

ZMĚNY V OBSAHU VODOROZPUSTNÉ SÍRY V PŮDĚ PO DODÁVCE SLÁMY A ELEMENTÁRNÍ SÍRY

P. Ryant

Došlo: 5. ledna 2007

Abstract

RYANT, P.: *Changes in the content of water-soluble sulphur in the soil after an application of straw and elemental sulphur*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 1, pp. 195–204

The changes in the content of water-soluble sulphur in the soil after the application of straw and elemental sulphur (ES) were explored in a 2-year vegetation pot experiment. The following variants were included in the experiment: 1) unfertilised control; 2) wheat straw; 3) rape straw; 4) ES; 5) wheat straw + ES; 6) rape straw + ES. The two types of straw were applied in a dose of 32 g of dry matter and elemental sulphur was applied in a dose of 0.42 g per pot, i.e. 6 kg of soil. The unsatisfactory C:N ratio in the straw was optimised to 25:1 by adding nitrogen in urea. Soil samples were taken prior to sowing of the model plant (spring wheat in 2005 and white mustard in 2006) and then in regular monthly intervals until harvesting (5 times a year). The content of water-soluble sulphur in the soil was evaluated by multifactorial analysis of variance monitoring the effect of the crop, date of soil sampling, application of straw and elemental sulphur.

The contents of water-soluble sulphur differed statistically significantly ($P > 0.999$) when growing the individual model plants. When growing white mustard in 2006 the amount of available sulphur was by 1/5 higher and could have been partly affected by the warm year 2006, as compared to 2005 when spring wheat was grown. Significant differences ($P > 0.999$) were also discovered among the dates of soil sampling; higher values were detected before the sowing of model plants, i.e. after incubation in the winter, during vegetation the content of water-soluble sulphur decreased and sulphur showed the significantly highest values at the harvest of model plants. When wheat straw was applied the sulphur content did not increase and this may be associated with the wide C:S ratio, whereas after the application of rape straw the content of water-soluble sulphur increased by one third more than in the unfertilised control. The application of elemental sulphur also significantly increased the amount of water-soluble sulphur in the soil, doubling its content.

We can conclude that the content of water-soluble sulphur in the soil was strongly affected by the grown crop in combination with the temperatures of the year, it shows considerable dynamics during vegetation culminating at harvest (early August), it was favourably affected by the application of rape straw and it increased considerably after the application of elemental sulphur.

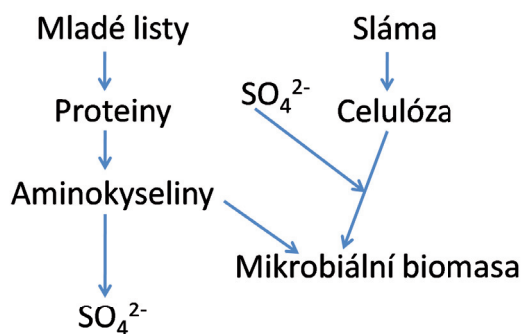
water-soluble sulphur, spring wheat, white mustard, soil, straw, elemental sulphur

V posledních patnácti letech můžeme v České republice pozorovat dramatický pokles vstupů síry do agroekosystémů. Dominantní postavení má v tomto směru omezení atmosférických depozic díky odsíření hlavních emitentů oxidu siřičitého do ovzduší. Po odsíření tepelných elektráren spalujících méně kvalitní hnědé uhlí, po plynofikaci měst a vesnic se v posledních

letech věnuje pozornost také odsíření pohonných hmot při rafinaci ropy. Obsah síry v pohonných hmotách se postupně snižoval z maximálních 2000 mg.kg⁻¹ v roce 1994 na maximálně 50 mg.kg⁻¹ v roce 2006 a od roku 2009 se mohou ve všech zemích EU prodávat paliva s maximálním obsahem síry do 10 mg.kg⁻¹. Při tomto procesu ovšem vzniká významné množství

elementární síry jako vedlejšího produktu. Tradiční odběratelé, výroba kyseliny sírové nebo gumárenství, jsou však již saturováni, takže jako nejvhodnější využití elementární síry se jeví její návrat do přirozeného koloběhu, tzn. využití ke hnojení zemědělských plodin.

Přirozeným zdrojem síry pro rostliny je primární půdní organická hmota. Uvolnění rostlinám přístupné síry z rozkládajících se posklizňových zbytků závisí především na jejím obsahu v těchto zbytcích. Již Nelson (1973) uvádí, že některé plodiny navrací až 85 % síry obsažené v nadzemní biomase. V analogii na mineralizaci dusíku, která je detailně popisována Mengelem (1996), čistá mineralizace síry nastupuje, když sírou bohatá organická hmota (např. mladé listy řepky) je zapravena do půdy. Naopak zapravení organické hmoty chudé na síru (např. sláma) způsobuje imobilizaci síry (viz obr. 1).



