

ERINEVATE VÄETUSSÜSTEEMIDE MÕJUST KAHKJA MULLA JA NISUTERADE VÄÄVLISEISUNDILE

A. Kanal, P. Kuldkepp

Humiidse ja semiariidse kliimavööndi muldkattes on üle 95% väävlist seotud orgaanilistesse ühenditesse (Tabatabai, Bremner, 1972; Eriksen *et al.*, 1998). Seega orgaanilise aine vaesed mullad, mis on valdavalt kerge lõimisega, ei suuda avatud ainevooga põlluökosüsteemides piisavalt tagada väävliga varustatust. Boreonemoraalsele kliimale on omane suur sademete rohkus, mis paraku suurendab kergesti omastatava väävli leostumist mullas. Eestis on mullast väävli leostumise määr 11–38 kg ha⁻¹ (Kärblane, 1992).

Tööstuse keskkonnasõbralikumaks muutmine tähendab ka atmosfäärist laekuva väävli koguste vähenemist, kui näiteks Põhja-Saksamaal mõõdeti 1970. aastatel ligi 50 kg ha⁻¹, siis 1993. a. ainult 14 kg ha⁻¹ (Eriksen *et al.*, 1998). Ka Eestis on põlemisgaasidest tingitud väävliireostus vähenenud ja ilmselt on praegu oluliselt väiksem Vooremaal kunagi mõõdetust, mis oli 30,4 kg S ha⁻¹ a⁻¹ (Saarman, 1980). Suurbritannias täheldatakse ca 10% teraviljapõldudest väävlipuudust (McGrath *et al.*, 1993) ja väävlinõudlikumate kultuuride (ristõieliste) kasvatamine nõuab juba väävelvætamist. Väävli lisamine väävlipuudusega muldadele aitab sama saagitaseme saavutamiseks põllumeestel vähendada kasutatavaid lämmastikukoguseid (Murphy, 1990). Mitte ainult keskkonnaseisundi paranemine, vaid ka taimse toidu kvaliteet peaks äratama huvi väävლისalduse vastu, kuna viimasest oleneb aminohapete, tsüstiini, metioniini ja ka jahutoodete küpsetamiskvaliteeti mõjutava gluteeni sisaldus terades.

Metoodika

Uurimus viidi läbi 1996. a. IOSDV kolmeväljalisel (kartul-suviniisi-oder) põldkatsel. Vaatluse alla võeti kaks väetussüsteemi: 1) ilma mineraalväetisteta (N0) ning 2) NH₄NO₃ arvestusega 80 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (N80). Need jagunesid omakorda kolmeks erinevaks orgaanilise väetise fooniks: ilma orgaaniliste väetisteta (0); igal aastal teraviljapõhku 4 Mg ha⁻¹ või haljasväetist 40 Mg ha⁻¹ (PV); igal kolmandal aastal kartulile sõnnik 60 Mg ha⁻¹ (S). Suviniisu (*Triticum aestivum* L. var. Munk) kasutas orgaaniliste väetiste (PV ja S) 1 a. järeloomu. Mullaproovid võeti künnihorisondist mullapuuriga (Ø=1,2 cm; h=25cm). Katsepõllu kahkjast muld, *Stagnic Podzoluvisol* (FAO-UNESCO) ja *Typic Eutroboralf* (USDA) on kujunenud kahekihilisel lähtekivimil, kus varieeruva tusedusega kerge liivsavi (8,5% < Ø0,02 mm) lasub keskmise liivsavi lõimisel (17% < Ø0,02 mm). Muld on meetrises tusedis karbonaadivaba, keskmine pH_(KCl)=6,2, ja on paarkümmend aastat tagasi lubjatud 4–5 t/ha.

