njegovu ulogu i kao zagađivača. Poslednjih godina istraživanja vezana za sumpor odnose se na ispitivanja kretanja sumpora u agroekosistemima, kao i inoviranje metoda za njegovo određivanje.

Cljučne reči: sumpor, zemljište, ishrana, atmosfera, oblici sumpora.

Uvod

Iako činjenice ukazuju na to da je sumpor kao biogeni element dokazan među prvima, pitanje zemljišnog sumpora i njegov uticaj na produktivnu sposobnost zemljišta je do sada nedovoljno istražen, kako u poljoprivrednoj nauci tako i u praksi. Iz više razloga sumporu je pridavana samo sekundarna uloga u ishrani. Procena mnogih istraživača je da sumpor iz industrijskih gasova i njegova vlažna i suva depozicija u zemljište su sasvim dovoljni za potrebe biljaka u ovom elementu u regionima industrijski razvijenih zemalja.

Permanentni nedostatak sumpora u zemljištima nekih svetskih regiona (Novog Zelanda, Australije, Indije, Kine itd.) doveo je do preispitivanja već postojećeg mišljenja i ubrzanog razvoja istraživanja sumpora. Veliki uticaj na obim istraživanja doprinele su i povećane mere ekološke aktivnosti (smanjenje emisije sumpornih gasova u atmosferu) i nedovoljna upotreba organskih i mineralnih đubriva koja sadrže sumpor kao primesu (amonijum i kalijum-sulfat, superfosfat itd.). Kao rezultat tih činjenica i razvoja tehnike, metode za istraživanje sumpora u zemljištu i biljci su postale pouzdane i dosta jednostavnije.

Istraživanjima je ustanovljeno da sumpor spada u grupu neophodnih konstitucionih elemenata u ishrani biljaka. Njegovo prisustvo u biljnom tkivu utvrdio je još u prošlom veku znameniti nemački hemičar Liebig. Kroz istraživanja došlo se do saznanja da se njegov značaj može povezati sa asimilacijom nekih makroelemenata neophodnih u ishrani biljaka kao što su azot i fosfor. U tom cilju su vršena ispitivanja sa unošenjem sumpornih đubriva (pirit, gips elementarni sumpor) i pokazalo se da su dovela do povećanja prinosa kako kod biljaka iz familije *Brassicaceae* (Tandon, 1995) tako i pšenice (Tiwari, 1995). S druge strane suvišak sumpora može da utiče na smanjenje biljnih prinosa (Bergmann, 1988). Smatra se da primena sumpora utiče na sastav aminokiselina (Lambert, 1986; Turner, Lambert, 1977), koje svojim sastavom utiču na ukupan sadržaj azota u biljci. Đubrenje sumporom u uslovima izraženog deficita

pozitivno utiče na povećanja sadržaja azota i belančevina (Schung, 1990), ali suvišak sulfata dovodi do zamene drugih hranljivih elemenata; između ostalih azota što dovodi do poremećaja u sintezi belančevina (Hogan et al., 1998). Sumpor, takođe, može da utiče na pristupačnost nekih makroelemenata usled smanjenja pH (npr. fosfor). Bez obzira na njegov značaj, istraživanja ove problematike kod nas su vrlo oskudna. Prvi podaci o sadržaju sumpora u našim zemljištima i njegovom uticaju na prinos biljaka potiču od 1965. godine (Ivović), gde se ukazuje na njegov nedostatak i negativan balans. Od tada se u našim zemljištima relativno malo ispitivao sadržaj sumpora, kao i uticaj na prinos i kvalitet biljaka.

Sumpor je vrlo reaktivan element i nalazi se u šest oksidacionih stanja u litosferi, hidrosferi i atmosferi. Unutar biosfere se nalazi u brojnim hemijskim jedinjenjima gde ima značajnu ulogu u biohemijskim procesima sa drugim elementima.