1: Schéma mineralizace a imobilizace síry v půdě

Podle Eriksena (1997) přítomnost lehce přístupného uhlíku rapidně snižuje množství půdních anorganických sulfátů a omezuje příjem síry rostlinami.

Ve většině půd je přístupnost síry a její dynamika vysoce závislá na obsahu půdní organické hmoty (Tabatabai et Bremner, 1972) a jejím poměru C : S (Barrow, 1960). Zatímco sírany jsou akumulovány, když je poměr C:S nižší než 200 : 1, imobilizace nastupuje, když je poměr vyšší než 400 : 1 (Scherer, 2001).

Ve stejné době jako byli postupně odsiřováni emitenti síry, probíhaly také významné změny v českém zemědělství. Snad nejvýznamnější transformaci zaznamenal chov skotu, jehož stavy poklesly za posledních 15 let o 60 % (Vegricht et Ambrož, 2006). Nižší stavy skotu a současně přechod většiny provozů na bezstelivové ustájení přineslo změnu do hospodaření se slámou v rostlinné produkci a většina slámy dnes na pozemcích zůstává.

Cílem práce bylo v dvouletém vegetačním nádobovém pokusu posoudit elementární síru jako potenciální zdroj rostlinám přístupné síry při současné aplikaci dvou různých druhů slámy.

MATERIÁL A METODIKA

Obsah vodorozpustné síry v půdě byl sledován v letech 2005 a 2006 formou nádobového pokusu ve vegetační hale Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin MZLU v Brně (49° 19' s. š., 16° 36' v. d.). Do Mitscherlichových nádob bylo naváženo vždy již na podzim předchozího roku (20. října 2004 a 10. října 2005) 6 kg zeminy ze Žabčic, jejíž agrochemické vlastnosti udává tab. I.

I: Agrochemické vlastnosti použité zeminy

rok	půdní druh	C _{ox} (%)	celkový N (% hm.)	celková S (mg/kg sušiny)	pH/CaCl ₂	obsah přístupných živin (mg.kg ⁻¹)				
						P	K	Ca	Mg	S _{vodorozp.}
2005	lehká	3,25	0,14	294	7,37	138	226	2784	167	24,8
2006	lehká	3,34	0,14	273	7,36	128	162	2956	161	28,6

Použitá zemina měla průměrný obsah celkového dusíku, který byl v rozpětí 0,1–0,2 % uváděným pro většinu půd České republiky (Černý et al., 1997). Zemina vykazovala alkalickou půdní reakci. Obsah přístupného draslíku a hořčíku byl na úrovni dobré zásoby, obsah fosforu a vápníku byl vysoký a obsah vodorozpustné síry lze označit za střední.

Bezprostředně po navážení nádob byly se zeminou důkladně promíchány oba druhy slámy a elementární síra podle schématu v tab. II. Každá varianta byla založena v 10 opakováních. Chemické složení použité pšeničné a řepkové slámy ukazuje tabulka III.

II: Schéma vegetačního nádobového pokusu

Číslo varianty	Schéma	Číslo varianty	Schéma
1	Kontrola	4	Kontrola + elem. S
2	Sláma pšenice + N	5	Sláma pšenice + N + elem. S
3	Sláma řepky + N	6	Sláma řepky + N + elem. S

III: Chemické složení slámy

Sláma	Sušina (%)	% v sušině							C:N	C:S
		N	P	K	Ca	Mg	S	Org. látky		
pšeničná	95,50	0,43	0,06	0,64	0,32	0,10	0,10	94,54	128 : 1	543 : 1
řepková	95,50	0,92	0,08	1,35	1,11	0,17	0,42	94,68	60 : 1	132 : 1

Dávka pšeničné a řepkové slámy byla zvolena 32 g sušiny, což odpovídá 10 t slámy na hektar. Elementární síra byla aplikována v dávce 0,42 g na nádobu.

Nevyhovující poměr C : N u obou slam (viz tab. III) byl optimalizován na hodnotu 25 : 1 doplněním dusíku v močovíně pro hladký průběh mineralizace.