Uuritud katselappidelt (n=18) määrati Rootsi Põllumajandustülikoolis 1 g mullast “Leco” SC-32 kuivpõletamisega temp. 1370 °C üldväävlisisaldus. Nisuteradest määrati üldväävel kontsenteeritud HNO₃ lahuses ICP (induktiivse plasma emissioon spektrometriga) tehnoloogial, mis võimaldab kergesti määrata üld-S lahustes (Soon *et al.*, 1995). EPMÜ mullateaduse ja agrokeemia laboris määrati samadest mullaproovidest (0,3...0,5 g) märgpõletamise teel orgaaniline süsinik Tjurini (1935) ja üld-N Kjeldhali järgi. Täiendavalt määrati mullas H₂O lahustuv väävel (1:5) suhtega “Tecatori” FIAstar 5010 Analyzeril ahusevoo injektioonmeetodil EPMÜ taimebiokeemia laboris. C, N ja S on väljendatud absoluutkuiva mulla või taimse materjali kohta. Andmete statistiliseks töötlemiseks kasutati kahefaktorilist dispersioon- ja ka korrelatsioonanalüüsi.

Tulemused ja arutelu

Muld.

Varem korraldatud orgaaniliste väetiste põldkatses kahkjalt mullal määrati keskmiseks üldväävli sisalduseks vaid 140 mg kg⁻¹, kus C:N:S suhteks kujunes 109:10:0,92, sealjuures esines tugev seos mulla üldlämmastikuga (Kanal, 1996). Vaatlusaluses IOSDV katses, mis asub ca 2 km eemal, oli 18 lapi keskmine väävlisisaldus 153 mg S kg⁻¹ (tabel 1), sarnane korrelatsioon (r=0,5) saadi mulla üldsüsinikuga, kuid seos mulla üldlämmastikuga oli nõrk. Et IOSDV mulla üldsüsiniku sisaldus oli tunduvalt madalam eelnevast katsest, nii saadi künnikihi mulla C:N:S suhteks 85:10:0,76. Sarnastes kliimaatilise-mullastikulistes piirkondades esineb väävli vaesed muldi sageli, näiteks Taani Roskilde katsejaamade lõimiselt (11,4% < Ø2 mm) kui ka üld-C ja pH poolest ligilähedasel mullal oli üldväävli sisaldus künnikihi mullas 187 mg kg⁻¹ ja C:N:S suhe 107:10:0,69 (Eriksen, 1994). Quebeci karjamaade muldadel oli üldväävli sisaldus 145 mg kg⁻¹, millest kergesti omastavat SO₄-S 4,7% (N' Dayegamiye *et al.*, 1994).

Seitse aastat kestnud IOSDV väetuskatse näitab ilmekalt orgaaniliste väetiste kasutamise eelist ainult mineraallämmastiku kasutamise ees, seda nii üld-C kui üld-S puhul. Samasugune olukord valitseb põhimõtteliselt ka mulla veeslahustuva väävli puhul, kuid siin jääb sõnniku ehk rohkem humifitseerunud

Tabel 1. IOSDV põldkatselt valitud katselappide künnikihi mulla keskmised väävliseisundi näitajad

Table 1. Mean total-C, total-S and H₂O soluble S in soils from selected IOSDV plots

	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹				Üld-C / Tot-C		Üld-N / Tot-N	
	Üld-C / Tot-C		Üld-S / Tot-S		H ₂ O- S *		Üld-S / Tot-S		Üld-S / Tot-S	
	N0	N80	N0	N80	N0	N80	N0	N80	N0	N80
0	9,1 ^a	9,5 ^a	136 ^a	147 ^a	7,5 ^{ac}	6,9 ^c	66,2 ^a	64,9 ^a	8,1 ^a	7,3 ^b
PV	10,3 ^b	10,3 ^b	167 ^b	146 ^a	10,4 ^b	9,2 ^{ab}	61,7 ^b	70,9 ^c	7,2 ^b	8,3 ^a
S	10,0 ^b	10,3 ^b	155 ^b	168 ^b	9,2 ^a	8,6 ^{ac}	64,1 ^a	61,6 ^b	7,6 ^{ab}	7,2 ^b

