

# THE YIELD REACTION OF MALTING BARLEY ON SULPHUR AND NITROGEN FERTILIZATION

**Babiánek P., Ryant P.**

Department of Agrochemistry, Soil Science, Microbiology and Plant Nutrition, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemedelska 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: petrbastianek@seznam.cz

---

## ABSTRACT

The objective of the two-year pot trial was to assess the effect of sulphur (S) and nitrogen (N) application on the grain and the straw yield of malting barley. There were 5 variants of sulphur fertilization: 1. control variant, not fertilised with S, 2. smaller dose of ammonium sulphate (0.2 g/pot), 3. higher dose of ammonium sulphate (0.4 g/pot), 4. smaller dose of elemental sulphur (0.2 g/pot), 5. higher dose of elemental sulphur (0.4 g/pot). Nitrogen was applied in two doses: smaller dose of 0.4 g per pot and higher dose of 0.6 g per pot. In the year 2008, the significant differences of sulphur application were ascertained in average yield of grain and straw of barley. The fertilization of smaller and higher dose of elemental sulphur with higher dose of nitrogen increased grain yield by 19% and 18% in comparison to the control variant, respectively. In the case of application of smaller dose of nitrogen, the grain yield obtained from the variants of elemental sulphur application was of 9 – 12% higher than control. The ammonium sulphate application statistically did not affect the yield of the grain in comparison to the control. The yield of barley straw was influenced by sulphur fertilization analogous to the yield of the grain. In the year 2009, although average yield followed elemental sulphur application were higher than the control and the variants of ammonium sulphate application, the sulphur fertilization had statistically insignificant effect on the grain and straw yields of malt barley. The dose of applied sulphur statistically did not affect the yield of the grain and the straw of malting barley.

**Key words:** sulphur, nitrogen, fertilization, malting barley

**Acknowledgments:** The study was funded by the “Research Centre for Study of Extract Compounds of Barley and Hop” No. 1M0570.

## ÚVOD

Síra je vedle dusíku, fosforu a draslíku jeden z esenciálních rostlinných elementů, přičemž v zahraničí je z hlediska funkce a potřeby ve výživě rostlin zařazována již delší dobu ihned za dusík (Marschner, 2003). Zásadním způsobem ovlivňuje nejen výši výnosu, ale i zdravotní stav porostu a kvalitu produkce. Síře se dříve věnovala jen malá nebo žádná pozornost a prakticky až do nedávna nebyly na porostech plodin v České republice registrovány výraznější příznaky deficitu síry (Matula, 2007). Dostatečný až nadbytečný přívod síry do půdy byl zajišťován z emisí oxidu siřičitého do atmosféry po spalování fosilních paliv, zejména černého a hnědého uhlí, v tepelných elektrárnách a z balastní složky dřívě používaných hnojiv. Řadou legislativních opatření na snížení emisí síry a vývojem modernějších technologií výroby tzv. „bezbalastních“ minerálních hnojiv došlo k výraznému snížení vstupů síry do agroekosystému. Tím vznikla záporná bilance síry v rostlinné produkci, která vede k stále častějšímu výskytu symptomů nedostatku síry u polních plodin. U deficitních rostlin se snižuje schopnost osvojit si další živiny, především dusík, z minerálních a organických hnojiv, čímž se snižuje efektivita hnojení a naopak zvyšuje nebezpečí vyplavování dusíku a kontaminace spodních vod.

Jednou z možností jak dodat chybějící síru do půdy je používání tradičního dusíkatého hnojiva obsahující síru - síranu amonného. Dalším zajímavým zdrojem síry pro agroekosystém by mohlo být využití elementární síry, vznikající jako odpadní produkt při odsíření pohonných hmot při rafinaci ropy, ke hnojení zemědělských plodin.

V Evropě se většina předchozích studií soustředila na řepku olejku, pšenici, cukrovku a pastviny. Deficity síry se však začínají postupně objevovat nejen u řepky olejky a dalších plodin na síru náročných, ale i u obilnin s nižší biologickou potřebou síry (Zhao *et al.*, 1999; Scherer, 2001). V současnosti se proto obrací pozornost i na potřeby síry pro jarní ječmen.

## MATERIÁL A METODIKA

Problematika výživy ječmene dusíkem a sírou byla řešena v roce 2008 a 2009 formou vegetačního nádobového pokusu. Do Mitscherlichových vegetačních nádob bylo naváženo vždy 6 kg lehké písčité zeminy, jejíž agrochemické vlastnosti udává následující tabulka 1.