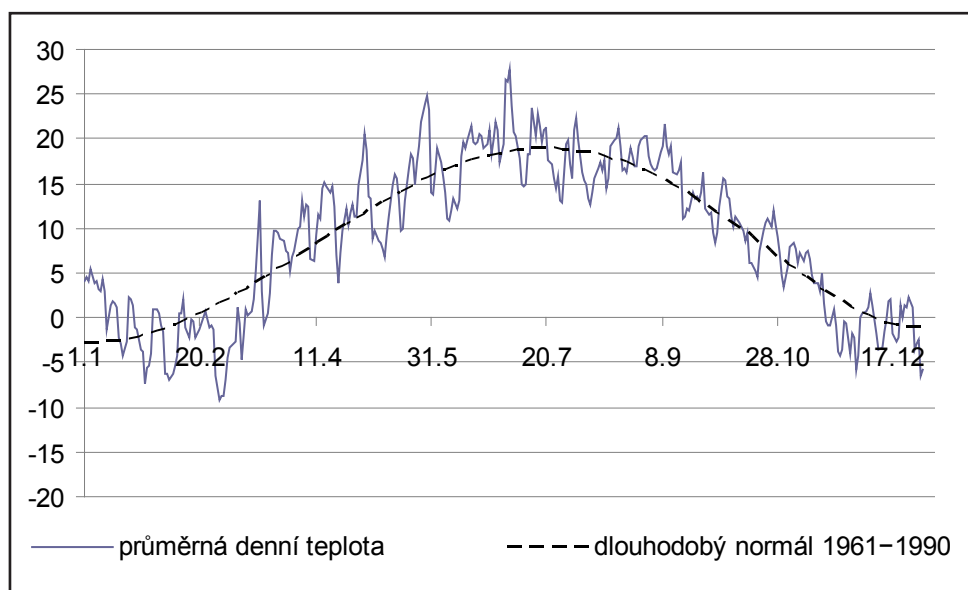
Zemina byla udržována závlivkou na 60 % maximální vodní kapacity, takže povětrnostní vlivy byly omezeny pouze na změny teplot, jejichž průběh udává obr. 1 a 2. Pokusy byly udržovány mechanicky v bezplevelném stavu a ošetřovány chemicky proti chorobám a škůdcům.

Obsah vodorozpustné síry byl zjišťován v půdních vzorcích odebraných před výsevem modelové plodiny (pšenice jarní v roce 2005, resp. hořčice bílé v roce 2006) a dále v pravidelných měsíčních intervalech až do sklizně, celkem pětkrát ročně (viz tab. IV).

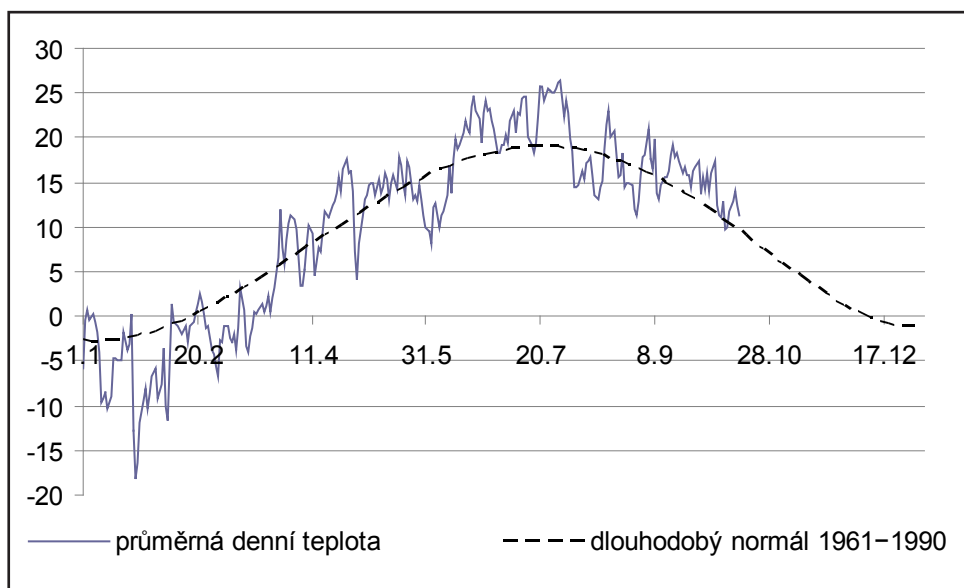
Získané výsledky byly vyhodnoceny statisticky multifaktoriální analýzou variance a průkaznost rozdílů mezi jednotlivými úrovněmi faktorů byly zjišťovány Tuckeyovým testem.

IV: Termíny založení pokusů a odběrů vzorků zeminy

termín		2005	2006
Odběry zeminy	Založení pokusů	27. října 2004	2. listopadu 2005
	při výsevu	30. března	1. dubna
	1 měsíc po výsevu	29. dubna	1. května
	2 měsíce po výsevu	30. května	1. června
	3 měsíce po výsevu	29. června	1. července
	4 měsíce po výsevu (sklizeň)	29. července	1. srpna



2: Průběh průměrných denních teplot v roce 2005



3: Průběh průměrných denních teplot v roce 2006

Použité analytické metody

Pro stanovení přístupných živin (P, K, Ca a Mg) v půdě byla půda vyluhována metodou Mehlich III (CH_3COOH , NH_4NO_3 , NH_4F , HNO_3 a EDTA). Stanovení obsahu přístupného fosforu ve výluhu bylo provedeno spektrofotometricky a obsah přístupného draslíku, hořčíku a vápníku byl stanoven atomovou absorpční spektrofotometrií (Zbírál, 1995).