* määratud 1998. a. **0** – väetiseta / *minerally unfertilised*; **PV**– põhk +haljasväetis / *straw + green manure*; **S**– sõnnik põhuga / *cattle manure with straw litter*

a – sama täheastendajaga arvud ei erine üksteisest usutavalt; *numbers suffixed by same letter are not significantly different (p < 0,05)*

materjali mõju väiksemaks. Suurim vees lahustuva osakaal (6,2%) üldväävlist on põhkväetise ja haljasväetise kombinatsioonil. Näiteks rapsi lehtede (C:S suhe 64:1) mulda andmisel suurenes SO₄-sisaldus, aga odrapõhk (C:S suhe 206:1) seda ei mõjutanud (Wu *et al.*, 1993). Seega on väävli kui ka süsiniku puhul oluline orgaanilise aine pidev voog mulda ja ka eelhuumuslike orgaaniliste ühendite rohkus mullas. Nii on Šotimaal leitud, et 11–15% mulla väävlist kuulub väävli sisaldavatele aminohapetele (Scott *et al.*, 1981), seevastu huumushapete väävlisisaldus katab ainult 0,1–1,5% mulla üldväävlist (Schnitzer, 1978). Kitsam C:S suhe peegeldab fulvohapete ülekaaluga huumust (Bettany *et al.*, 1979), aga kuna põldkatse on suhtelisest lühiajaline, siis väetusvariantide vahelised erinevused ei ole arvatavasti põhjustatud huumuse kvalitatiivsetest muutustest, vaid orgaanilise aine juurdevoost. Kontsentratsiooni 10 mg kg⁻¹ SO₄ peetakse omastatava väävli kriitiliseks läveks mullas (Saalbach *et al.*, 1962; Hoest *et al.*, 1973), H₂O lahustuva väävli puhul oli see New-Walesi karjamaadel 8,4 mg kg⁻¹ (Anderson *et al.*, 1994). Eestis on kamarleet-muldade H₂O lahustuva väävli sisaldus 12–77 mg kg⁻¹ (Kärblane, 1992), seega IOSDV põldkatse keskmine 8,7 mg kg⁻¹ näitab mulla kesist varustatust vees lahustuva väävliga. Muldadel on erinev mineralisatsioonivõime, kuid valdavalt on see orgaanilise väävli puhul kuni 3% aastas (Freney, 1986; Eriksen *et al.*, 1998).

Väetamine.

Orgaaniliste väetiste kasutamine suurendab mulla väävlisisaldust. Arvestades, et sõnniku kuivaines on 0,007–0,052% väävli (Kärblane, 1992), siis 1995. a. kartulile antud 15 Mg k.a. ha⁻¹ lisas mulda 1,1–7,8 kg ha⁻¹ väävli. Kõrge tootmistasemega põllumajandusriikides on nii loomasööt kui ka sõnnik väävli rikkam, nii näiteks Taani veiste ja sigade sõnniku kuivaine sisaldab 0,9–1,2 kg S t⁻¹ (Pedersen *et al.*, 1998). Orgaanilise aine mulda viimisel on oluline, et C:S suhe ei ületaks 400, sest vastasel korral võib toimuda väävli immobilisatsioon (Barrow, 1960). Põhu lagunemiseks on leitud sobivaimaks C ja S suhteks 270, kusjuures põhu väävlisisaldus ei tohiks ületada 0,15% (Stewart *et al.*, 1966).

Ka mineraalväetamine mõjutab mulla väävlisisaldust, kuid üldiselt on Eesti maaviiljeluses väävli sisaldavate mineraalväetiste (superfosfaat 12%, K₂SO₄ 18%, tolmpõlevkivituht 2–3% jt.) kasutamine vähenenud. Mineraalväetistega mulda viidavad toitained kutsuvad mulla neelavas kompleksis esile mitmeid muutusi, mis ei pruugi väävliseisundit oluliselt parandada. Lujamine suurendab väävli leostumist läbi sulfaadi desorptsiooni ja suurenenud orgaanilise aine mineralisatsiooni (Chao *et al.*, 1962; Bolan *et al.*, 1988). Et PO₄²⁻-iooni adsorptsioonitugevus mullas ületab SO₄²⁻ oma (Tisdale *et al.*, 1984), suurendab fosfaatide mulda lisamine väävli leostumist (Chao *et al.*, 1962; Bolan *et al.*, 1988). Seega kui lubiväetisi ning ka superfosfaati lisatakse mulda taimkatteta ja sademeterikkal sügisperioodil, suurendab see väävli leostumist veelgi.