Većina ranijih istraživanja o sumporu su bila u vezi sa njegovim kretanjem između ekosistema, prvenstveno između zemljišta i atmosfere (Ivanov, 1983). Cilj takvih istraživanja je uglavnom bio usmeren na njegovu ulogu kao zagađivača (Wellburn, 1988). Međutim, poslednjih godina došlo je do preokreta u istraživanjima te su sada više vezana za kretanje sumpora u agroekosistemu i to usled saznanja o rasprostranjenom deficitu ovog elementa u zemljištima širom sveta (Beaton, Soder, 1986; Betany et al., 1983; Tisdale et al., 1986) i pronalaženja novih metoda za njegovo lakše određivanje, kako u zemljištu tako i u biljci (Dick, Tabatabai, 1979; Nieto, Frankenberg, 1985; Mc Quaker et al., 1979; Munter, Grande, 1980).

Sumpor u atmosferi

Sumpor sa azotom i ugljenikom sastavni je deo atmosfere. Međutim, za razliku od ugljenika i azota koncentracija sumpora u atmosferi je relativno mala 0,05 ppm-a. Većina sumpornih jedinjenja su isparljiva i dosta nestabilna i to pre svega: vodonik sulfid, ugljenik-disulfid, dimetil-sulfid, karabamid-sulfid, sumpordioksid i aerosoli sulfata (Noggle et al., 1986; Ryaboshapako, 1983; Trudinger, 1986). Za poljoprivredu najznačajniji oblik je sumpor dioksid i uglavnom je antropogenog porekla (Trudinger, 1986). Značaj atmosferskog sumpora je u mogućnosti njegovog dospevanja u zemljište odakle ga biljke usvajaju. Količine sumpora u obliku sulfata dospelog u zemljište iz atmosfere – vlažni depozit, (kroz sumpor dioksid rastvoren u padavinama) su u granicama od 1 do 168 kg S/ha/god (Olson, Rehem, 1986). U ruralnim regionima količine sumpora dospele depozitom su oko 10 kg S/ha/god (Olson, Rehem, 1986; Tabatabai, 1984). Dospevanje atmosferskog sumpora u zemljište se može odvijati i suvom depozicijom. Prilikom dospevanja u zemljište transformacija sumpordioksida se odvija preko sulfita u sulfate (Rasmuson et al., 1990). Osobine zemljišta koje utiču na adsorbciju atmosferskog sumpora su: pH, količina gline, količina vlage, kalacijum-karbonata, kapacitet izmene jona, količina organske materije, struktura zemljišta, kapacitet za adsorbciju sulfata (Cihacek, Bremner, 1988; Rasmuson et al., 1990; Ryaboshapko, 1983).

Biljke mogu biti važan „asimilator“ atmosferskog sumpora, naročito u rejonima sa visokim koncentracijama sumpordioksida u atmosferi (De Kok, 1990), tako da u slučajevima nedovoljne količine u zemljištu, biljke mogu

zadovoljiti svoje potrebe u sumporu i preko lista (Faller, 1970; Noggle et al., 1986). Međutim, utvrđeno je da visoke koncentracije sumpordioksida u vazduhu mogu delovati depresivno na rast biljaka, uprkos nedostatku u zemljištu (Clapperton, Reid, 1994; Murray et al., 1994).

Sumpor u zemljištu

Sumpor je vrlo rasprostranjen element u mrtvoj i živoj prirodi. U litosferi sumpora ima oko 0,06%, a u pedosferi 0,1–0,25%. U stenama i mineralima sumpor se nalazi u obliku sulfida i sulfata. Od ukupne rezerve sumpora u zemljištu 80–90% su organska jedinjenja, a 10–20% su mineralna jedinjenja sumpora. Biljnim i životinjskim ostacima u zemljište se unose različita jedinjenja sumpora (proteini, aminokiseline, glukozidi, alkaloidi). U obradivim zemljištima čak do 90% od ukupne količine sumpora su ova organska jedinjenja. Godišnje količine sumpora koje sa padavinama dospevaju u zemljište iznose 10–40kg S/ha, a u industrijskim regionima, gde sagorevaju velike količine uglja sa visokim udelom sumpora, te količine su i do 200kg S/ha. Sumpor dospeva u zemljište i difuzijom gasova (SO₂, SO₃, H₂S) kojima je atmosfera zasićena usled sagorevanja fosilnih goriva u energetici, industriji, saobraćaju.