Tab. 1 Agrochemické vlastnosti zeminy před založením pokusu

Rok	pH/CaCl <sub>2</sub>	Obsah přístupných živin (mg.kg <sup>-1</sup> )				
		P	K	Ca	Mg	S <sub>vador</sub>
2008	7,43	61	87	2020	117	6,9
2009	7,50	34	159	6262	303	20,9

Pokus byl v obou letech založen aplikací hnojiv do nádob podle schématu v tab. 2

Tab. 2 Schéma pokusu

Varianta číslo	Schéma	Dávka N (g/nádoba)	Dávka S (g/nádoba)
1	Kontrola	0,6	0,0
2	Síran amonný (SA1)	0,6	0,2
3	Síran amonný (SA2)	0,6	0,4
4	Elementární síra (ES1)	0,6	0,2
5	Elementární síra (ES2)	0,6	0,4
6	Kontrola	0,4	0,0
7	Síran amonný (SA1)	0,4	0,2
8	Síran amonný (SA2)	0,4	0,4
9	Elementární síra (ES1)	0,4	0,2
10	Elementární síra (ES2)	0,4	0,4

Pozn.: SA (23,7 % S, 20,9 %N), ES (99,8 % S)

Jednotlivé varianty se lišily hladinou dusíkaté výživy, formou a dávkou síry. Dusík byl aplikován v dávkce 0,6 g N a 0,4 g N. U variant SA1 a SA2 byl dusík dodán částečně již v síranu amonném. Toto množství bylo u variant ES1 a ES2 dorovnáno chloridem amonným. U všech variant byl dusík doplněn dusičnanem amonným na příslušnou hladinu (viz tabulka 2). Hnojiva byla zapravena cca 2 - 3 cm pod povrch zeminy.

Bezprostředně po aplikaci hnojiv byl proveden výsev jarního ječmene odrůdy Jersey. Do každé nádoby bylo vyseto 30 semen ječmene. Po třech týdnech byl porost vyjednocen na 15 rostlin na nádobu. Porost ječmene byl ošetřován proti houbovým chorobám a škůdcům a udržován v bezpevném stavu.

Sklizeň pokusu proběhla ve fázi plné zralosti. Po doschnutí byla nadzemní hmota zvážena, odděleny klasy od stébel a výmlat zrna proběhl na klasové laboratorní mlátičce KMP 2. Při sklizni byla stanovena výše výnosu zrna a slámy. Výnosy zrna a slámy byly hodnoceny vícefaktorovou analýzou rozptylu s využitím softwaru STATISTICA version 8.0 a následné testování významnosti rozdílů bylo provedeno Tuckeyovým testem.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Průměrné hodnoty včetně statistického zhodnocení významnosti jejich rozdílů a variabilita výnosů zrna a slámy na nádobu znázorňuje tabulka 3.

Tab. 3 Výnos zrna a slámy jarního ječmene v roce 2008 a 2009

Rok	Dávka N na nádobu	Varianta	n	Výnos zrna (g na nádobu)			Výnos slámy (g na nádobu)		
				Průměr	Sm. odch.		Průměr	Sm. odch.	
2008	0,6 g	kontrola	8	24,71	a	3,307	22,52	a	2,676
		SA1	8	24,31	a	1,918	22,79	ab	2,361
		SA2	8	25,71	ab	2,023	23,54	abc	1,883
		ES1	8	29,52	bc	2,690	25,63	bc	1,279
		ES2	8	29,09	c	2,821	26,24	c	2,067
	0,4 g	kontrola	4	23,74	ab	0,644	21,08	ab	0,877
		SA1	4	23,71	ab	1,953	19,72	a	1,506
		SA2	4	21,94	a	1,227	19,15	a	0,996
		ES1	4	26,81	b	2,497	25,33	c	1,008
		ES2	4	25,95	ab	2,376	23,70	bc	2,177
2009	0,6 g	kontrola	8	24,74	a	0,833	22,08	a	1,425
		SA1	8	24,20	a	0,843	22,45	a	0,747
		SA2	8	24,32	a	1,390	23,57	a	1,909
		ES1	8	24,79	a	2,071	24,26	a	2,361
		ES2	8	23,69	a	1,754	22,47	a	1,637
	0,4 g	kontrola	4	20,19	a	0,682	19,06	a	0,963
		SA1	4	19,78	a	1,505	20,16	a	0,741
		SA2	4	19,27	a	0,540	19,24	a	1,021
		ES1	4	20,51	a	0,877	19,33	a	1,093
		ES2	4	21,04	a	0,805	19,21	a	0,441

Pozn.: n – počet pozorování

Při posouzení výnosu zrna sladovnického ječmene pěstovaného v nádobovém pokusu v roce 2008 lze pozorovat pozitivní vliv hnojení elementární sírou, které se projevilo na obou úrovních dusíkaté výživy.