Terasaak.

Taimede vääveltoitumine on mõjutatud atmosfäärselt toitumisest ja seetõttu jäävad muldade kergesti omastatava väävlisisalduse ning põllukultuuride väävlisisalduse vahelised seosed nõrgaks ja kirjeldavad vaid ligikaudu 16% variatsioonist (Schnug, Haneklaus, 1998). Ka meie katses puudus seos mulla väävli ja nisuterade väävlisisalduse vahel. Tabelist 2 selgub, et lämmastikväetamisel on oluline mõju suvinisu terasaagile ja eriti selle kvaliteedile. Terasaagi ja terade üldväävli sisalduse vaheline seos oli nõrk (r=0,51). Taimede lämmastiku- ja väävlitoitumine on sarnane ja sisalduste vaheline seos nisuterades oli tugev – r=0,92. Haljasväetis + põhk avaldab oma kõrgema lämmastikupotentsiaaliga terade kvaliteedile tugevamat mõju kui sõnnik. Teraviljade väävlipuuduse ja lämmastikupuuduse sümptomid kattuvad, kusjuures taimedel väheneb võrsete arv (Rasmussen *et al.*, 1977) ja väheneb ka terade arv pähikus (Haneklaus *et al.*, 1995). Seega on teraviljade varasemates arengufaasides esineval väävlipuudusel pöördumatu mõju saagi langusele, kuid kahjustusi võib esineda ka hiljem, kuna teraviljapeadel langeb resistentsus seenhaiguse *Septoria sp.* suhtes (Schnug, Haneklaus, 1998). Seemnete makroelemendiline koostis on enamasti geneetiliselt määratud ja seetõttu üldjuhul ei sobi generatiivorganite analüüs puudushaiguste diagnoosiks. Üheks hinnangu võimaluseks on vaadelda N:S suhet, kuna taimed kasutavad väävli kui ka lämmastikku valdavalt aminohapete sünteesis.

Tabel 2. Nisuterade keskmised saagid ning kuivaine N- ja S-sisaldus

Table 2. Average wheat grain yield and N and S contents in dry matter

	Terad / Grain		Üld-N / Total-N		Üld-S / Total-N		S-i eemaldamine		Üld-N / Total-N	
	g m ⁻²		g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		Removal of S g m ⁻²		Üld-S / Total-S	
	N0	N80	N0	N80	N0	N80	N0	N80	N0	N80
0	318 ^a	460 ^b	16,3 ^{ab}	22,5 ^c	1,30 ^a	1,63 ^b	0,41 ^a	0,75 ^c	12,6 ^a	13,8 ^b
PV	430 ^b	456 ^b	17,2 ^b	25,4 ^d	1,28 ^a	1,72 ^c	0,55 ^b	0,78 ^c	13,5 ^b	14,8 ^c
S	343 ^c	448 ^b	16,1 ^a	22,7 ^c	1,32 ^a	1,60 ^b	0,45 ^a	0,72 ^c	12,2 ^a	14,2 ^b

Taimses proteiinis on N:S suhe 15:1 (Dijkshoorn, Wjik, 1967). Teraviljadele on välja pakutud kriitiliseks väävlisisalduseks terades <0,12% ja N:S suhet >17 (Randall *et al.*, 1981). Analüüsitud nisuterades anomaaliat ei esinenud, lämmastikunormi tõus põhjustas eelkõige terade N:S suhte laienemist, terade üld-S ja N:S suhte vaheline seos oli $r=0,47$, seevastu üld-N korral oli see $r=0,75$. Rootsi tingimustes Bertilsoni (1994) andmetel laiienes talinisel terades N:S suhe vastavalt lämmastiku gradiendile: 11,8 (N₀), 13,0 (N₈₀) kuni 14,5 (N₂₀₀) Meie katses saadi absoluutselt laiem terade N:S suhe PV+N80 variandis, kust koristati ka kõige lämmastiku- ja väävlirikkamad terad. Sõnniku järelmõju foonil kasvanud terasaak oli kõrgem kui väetamata mullal, kuid mineraallämmastiku foonil terade kvaliteedi osas usutavaid muutusi ei toimunud. Katsetulemustest selgus, et terasaagiga eemaldatakse nisupõllult pea sama palju väävlit, kui arvestuslikult mineralisatsiooniga võiks vabaneda, sest N80 kasutamine tõstab orgaanilise aine mineraliseerumist. Kokkuvõtteks võib öelda, et kuigi kahkjast muld on madala üld- ja vees lahustuva väävli sisaldusega, ei põhjustanud see nisuterade kvaliteedi langust. Eelistatum väetussüsteem on haljasväetiste ja põhu kombinatsioon, mis kindlustab pideva orgaanilise aine juurdevoogu mulda, samuti on aineriing suletum, kuna teraviljapõllult eemaldatakse ainult terad. Aktuaalse väävlipuuduse ja võimaliku saagilanguse hindamiseks ning ennetamiseks tuleks teraviljataimi analüüsida varasemates kasvufaasides.