Množství síry bylo stanoveno ve vodním výluhu (množství zeminy a vody v poměru 1:5) metodou ICP - OES (Zbírál, 1995).

Výměnná půdní reakce byla zjištěna ve výluhu půdy 0,01 M CaCl_2 potenciometricky skleněnou elektrodou proti referentní kalomelové elektrodě (Zbírál, 1995).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Významnost vlivu jednotlivých sledovaných faktorů na obsah vodorozpustné síry v půdě udává tab. V. Hodnoty jejího množství byly velmi vysoce ($P > 0,999$) ovlivněny druhem pěstované plodiny (v kombinaci s průběhem teplot daného ročníku), termínem odběru půdních vzorků a aplikací elementární síry. Zapravení slámy se na obsahu vodorozpustné síry v půdě projevilo vysoce průkazně ($P > 0,99$).

Rozdíly mezi jednotlivými úrovněmi sledovaných faktorů udává tab. VI.

Množství vodorozpustné síry v půdě bylo při pěstování hořčice bílé v roce 2006 o pětinu vyšší než při pěstování pšenice jarní (viz tab. VI). Pokud bychom hodnotili obsah vodorozpustné síry pouze po sklizni, rozdíly mezi modelovými plodinami se ještě zvýrazní a u hořčice bude obsah vodorozpustné síry o 59 % vyšší ($72,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) než u pšenice ($47,7 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Vysvětlení je možné hledat částečně v teplejším ročníku 2006 (v průměru denních teplot během vegetace o 1 stupeň), a to zejména v poslední před sklizňové fázi (viz graf 2). Současně je vzhledem k blízké příbuznosti hořčice a řepky možné odhadovat, že oxidační procesy v prostředí rhizosféry řepky, díky široké přítomnosti oxidačních heterotrofních bakterií, které popisují Grayston et Germida (1991), budou probíhat obdobně i v rhizosféře hořčice. Potom protony uvolňované oxidačními reakcemi okyselují mikroprostředí kolem kořenů a hydrolyzují organickou síru do sirných aminokyselin, které jsou následně oxidovány za produkce síranové síry (Scherer, 2001). Naproti tomu obilniny jako pšenice a ječmen nevykazují acidifikaci kořenového prostředí, protože příjem anionů a kationtů je okamžitě kompenzován vylučováním OH^- nebo HCO_3^- k zachování či vyrovnání elektrického náboje (Neumann et Römheld, 1999).

Obsah vodorozpustné síry vykazoval během vegetace významnou dynamiku (tab. VI a obr. 4 a 5) podobně jako uvádí např. Bloem et al. (2001). Vyšší hodnoty byly v obou letech dosahovány při výsevu, tzn. po inkubaci přes zimu. Během prvního měsíce po zasetí obsah vodorozpustné síry výrazně poklesl (až na poloviční hodnoty) zejména z důvodu odběru přístupné síry rostlinami, přičemž výrazněji při pěstování na síru náročnější hořčice. Pokles pokračoval i v dalším měsíci charakterizovaném intenzivním růstem modelových plodin a naopak nižší odběr rostlinami a vyšší uvolňování síranů např. mineralizací lze pozorovat až během měsíce června a signifikantně nejvyšší hodnoty jsou dosahovány při sklizni na přelomu července a srpna, a to zvláště v roce 2006 při pěstování hořčice bílé. Svou roli tu sehrává omezující

vliv kořenů rostlin a hlavně odběr síry rostlinami, ale také optimální podmínky pro mineralizaci a také oxidaci elementární síry na variantách s její aplikací.

Také zapravení slámy se v množství vodorozpustné síry v půdě vysoce významně projevilo. Srovnání působení pšeničné a řepkové slámy oproti kontrole udává tabulka VI a obr. 4. Průměrné hodnoty obsahu vodorozpustné síry u kontroly a po aplikaci pšeničné slámy jsou srovnatelné, zatímco po zapravení řepkové slámy je obsah vodorozpustné síry v průměru o 31 % vyšší.

Množství přístupné síry v půdě může půdní organická hmota významně ovlivnit. Zapravení posklizňových zbytků s nízkým obsahem síry (např. sláma obilnin) může snižovat přístupnost síry rostlinám (Wu et al., 1993). V sírou deficitních oblastech může podle Chapmana (1997) zapravení posklizňových zbytků s nízkým obsahem síry vést k retardaci růstu rostlin a ke zpomalování rozkladu této organické hmoty. Množství přístupné síry je tedy závislé na míře její imobilizace, která podle Wu et al. (1995) vzrůstá proporcionálně s nárůstem poměru C : S dodávaného organického materiálu, zejména v počátečních fázích.