Při hladině dusíku 0,6 g na nádobu převyšoval průměrný výnos zrna na variantách s elementární sírou o 19 % u ES1, respektive o 18 % u ES2 výnos zrna kontrolní varianty. V obou případech šlo o statisticky průkazné navýšení. Statisticky průkazné rozdíly byly zjištěny i při porovnání těchto variant s variantami hnojenými síranem amonným. Nižší dávka elementární síry působila na výnos zrna statisticky průkazně lépe oproti variantě SA1, vyšší dávka elementární síry pak zapříčinila statisticky vyšší výnos zrna oproti oběma variantám hnojených síranem amonným.

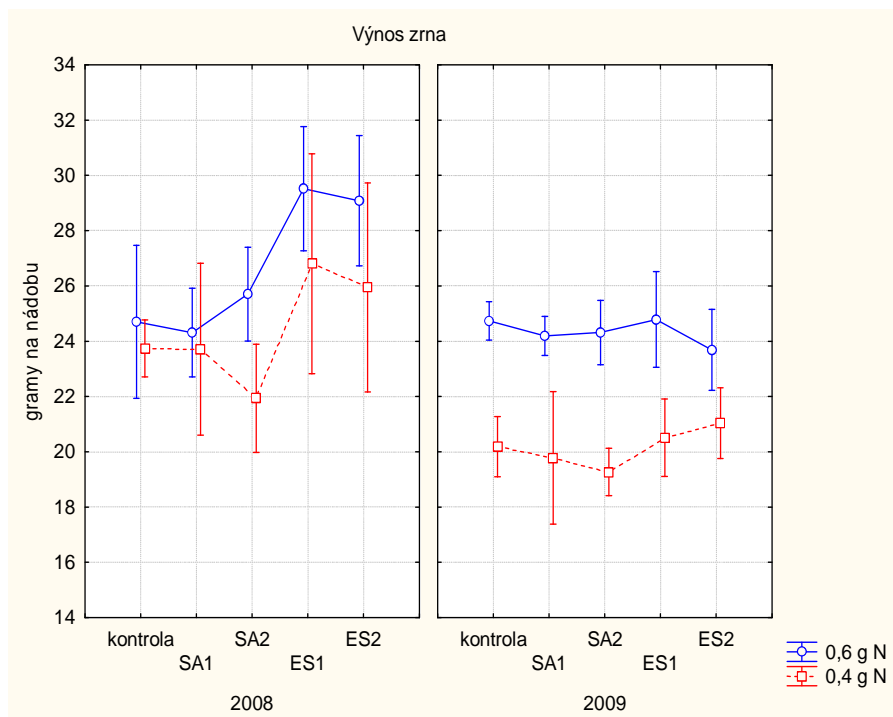
U výnosu zrna jarního ječmene pěstovaného při úrovni 0,4 g dusíku na nádobu lze pozorovat podobné tendence jako u ječmene s vyšší dávkou dusíku. Opět lze sledovat lepší výnosovou reakci na hnojení elementární sírou proti kontrole i variantám s aplikací síranu amonného. Hnojení nižší dávkou elementární síry statisticky významně zvýšilo výnos zrna, oproti variantě SA2, a to v průměru o 22 %. Navýšení výnosu zrna ječmene u variant hnojených elementární sírou bylo vůči variantě

kontrolní statisticky neprůkazné, a to pravděpodobně z důvodu vyšší variability dosažených hodnot výnosu jednotlivých variant. Přesto varianta ES1 dosáhla vyššího výnosu zrna o 13 %, oproti kontrole, varianta ES2 pak o 9 %. Hnojení síranovou sítou způsobilo v roce 2008 u obou hladin dusíkaté výživy ječmene spíše mírnou depresi výnosu zrna. Snížení výnosu po aplikaci síranové síry nebylo však statisticky průkazné.

Hnojení elementární sírou mělo pozitivní vliv na výnos zrna jarního ječmene i v roce 2009, a to především v porovnání s aplikací síranu amonného. Nejvyšších výnosů zrna ječmene pěstovaného při vyšší dávce dusíku, 0,6 g na nádobu, bylo dosaženo po hnojení nižší dávkou elementární síry. V případě ječmene pěstovaného při nižší úrovni dusíkaté výživy (0,4 g na nádobu) byl získán nejvyšší průměrný výnos u varianty ES2, druhý nejvyšší pak opět po hnojení nižší dávkou elementární síry. Přestože výnosy zrna varianty ES1 a ES 2 jsou vyšší než výnosy kontrolní varianty a variant hnojených síranem amonným, jsou zjištěné rozdíly těchto výnosů statisticky neprůkazné. Opět však lze sledovat, především u nižší hladiny dusíkaté výživy, nevýrazné a statisticky neprůkazné snížení výnosu zrna po hnojení síranem amonným oproti kontrole a aplikaci elementární síry.