Kirjandus

- Anderson G.C., Lefroy D.B., Chinoim N., Blair G.J. The development of a soil test for sulphur. Norwegian J. Agric. Sci. Suppl. 15: 83–95. 1994.
- Barrow N.J. A comparison of the mineralization of nitrogen and sulfur from decomposing materials. Aust. J. Agric. Res. 11: 960–969. 1960.
- Bertilson G. Effect of sulphur fertilization on oilseed crops and cereals in Sweden. Norwegian J. Agric. Suppl. 12: 111–118. 1994.
- Bettany J.R., Stewart J.W., Halstead E.H. Sulfur fractions and carbon, nitrogen, and sulfur relationships in grassland, forest and transitional soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 915–918. 1973.
- Bettany J.R., Stewart J.W., Saggart S. The nature and forms of sulfur in organic matter fractions of soil selected along environmental gradient. Soil Sci. Soc. Am. J 43: 981–985. 1979.
- Bolan N.S., Syers J.K., Tillmann R.W., Scotter D.R. Effect of liming and phosphate additions on sulphate leaching in soils. J. Soil Sci. 39: 493–504. 1988
- Chao T.T., Harward M.E., Fang S.C. Adsorption and desorption phenomena of sulfate ions in soils. Soil Sci. Soc. Proc. 26: 234–237. 1962.
- Dijkshoorn W., Wjik A.L. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur- nitrogen ratio in the organic matter. A review of published data. Plant and Soil 26: 129–157. 1967.
- Eriksen J. Soil organic matter as a source of plant available sulphur. Norwegian J. Agric. Sci. Suppl. 15: 77–81. 1994.
- Eriksen J., Murphy M.D., Schnug E. The soil cycle. In: "Sulphur in Agroecosystems". (ed. E. Schnug) Kluwer Academic Publishers. the Netherlands. pp. 39–72. 1998.
- Freney J.R. Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: Sulfur in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA. pp. 207–232. 1986.
- Haneklaus S., Fleckenstein J., Schnug E. Effects of the timing of sulphur on yield and yield components of wheat. J. Plant Nutr. Soil Sci. 158: 83–86. 1995.
- Hoest R.G., Walsh L.M., Keeney D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 401–404. 1973.
- Kanal A. Üldsüsiniku, -lämmastiku ja -väävli sisaldusest kahkjast põllumullas. EPMÜ AGT 187A: 9–12. 1996.
- Kärblane H. Väävli ringest ja bilansist Eesti maaviljeluses. Agraarteade III-3 :182–192. 1992.
- McGrath S.P., Zhao F., Crosland A.R., Salmon S.E. Sulphur status of British grain and its relationship with quality parameters. Aspects of Applied Biology 36. Cereal Quality III, 317–326. 1993.
- Murphy M.D. Fifteen years of sulphur research in Ireland. Sulphur Inst. J. 14:10–12. 1990.
- N' Dayegamiye A., Simard R.R., Delisle F. Evaluation of sulfur mineralization potential of meadow soils and availability to alfalfa. Can. J. Soil Sci. 74: 259–265. 1994.