Koncentracija sumpora u zemljištima najčešće se nalazi u opsegu od 50 do 1000 ppm-a sa najvećim vrednostima u slanim i zemljištima bogatim organskom materijom. Veći deo ukupnog sumpora se nalazi u organskim oblicima (obično više od 95 %), a znatno manji u neorganskim oblicima (Misra et al., 1990; Halstead, Rennie, 1977; Edmads et al., 1994). Neorganski oblici sumpora se nalaze u formi rastvorljivih i delimično rastvorljivih soli (npr. gips). Sulfati mogu biti adsorbovani na zemljišnim koloidima, u uslovima karakterističnim za kisela zemljišta. Procesu mineralizacije su istraživači poklonili najviše pažnje, međutim mnogi detalji o mineralizaciji sumpora su još uvek slabo razumljivi (Scott, 1985) ali se zna da je ona usko vezana sa radom mikroorganizama i dejstvom ekstracelularnih enzima. Na to utiču mnogobrojni faktori, kao što su zemljišna vlaga, temperatura (Chaudhry, Cornfield, 1967), pH zemljišta (Williams, 1967; Swift, 1983), energetski izvor ugljenika (Barrow, 1960) kao i dubina akumulativnog horizonta zemljišta (David et al., 1983). Postoji i nekoliko studija koje objašnjavaju da se mineralizacija sumpora iz žetvenih ostataka bitno razlikuje od drugih hranljivih elemenata. U mnogim slučajevima mineralizacija sumpora se druklje u brzoj pojavi sulfata kratko nakon unošenja žetvenih ostataka u zemljište (Roppel, 1991).

Biološka imobilizacija sulfata od strane mikroorganizama uvek je u konkurenciji sa biljkama (Maynard et al., 1985; McLaren et al., 1985). Količina imobilisanog sumpora varira i može iznositi 0–100% od prisutnog sulfata u zemljištu, što zavisi od mnogih faktora (Saggar et al., 1998). Do imobilizacije sulfata može doći pri unošenju u zemljište biljnih ostataka, usled širokog odnosa C:S (viši) od 200, dok proces imobilizacije prestaje u trenutku postizanja vrednosti C:S=50 (Tabatabai, 1991; Ghani et al., 1991). Lou i Warman (1992) su zaključili da prilikom unošenja neorganskog sumpora u zemljište dolazi do formiranja velike količine estra sulfata. Novoformirani estri su mnogo labilniji od onih već prisutnih u zemljištu jer su postojeći estri zaštićeni od enzima humusnim polimerima.

Izvor pristupačnog sumpora za biljke i mikroorganizme u zemljištu su adsorbovani sulfati (Fox, et al., 1964; Freney, Spencer, 1960, Barrow, 1967, Hasan et al., 1970). Adsorbicija sulfata se odvija u zemljištima bogatim u gline-nim mineralima posebno bogatim mineralom kaolinitom strukture 1:1 (Bohn et al., 1986; Courchesne, 1992; Parisha, 1993). Adsorbicija sulfata u zemljištu uslovljena je mnogim faktorima: stepenom rastvorljivosti, koncentracijom sulfata, pH, kapacitetom anijonske razmenjivosti, antagonizmom sa drugim anionima (naročito fosforom), prisustvom kalcijuma, vlagom (Bolan et al., 1986; Curtin, Syers, 1990).

Sulfati su dobro rastvorljivi i zbog male adsorbicije u zemljištu su podložni ispiranju. Količina ispiranog sumpora zavisi od količine padavina, koncentracije sulfata i fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta (Tabatabai, 1987). Generalno posmatrano, ispiranje sumpora je malo i ne prelazi količinu koju mogu da usvoje biljke i mikroorganizmi (Nguyn, Goh, 1992).

Prilikom razlaganja organske materije dolazi do stvaranja raznih redukovanih jedinjenja sumpora koja lako volatiziraju u atmosferu (Aneja, 1990). Taj proces je naročito izražen na prevlaženim zemljištima (Noggle et al., 1986), a u nekim slučajevima u manjoj meri se odvija i na aerisanim zemljištima. Aneja (1990) je ispitivanjem utvrdio da je emisija sumpora iz zemljišta iznosila u opsegu 0,1–3 kgS/ha/god. sa srednjom vrednošću od oko 0,2 kgS/ha/god.