V laboratorních inkubačních pokusech se slámou ječmene sledoval Chapman (1997) nárůst imobilizace síry, pokud se koncentrace síry pohybovala mezi 0,04 a 0,07 % v sušině, a současně zpomalování mineralizace. Kritickou hodnotou byla stanovena koncentrace 0,13 % síry v sušině a poměr C : S organické hmoty rovnající se 340. Podobně u pšeničné slámy je podle Stewarta et al. (1966) k minimalizaci imobilizace síry a k zajištění maximální míry rozkladu třeba koncentrace alespoň okolo 0,15 % síry v sušině.

Obsah síry v pšeničné slámě použité v experimentech byl 0,10 % v sušině a v řepkové slámě potom 0,42 % (viz tab. III). S tím souvisí také poměr C : S,

kteří činil 543 u slámy pšenice a 132 u slámy řepkové. Podle Eriksena (2005) může mít pšeničná sláma poměr C : S až 600 : 1 a dá se očekávat silná imobilizace síry. Naopak stonky řepky, které tvoří velký podíl celkové suché hmoty, obsahují větší množství síry než je v šešulích a semenech a navracejí tak významný podíl síry zpět do půdy (McGrath et Zhao, 1996). Řepka tak jako předplodina může mít blahodárný vliv na zvýšení přístupnosti síry pro následnou plodinu (Vong et al., 2004).

Výsledky dvouletého experimentu úzce korespondují s uvedenými zjištěními. Snížení obsahu vodorozpustné síry v půdě po aplikaci pšeničné slámy lze pozorovat při výsevu, tzn. po zimní inkubaci a také při sklizni, tzn. v období bez aktivního vlivu kořenů pěstovaných rostlin. Míra imobilizace ovšem není průkazná, což odpovídá závěrům práce Eriksena (2005), který uvádí, že míra mineralizace a imobilizace síry z pšeničné slámy je na přibližně stejné úrovni.

Elementární síra působila zvýšení obsahu vodorozpustné síry v průměru více než dvojnásobně. Největší rozdíly byly zaznamenány v období bez aktivního ovlivnění kořeny rostlin, tzn. po zimní inkubaci při výsevu a při sklizni modelových rostlin. Na vzniku síranů, hlavní složky vodorozpustné síry, oxidací elementární síry měla lepší vliv hořčice díky oxidační aktivitě heterotrofních bakterií žijících na kořenech brukvovitých (viz výše). Podzimní aplikace pozvolně působící elementární síry se tak jeví jako vhodné opatření pro kontinuální zásobení především na síru náročnějších rostlin. Podmínkou ovšem zůstává dostatečná vlhkost a teplota půdy, co nejmenší velikost částic elementární síry a aktivita autotrofních bakterií (rodu *Thiobacillus*) a také heterotrofní biomasy (Tisdale et al., 1993; Donald et Chapman, 1998; Janzen et Bettany, 1987; Lawrence et Germida, 1988).

VI: Analýza variance obsahu vodorozpustné síry v půdě

Faktor	s. v.	Obsah vodorozpustné síry (mg.kg ⁻¹)
		Průměrný čtverec
Plodina	1	4048,2***
Termín odběru	4	5590,9***
Aplikace slámy	2	1958,5**
Elementární síra	1	25415,0***
Chyba	87	346,0
Celkem	95	