- Pedersen C.A., Knudsen L., Schnug E. Sulphur fertilisation in: "Sulphur in Agroecosystems". (ed. E. Schnug) Kluwer Academic Publishers. the Netherlands pp. 115–134. 1998.
- Randall P.J., Spencer K., Freney J.R. Sulfur and nitrogen fertilizers effects on wheat. I. Concentrations of sulfur and nitrogen and N:S ratio in grain, in relation to yield response. *Austr. J. Agric. Res.* 32: 203–212. 1981.
- Rasmussen P.E., Ramig R.E., Ekin L.G., Rhode C.R. Tissue analysis guidelines for diagnosing sulfur deficiency in white wheat. *Plant and Soil* 46: 153–163. 1977.
- Saalbach E., Judel G.K., Kessen G. Über den Einfluß des Sulfatgehaltes im Boden auf die Wirkung einer Schwefeldüngung. *Z. Pflanzenernähr. Düngung und Bodenkd.* 99: 177–182. 1962.
- Saarman T. Ainete sattumisest mulda sademetevetega. Põllumajanduskultuuride produktiivsuse tõstmine. Tartu: EPA, lk 61–62 (vene k.). 1980.
- Schnitzer M. Humic substances: Chemistry and reactions. In: "Soil organic matter" (eds. M. Schnitzer and S.U. Khani). *Development in soil science* 8. Elsevier. Amsterdam. 1978.
- Schnug E., Haneklaus S. Diagnosis of sulphur nutrition. In: "Sulphur in Agroecosystems" (ed. E. Schnug). Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp. 1–38. 1998.
- Scott N.M., Bick W., Anderson H.A. The measurement of sulphur-containing aminoacids in some Scottish soils. *J. Sci. Food & Agric.* 32: 21–24. 1981.
- Soon Y.K., Kalra Y.P., Abboud S.A. Comparison of some methods for the determination of total sulfur in plant tissues. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 221–240. 1995.
- Stewart B.A., Porter L.K., Viets F.G.Jr. Effect of sulfur content of straws on rates of decomposition and plant growth. *Soil Soc. Sci. Am. Proc.* 30: 355–358. 1966.
- Tabatabai A.M., Bremner J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. *Agron. J.* 64: 40–44. 1972.
- Tisdale S.L., Reneau R.B., Platou J.S. *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan Publishing Company, New York. 1984.
- Tjurin I.V. Comparative study of the methods for the determination of organic carbon in soils and water extracts from soils. In: *Materials on genesis and geography of soils*. M.- L. Academy. of Sci. USSR. pp. 139–158. 1935.
- Wu J., O'Donell W.G., Syers J.K. Microbial growth and sulphur immobilization following the incorporation of plant residues into soil. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1567–1573. 1993.

Influence of Different Fertilization Systems on the Sulphur Content of Podzoluvisols and Wheat Grain

A. Kanal, P. Kuldkepp

Summary

Recent developments, such as reduction of atmospheric S, the decreased fertilisation of superphosphate and K₂SO₄, monotonous N-application and reduced organic matter levels in soils have created a concern for the S deficiency in crops grown in South-Estonia, especially on coarse-texture soils. Crop rotation in an IOSDV field experiment established in 1989 was the following: potato- spring wheat- spring barley. Three soils were selected for study in 1996: without organic manure (0); green manure and straw (PV) ; cattle manure with litter for potato (S). Two mineral-N fertilisation levels were compared: N0- nonfertilised and NH₄NO₃ (N80 kg ha⁻¹ y⁻¹). The average total-S content of the plough layer of 18 plots was low, 153 mg S kg⁻¹, with an average ratio of C:N:S 85:10:0.76. The highest H₂O soluble S was established in the soil amended with green manure and straw, 10.2 mg kg⁻¹ i.e. 6.2% of total S. The highest sulphur content in dry matter of wheat grains was obtained against the background of green manure with + N80 1.72 g kg⁻¹. Sulphur removal from fields was 0.41-0.55 g m⁻² on minerally nonfertilised soils and 0.72-0.78 g m⁻² on soils fertilised with N80. The N:S ratio for grains correlated better with total N than with total S, but remained in the acceptable range 12.2-14.8, while the lowest ratio was noted in case of nonfertilised and unmanured soils and highest, in case of the treatment with N80 against the background green manure with straw.