Sumpor u biljci

Sumpor spada u grupu neophodnih, makrohranjivih i konstitucionih elemenata. Sumpor je esencijalan element za sve žive organizme, te njegov sadržaj u biljkama ima izvanredan značaj za zdravlje ljudi i životinja. Uloga sumpora u biljkama je višestruka. Ulazi u strukturu belančevina obrazujući disulfidne veze između polipeptidnih lanaca, u sastav aminokiselina cisteina, cistina i metionina, sastavni je deo enzima i koenzima, učestvuje u održavanju ravnoteže aniona i kationa, u oksido-redukcionim procesima u ćeliji i dr. Na biljkama se retko uočavaju simptomi nastali nedostatkom sumpora usled povećanog sadržaja sumpordioksida u atmosferi u industrijskim rejonima. U uslovima intenzivne biljne proizvodnje posebno kod biljaka koje usvajaju veće količine sumpora (familija Cruciferae), a pri nedovoljnoj upotrebi organskih i mineralnih đubriva koja sadrže sumpor, mogu se javiti znaci nedostatka ovog elementa. Znaci nedostatka sumpora javljaju se na mlađim listovima (zbog slabe pokretljivosti sumpora). Nedostatak sumpora usporava rastenje biljaka i listovi dobijaju žuto-zelenu boju. Hloroza se prvo javlja na mlađim listovima oko lisnih nerava. Kasnije hloroza obuhvata ceo list. Stablo je kraće i tanje i biljke su niže.

Sumpor je sastavni deo mnogih jedinjenja čija uloga u biljci nije u potpunosti razjašnjena gde spada veliki broj estara sulfata, polisaharida sulfata, sulfolipidi (Janzen, Ellart, 1988). Značaj sumpora u razviću biljke se ogleda u njegovoj znatnoj zastupljenosti u biljnim tkivima koji je sličan sadržaju fosfora (Edmads et al., 1994; Singh, Saha, 1995; Dhillon, Dev, 1980; Boswell, Gregg, 1988). Preko sadržaja sumpora u biljnom tkivu može se odrediti nivo obezbeđenosti biljaka u ovom elementu. Tako se u pšenici sadržaj sumpora u listu niži od 0,1% definiše kao vrlo nizak, od 0,1 do 0,15% nizak, 0,15–0,4% optimalan nivo, 0,4–0,8% visok, a preko 0,8% je vrlo visok – štetan nivo. Sadržaj sumpora u

zrnu žitarica je u granicama od 0,15 do 0,6 0% . Za razliku od drugih hraniva, biljke mogu da akumuliraju sumpor u količinama koje prevazilaze njihove potrebe. Povećano usvajanje sumpora od strane biljaka može imati za posledicu smanjenje prinosa, a što je uzrokovano poremećenim odnosom pH unutar citoplazme ćelija. Biljke koriste više energije za neutralisanje promena reakcije citoplazme, a manje za njen rast i razviće (Wellburn, 1988). Poremećaje u biljnom metabolizmu pod uticajem sumpora su ustanovili i drugi autori (Taubenhaus, Ezeikiel, 1951). Adams et al. (1990) su utvrdili da je višak sumpora u biljci, u nekim slučajevima, mnogo štetniji od viška azota. Veće koncentracije usvojenog sumpora u biljci se skladište u vidu mineralnih soli K, Ca i Mg (Lomejko, 1958) i raznim estrima sulfata (Mayland, Robbinson, 1994).

Višak sumpora kod biljaka oslobađa se preko lista u atmosferu u vidu vodonik sulfida i drugih gasovitih sumpornih jedinjenja (Ernst, 1990; Winner et al., 1981). Količina oslobođenog sumpora iz biljke preko lista može biti prilično velika (Haines et al., 1989). Emisija sumpora zavisi od biljne vrste i uslova okruženja. Najveću sposobnost ispuštanja sumpornih jedinjenja imaju biljke iz porodice Crucifereae i Liliaceae (Grundon, 1980 a; Kanda, Tsuruta, 1995) i to pri vrlo visokim koncentracijama akumuliranog sumpora u biljci (Schoenau, Bettany, 1989; Winnner et al., 1981). Faktori koji utiču na emisiju sumpora iz biljke su: temperatura, intenzitet svetlosti, starost biljke i biljne bolesti (Grundon, Asher, 1986; Trust, Fry, 1992; Wilson et al., 1978; Winner et al., 1981). Nivo emisije sumpora iz biljaka je u opsegu 0,1–3 kg/ha/god (Aneja, 1990, Grundon, 1980 b).