s. v. = stupně volnosti

** = P > 0,99

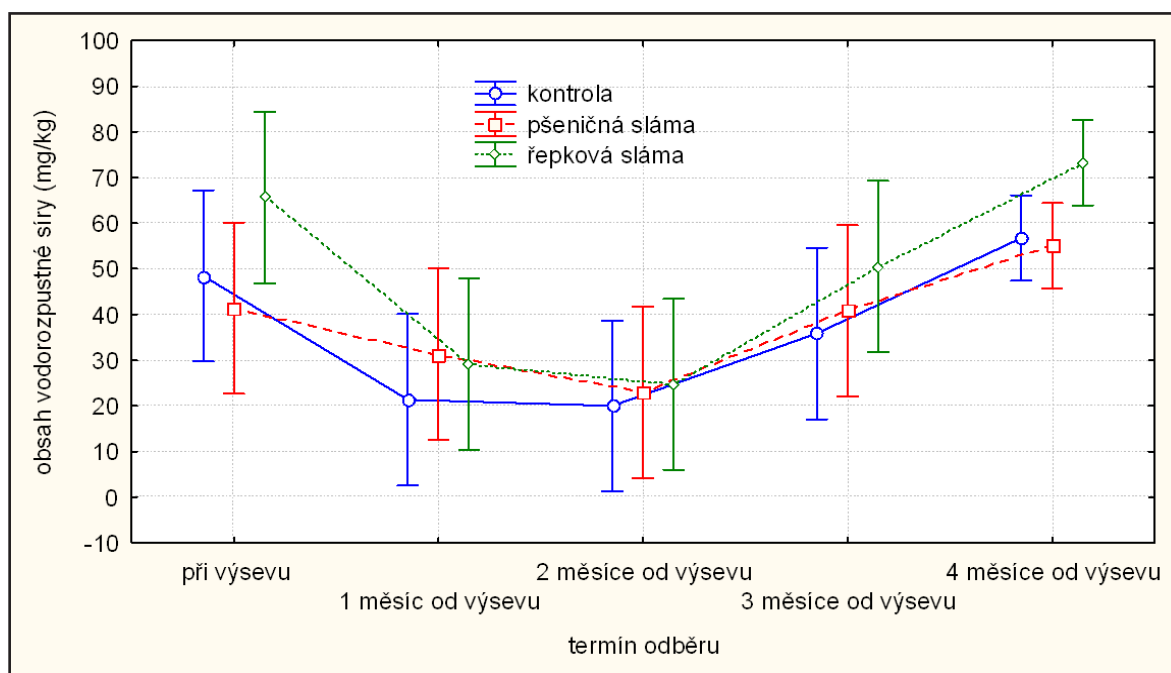
*** = P > 0,999

VI: Průměrný obsah vodorozpustné síry v půdě při pěstování pšenice jarní v roce 2005 a hořčice bílé v roce 2006 a průkaznost jejich rozdílů podle Tuckeye

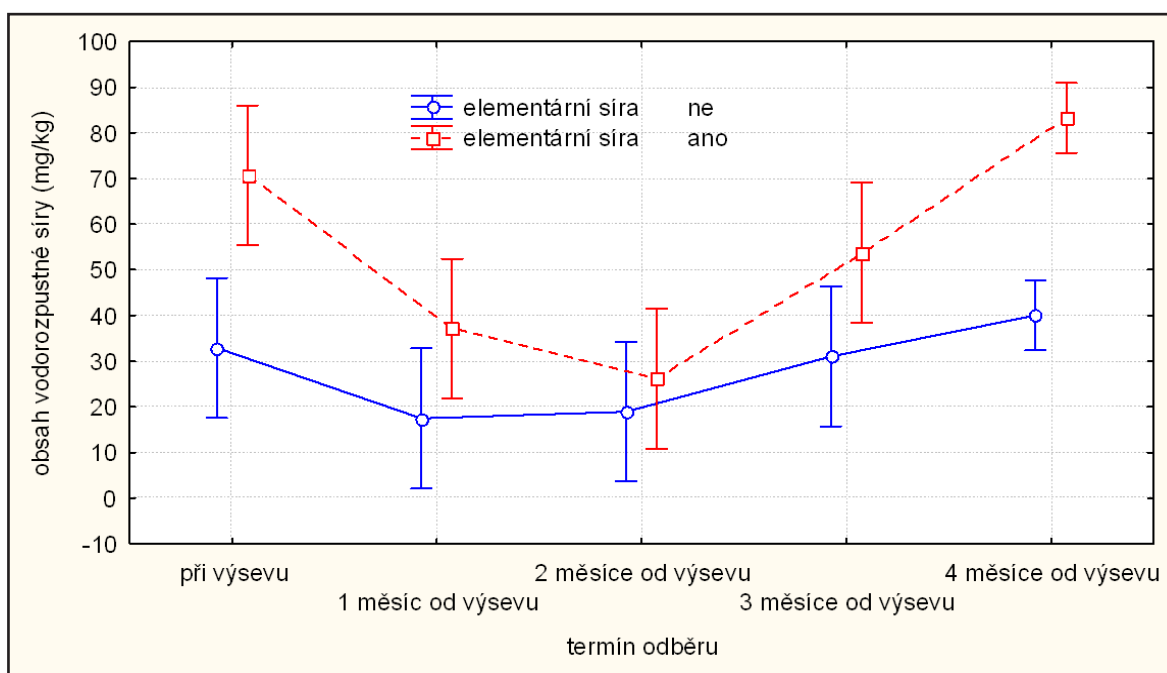
Faktor	Úroveň faktoru	n	Obsah vodorozpustné síry (mg.kg ⁻¹)
			$\bar{x} \pm s_x$
Plodina	pšenice jarní	48	42,35 ^a \pm 18,15
	hořčice bílá	48	55,33 ^b \pm 37,56
Termín odběru	při výsevu	12	51,81 ^{ab} \pm 25,04
	1 měsíc po výsevu	12	27,30 ^a \pm 15,41
	2 měsíce po výsevu	12	22,55 ^a \pm 5,73
	3 měsíce po výsevu	12	42,39 ^{ab} \pm 16,06
	4 měsíce po výsevu (sklizeň)	48	61,67 ^b \pm 32,87
Aplikace slámy	Kontrola (nehnojeno)	32	44,08 ^a \pm 29,13
	sláma pšenice	32	44,57 ^a \pm 26,39
	sláma řepky	32	57,87 ^b \pm 33,13
Elementární síra	ne	48	32,57 ^a \pm 17,79
	ano	48	65,11 ^b \pm 31,13