Zaključak

Na bazi sadržaja sumpora u zemljištu i biljci mogu se izvesti sledeći zaključci:

Sumpor je vrlo rasprostranjen element u mrtvoj i živoj prirodi. Od ukupne rezerve sumpora u zemljištu (od 01% do 02%) organska jedinjenja čine 80–90, a 10–20% su mineralna jedinjenja sumpora. Biljnim i životinjskim ostacima u zemljište unose se različita jedinjenja sumpora (proteini, aminokiseline, glukozidi itd.). U obradivom zemljištu čak do 90% od ukupne količine sumpora su ova organska jedinjenja. Godišnje količine sumpora koje sa padavinama dospevaju u zemljište iznose 10–40kg S/ha, a u industrijskim regionima te količine su i do 200kg S/ha. Osim padavinama, sumpor dospeva u zemljište difuzijom gasova (SO₂, SO₃, H₂S) usled sagorevanja fosilnih goriva u energetici, industriji, saobraćaju. Sumpor u zemljište dospeva primenom mineralnih đubriva, organskih đubriva i sredstava za zaštitu bilja na bazi sumpora.

Literatura

- Adams, C.M., Carpon, J.M., Hutchinson, T.C. (1990): Cristal occurrence and wax disruption on leaf surfaces of cabbage treated with simulated acid rain, *New Phytol.*, 114:147.
- Aneja, V.P. (1990): Natural sulfur emission into the atmosphere. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 40: 469-476.
- Barrow, N.J. (1958): Effect nitrogen and sulphur content of organic matter on the production of amonium and sulphate. *Nature lend.* 181.
- Barrow, N.J. (1960): A comparasion of the mineralizatio of nitrogen and of sulphur from decomposing organic materials. *Aust. J.Agric. Res.* 11:960.

- Barrow, N.J. (1967): Studies extracion and availability to plants of adsorbed + soluble sulphate. *Soil sci*; 104:242.
- Beaton, J.D., Soder, R.J. (1986): Plant response to sulfur in Western Canada. *Sulfur in agriculture. Agronomy Monograph No. 27* (ed. Tabatabai) pp.375-403.
- Bergman, W. (1988.): *Ernährungsstorungen bei Kulturpflanzen*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, p.762.
- Bettany, J.R., Janzen, H.H., Stewart, J.W.B. (1983): Sulphur deficienci in the prairie provinces of Canada In *Proceedings International Sulphur 82 Conference*, vol.2 (ed. A.I. More), pp.787-799. British Sulphur Corporation Ltd; London.
- Bohn, H.L., Barrow, N.J., Rajan, S.S.S., Parfitt, R.L. (1986): Reactions of inorganic sulfur in soils In *Sulfur in agriculture. Agronomy Monograph No.27*. (ed.M.A.Tabatabai), pp.233-249. ASA-CSSA-SSSA, Madison, W.I.
- Bolan, N.S., Scotter, D.R., Syers, J.K., Tillman, R.W. (1986): The effect of adsorption sulfate leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.*50: 1419-1424.
- Boswell, C.C., Gregg, P.E.H. (1998): Sulfur fertilizers for grazed pasture system. In *Sulfur in the Environment*. (ed. D.G. Maynard), pp.95-134. Marcel Dekker, INC., New York.
- Chaudhry, I.A., Corfield, A.H. (1967): Effect of temepreture on sulphate levels in aerobic and sulphide levels in anaerobic soil. *J.Sci.Food Agri.*18:82.
- Cihacek, L.J., Bremer, J.M. (1988): Capacity of solis for sorption of sulfur dioxide. *Common. Soil. Sci. Plant Anal.*21:1945-1964.
- Clapperton, M.J., Reid, D.M. (1994): Effect of sulphur dioxide on growth and flowering of SO₂-tolerant genotypes of *Phleum pratense*. *Environ. Pollut.*86:251-258.
- Courchesne, M.B. (1992): Relationships beeteen soil chemical properties and sulfate sorption kinetics in Podzolic soils from Quebec. *Can.J. Soil Sci.*72:467-480.
- Curtin, D., Syers, J.K. (1990): Extractibility and adsorbtion of sulfate in soils. *J. Soil Sci.* 41:305-312.
- David, M.B., Schindler, S.C., Mitchell, M.J., Strick, J.E. (1983): Importance of organic and inorganic sulfur to mineralization processes in forest soil. *Soil Biol. Bichem.*15:671.
- De Kok, L.J. (1990): Sulfur metabolism in plants exposed to atmospheric sulfur. In *Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Hight Plants*. (ed. H. Rennenberg, C. Brunold, L.J. De Kok and I. Stulen), pp.111-130. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Dhillon, N.S., Dev, G. (1980): Studies on Es-nutrition of soyabean (*Glycine max.*L.) from three sulphate sources. *J. India Soc. Soil Sci.*28:361-365.
- Dick, W.A., Tabatabai, M.A. (1979): Ion chromatographic determination of sulfat and nitrate in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*43:899-904
- Edmads, D.C., Sinclair, A.G., Watkinson, J.H., Ledgard, S.F, Ghani, A, Thorrold, B. S., Boswell, C. C., Brathwaite, A.C., Brown, M.W. (1994): Some recent developments in sulphur research in New Zealand agriculture. *Sulphur in agriculture Vol.18* p.3-8.
- Ernst, W.H.O. (1990): Ecological aspects of sulfur metabolism. In *Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants*. (ed. H. Rennenberg, C.C. Brunold, L.J. De Kok, I. Stulen), pp.131-144. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Faller, N. (1970): Effect of atmospheric SO₂ on plants. *Sulphur Institute Journal* 6:5-7.
- Fox, R.L., Olsen, R.A., Rhoades, H.F. (1964): Evolutin of the sulfur status of soils by plant and soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:243.
- Freney, J.R., Spencer, K. (1960): Soil sulphate changes in the presence and absence of growing plants. *Aust. J. agric. Res.* 11:339.
- Ghani, A., McLaren, R.G., Swift, R.S. (1991): Sulphur mineralization in some New Zealand soils, *Biol. Fert. Soils*, 11:58.
- Grundon, N.J. (1980a): Volatile losses of sulfur from intact plants. In *Sulfur in Australia* (ed. J.R. Freney, A.J. Nicolson), pp. 20-23. Australian Academy of science, Camberra.
- Grundon, N.J. (1980b): Uptake of atmosveric sulfur by plants growing in an urban environment. In *sulfur in Australia* (ed. J. R. Freney and A. J. Niolson), pp. 251-255. Australian Academu of science, Camberra.
- Grundon, N.J., Asher, C.J. (1986): Volatile losses of sulfur by intact alfalfa plants. *J. Plant Nutr.* 9:1519-1532.