Pozn.: Průměry jednotlivých variant se významně ($P > 0,95$) neliší, pokud je za nimi uveden shodný horní index.

n – počet pozorování



4: Dynamika obsahu vodorozpustné síry v půdě po dodávce slámy



5: Dynamika obsahu vodorozpustné síry v půdě po dodávce elementární síry

ZÁVĚR

Z dvouletých vegetačních nádobových pokusů s posuzováním vlivu dodávky slámy a elementární síry na obsah vodorozpustné síry v půdě vyplývají následující závěry:

- Množství vodorozpustné síry bylo při pěstování hořčice bílé o 20 % vyšší, což mohl částečně ovlivnit také teplejší ročník 2006, oproti ročníku 2005, kdy byla pěstována pšenice jarní.
- Obsah vodorozpustné síry vykazoval během vegetace významnou dynamiku. Vyšší hodnoty byly v obou letech pozorovány před výsevem modelových rostlin, tzn. po inkubaci přes zimu, během vegetace došlo ke snížení obsahu vodorozpustné síry a průkazně nejvyšší hodnoty vykazovaly obsahy síry při sklizni modelových plodin.

- Zapravení slámy se v množství vodorozpustné síry v půdě vysoce významně projevilo. Průměrné hodnoty obsahu vodorozpustné síry u kontroly a po aplikaci pšeničné slámy jsou srovnatelné, zatímco po zapravení řepkové slámy je obsah vodorozpustné síry v průměru o 31 % vyšší. Snížení obsahu vodorozpustné síry v půdě, její imobilizaci, po aplikaci pšeničné slámy lze pozorovat při výsevu, tzn. po zimní inkubaci, a také při sklizni, tzn. v období bez aktivního vlivu kořenů pěstovaných rostlin.
- Elementární síra působila zvýšení obsahu vodorozpustné síry v průměru více než dvojnásobně. Největší rozdíly byly zaznamenány v období bez aktivního ovlivnění kořeny rostlin, tzn. po zimní inkubaci při výsevu a při sklizni modelových rostlin.

SOUHRN

V letech 2005 až 2006 byl ve vegetačních nádobových pokusech na humózní lehké písčité zemině ve vegetační hale Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně sledován vliv dodávky dvou druhů slámy a elementární síry na obsah vodorozpustné síry v půdě. Problematika byla řešena prostřednictvím následujícího schématu variant: 1. nehněžená kontrola, 2. pšeničná sláma, 3. řepková sláma, 4. ES, 5. pšeničná sláma + ES, 6. řepková sláma + ES. Dávka obou druhů slam byla zvolena 32 g sušiny a elementární síra byla aplikována v dávce 0,42 g na nádobu, tzn. na 6 kg zeminy. Nevyhovující poměr C:N u slam byl optimalizován na 25:1 doplněním dusíku v močovíně. Před výsevem modelové plodiny (pšenice jarní v roce 2005, resp. hořčice bílé v roce 2006) a dále v pravidelných měsíčních intervalech až do sklizně, celkem pětkrát ročně) proběhly odběry zeminy. Obsah vodorozpustné síry v půdě byl hodnocen

multifaktoriální analýzou rozptylu, při níž byl sledován vliv pěstované plodiny, termínu odběru zeminy, aplikace slámy a elementární síry.

Množství vodorozpustné síry bylo při pěstování hořčice bílé o 20 % vyšší, což mohl částečně ovlivnit také teplejší ročník 2006, oproti ročníku 2005, kdy byla pěstována pšenice jarní. Obsah vodorozpustné síry vykazoval během vegetace významnou dynamiku. Vyšší hodnoty byly v obou letech pozorovány před výsevem modelových rostlin, tzn. po inkubaci přes zimu, během vegetace došlo ke snížení obsahu vodorozpustné síry a průkazně nejvyšší hodnoty vykazovaly obsahy síry při sklizni modelových plodin.

Zapravení slámy se v množství vodorozpustné síry v půdě vysoce významně projevilo. Průměrné hodnoty obsahu vodorozpustné síry u kontroly a po aplikaci pšeničné slámy jsou srovnatelné, zatímco po zapravení řepkové slámy je obsah vodorozpustné síry v průměru o 31 % vyšší. Snížení obsahu vodorozpustné síry v půdě, její imobilizaci, po aplikaci pšeničné slámy lze pozorovat při výsevu, tzn. po zimní inkubaci, a také při sklizni, tzn. v období bez aktivního vlivu kořenů pěstovaných rostlin.