- Halstead, R. L., Rennie, P.J. (1977): The effects of sulfur on soils in Canada. Sulfur and its Organic Derivatives in Canadian environment. Council, Bull. NRCC, 1505, Ottawa.
- Hasan, S.M., Fox, R.L., Boyd, C.C. (1970): Solubility and availability of sorbed sulfate in Hawaiian soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:897.
- Haynes, R.J., Williams, P.H. (1992): Accumulation of soil organic matter and the forms, mineralization potential and plant-availability of accumulated organic sulphur: Effect of pasture in provedment and intensive cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 24:209-217.
- Hogan, D.G., Renenberg, H., Fink, S. (1998): Role effect of sulfur in tree biology. Sulfur in the environment (ed. Mainard, G.D.). 6: p173-217.
- Ivanov, M.V. (1983): Major fluxes of the global biogeochemical cycle of sulphur. In *The Global Biogeochemical Sulphur Cycle*. Scientific Committee on the Problems of the Environment (Scope) No.19 (ed. M.V. Ivanov and J.R. Freney), pp.449-463, John Wiley & Sons, New York.
- Ivovic, P. (1965): Sumpor u zemljištima Kosova i Metohije. *Dok. Dis. Yug. Soc. of Soil Sci.* p.1-77.
- Janzen, H.H., Ellert, B.H. (1998): Sulfur dynamics in cultivated, temperate agroecosystems. In *Sulfur in the Environment*. (ed. D.G. Maynard), pp. 11-44. MarCEL. Dekker, Inc., New York.
- Kanda, H., Tsuruta, H. (1995): Emission of sulfur gases from various types of terrestrial higher plants. *Soil Sci. Plant nutr.* 41:321-328.
- Lambert, M.J. (1986): Sulphur and nitrogen nutrition and their interactive effects on dothistroma infection in *Pinus radiata*. *Can. J. For. Res.* 16:1055-1062.
- Lomejko, S. (1958): Mineralna ishrana biljaka. *Fizioloski osnovi ishrane bilja*; Veselin Masleša, Sarajevo 1958. p:88-159.
- Lou, G., Warman, P.R. (1992): Labile ester sulphate in organic matter extracted from podzolic soils. *Biol. Fertil. Soils* 14:267-271.
- Mayland, H.F., Stewart, J.W.B., Bettany, J.R. (1985): The effect of plants on soil sulfur transformations. *Soil Biol. Biochem.* 17:127-134.
- Mayland, H.F., Robbins, C.W. (1994): Sulfate uptake by salinity tolerant plant species. *Commun. Soil Sci. Plant anal.* 25:53-61.
- McLaren, R.G., Keer, J.I., Swift, R.S. (1985): Sulfur transformations in soils using sulfur-35 labelling. *Soil Biol. Biochem.* 17:73-79.
- McQuaker, N.R., Brown, D.F., Kluckner, P.D. (1979): Digestion of environmental materials for analysis by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Anal. Chem.* 51:1082-1084.
- Misra, U.K., Das, C.P., Mitra, G.N. (1990): Forms of sulphur in some soils of Orissa in relation to relation relevant soil properties. *J. India Soc. Soil Sci.* 38:61.
- Munter, R.C., Grande, R.A. (1980): Plant tissue and soil extract analysis by Acp-atomic emission spectrometry. *Developments in atomic plasma spectrochemical analysis*. (ed. R.M. Barnes) pp. 653-672. *Proceedings of International Winter Conference, 7-11 Januar 1980, San Juan, Puerto Rico*. Heyden London, England.
- Murray, F., Monk, R., Clarke, Quifu, M. (1994): Growth responses of N and S deficient white clover and burr medic to SO₂, NO and NO₂. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 50:113-121.
- Nguyen, M.L., Goh, K.M. (1992): Nutrient cycling and losses based on mass-balance model in grazed pastures receiving long-term superphosphate applications New Zealand.
- Nieto, K.F., Frankenberg, W.T. (1985): Single column ion chromatography: I. Analysis of inorganic anions in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:587-592.
- Noggle, M.C., Meagher, J.F., Jones, U.S. (1986): Sulfur in atmosphere and its effects on plant growth. In *Sulfur in Agriculture*. *Agronomy Monograph No. 27* (ed. M.A. Tabatabai). pp.251-278. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Olson, R.A., Rehms, G.W. (1986): Sulfur in precipitation and irrigation waters and its effects on soils and plants. In *Sulfur in Agriculture*. *Agronomy Monograph No. 27* (ed. M.A. Tabatabai). pp. 279-293. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.

- Pasrischa, N.S., Fox, R.L. (1993): Plant nutrient sulfur in the tropics and subtropics. *Adv Agron.* 50:209-269.
- Rasmuson, A., Gimmi, T., Fluher, H. (1990): Modeling reactive gas uptake, transport, and transformation in aggregated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1206-1213.
- Roppel, C.J. (1991): Plant available nitrogen and sulfur from canola residue. M.Sc. thesis, University of Saskatchewan.
- Ryaboshapko, A.G. (1983): The atmospheric sulphur cycle. In *The Global Biogeochemical Sulphur Cycle. Scientific Committee on the Problems of the Environment (Scope) No.19* (ed. M.V. Ivanov and J.R. Freney) pp.203-296. John Wiley & Sons, New York.
- Saggar, S., Hendley, M.J., Phimsarn, S. (1998): Dynamic of sulfur transformations in grazed pastures. In *Sulfur in the Environment*. (ed. D.G. Maynard), pp.45-94. Marcel Dekker, INC., New York.
- Schoenau, J.J., Bettany, J.R. (1989): 34 natural abundance variations in prairie and boreal forest soils. *J. Soil Sci.* 40:397-413.
- Schung, E. (1990): Sulfur nutrition and quality of vegetables. *Sulphur in Agriculture.* 14:3-7.
- Scott, N.M. (1985): Sulphur in soils and plant. *Soil organic Matter and Biological Activity Development in Plant and Soil Sciences* (ed. D. Vaughan and R.E. Malcom) pp.16:379. Martinus Nijhoff/ Dr W Junk Publishers.
- Singh, N.V., Saha, J.K. (1995): A review of the sulphur research activities of the ICAR-AICRP micro- and secondary nutrients project. *Sulphur in agriculture V.19.* p35-48.
- Swift, R. S. (1983): Mineralization and immobilization of sulphur in soils. *Proc. Sulphur in New Zealand Agriculture* (ed. P.E.H. Gregg and J.K. Syers) pp. 18-28. Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Tabatabai, M.A. (1984): Importance of sulphur in crop production. *Biogeochemistry* 1:45-62.
- Tabatabai, M.A. (1987): Physicochemical fate of sulfate in soils. *Int. J. Air. Poll. Contr. Hazardous waste management.* 37:34.
- Tabatabai, M.A., Chae, Y.M. (1991): Mineralization of sulfur in soils amended with organic wastes. *J. Envir. Qual.* 20:684-690.
- Tandon, H.L.S. (1995): Sulphur in Indian agriculture: update 1995 sulphur in agriculture. Vol. 19p. 3-8.
- Taubenhaus, J.J., Ezekiel (1931): Acid in yuri of cotton and roots. *Bot. Gaz.* 92:430.
- Tisdale, S.L., Reneau, Jr.R.B., Platou, J.S. (1986): Atlas of sulfur deficiencies. In *Sulfur in Agriculture. Agronomy monograph no.27* (ed. M.A. Tabatabai), pp. 295-322. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Tiwari, R.C. (1995): Soil sulphur status and crop responses to sulfur application in eastern Uttar Pradesh, India. *Sulphur in Agriculture. V.19.* p.21-25.
- Trudinger, P.A. (1986): Chemistry of the sulfur cycle. In *Sulfur in Agriculture. Agronomy monograph No.27* (ed. M.A. Tabatabai), pp.1-22. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Trust, B.A., Fry, B. (1992): Stable sulphur isotopes in plants.: a review *Plant, Cell and Environment* 15:1105-1110.
- Turner, J., Lambert, M.J. (1977): Dieback in high site quality *Pinus radiata* stands the role of sulphur and boron deficiencies. *N.Z.J. For. Sci.* 7:333-348.
- Wellburn, A. (1988): Sources and cycling of sulphur. *Air. Pollution and Acid Rain.* (ed. A. Wellburn) pp.23-59. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Williams, C.H. (1967): Some factors effecting the mineralization of organic sulphur in soils. *Pl. Soil.* 26:205.
- Wilson, L.G., Bressan, R.A., Filner, P. (1978): Light-dependent emission of hydrogen sulfide from plants. *Plant Physiol.* 61:184-189.
- Winner, W.E., Smith, C. L., Hoch, G W., Mooney, H.A., Bewley, J.D., Krouse, H.R. (1981): Rates emission of H₂S from plants and patterns of stable isotope fractionation. *Nature* 289:672-672.

A SUMMARY OF PREVIOUS RESEARCH ON SULPHUR

Nataša Popović, Darinka Bogdanović, Petar, Sekulić

Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad

Abstract: Previous research has shown that sulphur is an essential constituent element in plant nutrition. Its importance has been linked to the assimilation of nitrogen and phosphorus in plants. It is thought that the application of sulphur affects the formation of amino acids in the plant and that excess sulphur may bring about yield losses and disrupt protein synthesis. Over the years, one of the focuses of sulphur research has been the role of this element as a pollutant. In recent years, studies on sulphur have focused on the element's circulation in agroecosystems and the development of methods for sulphur determination.

Key words: sulphur, soil, nutrition, atmosphere, sulphur forms.