Elementární síra působila zvýšení obsahu vodorozpustné síry v průměru více než dvojnásobně. Největší rozdíly byly zaznamenány v období bez aktivního ovlivnění kořeny rostlin, tzn. po zimní inkubaci při výsevu a při sklizni modelových rostlin.

vodorozpustná síra, pšenice jarní, hořčice bílá, půda, sláma, elementární síra

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za finanční podpory projektu Grantové agentury České republiky GP521/04/P093 Změny v přístupnosti síry v půdě po dodání elementární síry a organické hmoty.

LITERATURA

- BARROW, N. J.: A comparison of the mineralization of sulfur from soil organic matter. *Austr. J. Agric. Res.*, 1960, 11, 960–969.
- BLOEM, E., HANEKLAUS, S., SPAROVEK, G., SCHNUG, E.: Spatial and temporal variability of sulphate concentration in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32, 1391–1403.
- ČERNÝ, J., BALÍK, J., TLUSTOŠ, P., NĚMEČEK, R.: Minerální a organický dusík v půdě. In: *Sborník z konference Racionální použití průmyslových hnojiv konané 27. 11. 1997. ČZU v Praze*, 1997, 72–78.
- DONALD, D., CHAPMAN, S. J.: Use of powdered elemental sulphur as a sulphur source for grass and clover. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1998, 29, 1315–1328.
- ERIKSEN, J.: Sulphur cycling in Danish agricultural soils: inorganic sulphate dynamics and plant uptake. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, 29, 1379–1385.
- ERIKSEN, J.: Gross sulphur mineralisation-immobilisation turnover in soil amended with plant residue. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37: 2216–2224.
- GRAYSTON, S. J., GERMIDA, J. J.: Sulfur-oxidizing bacteria as plant growth promoting rhizobacteria for canola. *Can. J. Microbiol.*, 1991, 37, 521–529.
- CHAPMAN, S. J.: Barley straw decomposition and S immobilization. *Soil Biol. Biochem.*, 1997, 29, 109–114.
- JANZEN, H. H., BETTANY, J. R.: Oxidation of elemental sulphur under field conditions in central Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, 1987, 67, 609–618.
- LAWRENCE, J. R., GERMIDA, J. J.: Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am.*, 1988, 152, 672–677.
- MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J.: Sulphur uptake, yield response and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science*, 1996, 126, 53–62.
- MENGEL, K.: Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant Soil*, 1996, 181, 83–93.
- NELSON, L. E.: The effect of crop residues on the growth of turnips and their recovery of sulfur from soils. *Soil Sci.*, 1973, 115, 447–454.
- NEUMANN, G. AND RÖMHELD, V.: Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus deficient plants. *Plant Soil*, 1999, 211, 121–130.
- SCHERER, H. W.: Sulphur in crop production – Invited paper. *Eur. J. Agron.*, 2001, 14, 81–111.
- STEWART, B. A., PORTER, L. K., VIETS, F. G. J.: Effect of sulfur content of straws on rates of decomposition and plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1966, 30, 355–358.
- TABATABAI, M. A., BREMNER, J. M.: Forms of

- sulfur, and carbon, nitrogen and sulfur relationships, in Iowa soils. *Soil Sci.*, 1972, 114, 380–386.
- TISDALE, S. L., RENEAU, R. B. JR, PLATOU, J. S.: Atlas of sulfur deficiency. In: Tabatabai, M.A. (Ed.) *Sulfur in Agriculture*. Agron. Monogr. 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 1986, pp. 295–322.
- TISDALE, S. L., NELSON, W. L., BEATON, J. D., HAVLIN, U.: *Soil fertility and fertilizers*. Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- VEGRICHT, J., AMBROŽ, P.: Vývoj technických a technologických systémů pro chov skotu. *Bulletin Odboru agrochemie, půdy a výživy rostlin, ročník XIV., číslo 1*, ÚKZÚZ Brno, 2006, s. 50–58.
- VONG, P. C., DEDOURGE, O., GUCKERT, A.: Immobilization and immobilization of labelled sulphur in relation to soil arylsulphatase activity in rhizosphere soil of field-grown rape, barely and fallow. *Plant and Soil*, 2004, 258: 227–239.
- WU, J., O'DONNELL, A. G., STERA, J. K.: Microbial growth and sulphur immobilization following the incorporation of plant residue into soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 1993, 25, 1567–1573.
- WU, J., O'DONNELL, A. G., SYERS, J. K.: Influences of glucose, nitrogen and plant residues on the immobilization of sulfate-S in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1995, 27, 1363–1370.
- ZBÍRAL, J.: *Jednotné pracovní postupy. Analýza půd I*. SKZÚZ Brno. 1995, 186 s.

Adresa

Ing. Pavel Ryant, Ph.D., Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: ryant@mendelu.cz