Vliv formy a dávky aplikované síry a dávky dusíku na výnos zrna ječmene v roce 2008 a 2009 udává graf 1.

Graf 1 Vliv formy a dávky aplikované síry a dávky dusíku na výnos zrna ječmene v roce 2008 a 2009



Průměrné hodnoty výnosů slámy jednotlivých variant hnojení dusíkem a sírou do značné míry kopírují tendence, které vykazují hodnoty výnosů zrna.

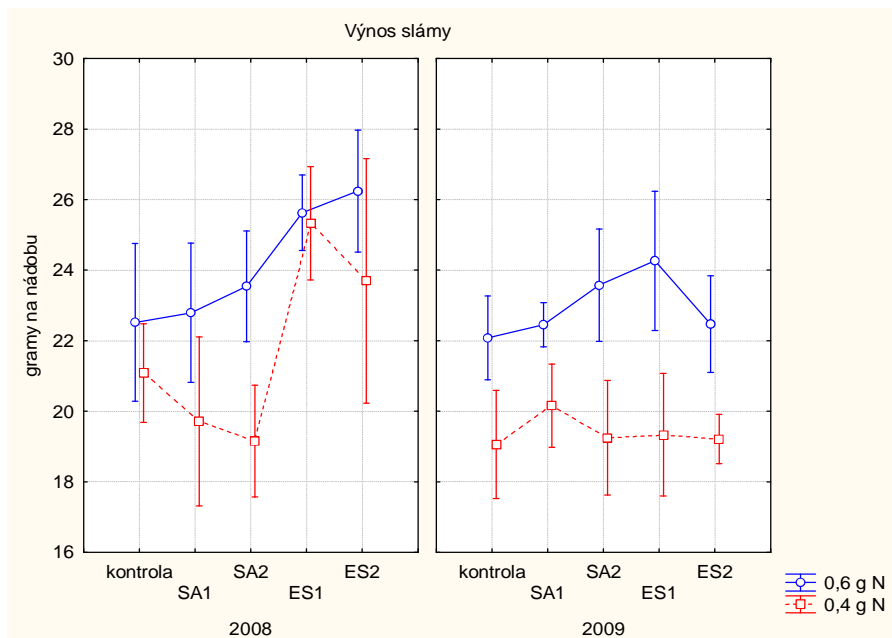
Výraznější vliv aplikované síry je patrný především v roce 2008, kdy působila opět nejlépe síra elementární. Vyšší dávka elementární síry s aplikací 0,6 g dusíku na nádobu zvýšila statisticky průkazně výnos slámy oproti kontrole i variantě s hnojením nižší dávkou síranu amonného. Hnojení nižší a vyšší dávkou elementární síry statisticky průkazně zvýšilo výnos slámy, oproti kontrole, a to v průměru o 14 %, respektive o 17 %.

Při nižší dávce dusíku (0,4 g na nádobu) vykázal jarní ječmen pěstovaný v roce 2008 nejvyšší výnos slámy u varianty s nižší dávkou elementární síry, který byl statisticky průkazně vyšší než průměrný výnos slámy varianty kontrolní. Průměrné výnosy obou variant s aplikací elementární síry statisticky významně převyšovaly průměrné výnosy obou variant hnojených síranovou formou síry. Po aplikaci síranu amonného došlo k statisticky neprůkaznému snížení výnosu i oproti sírou nehnojené kontrole.

Rozdíly hodnot výnosů slámy jednotlivých variant nebyly v roce 2009 statisticky průkazné. Presto lze vypožorovat prospěšný vliv aplikované síranové i elementární síry v obou dávkách, a to na obou hladinách dusíku. Všechny varianty hnojené sírou dosáhly vyššího výnosu slámy ječmene než varianty kontrolní.

Vliv formy a dávky aplikované síry a dávky dusíku na výnos slámy ječmene v roce 2008 a 2009 udává graf 2.

Graf 2 Vliv formy a dávky aplikované síry a dávky dusíku na výnos slámy ječmene v roce 2008 a 2009



Z tabulky 4, porovnávací vliv formy aplikované síry na výnos zrna a slámy sladovnického ječmene souhrnně pro oba roky experimentu, vyplývá pozitivní statisticky průkazný vliv hnojení elementární sírou. Aplikovaná síranová síra mírně a statisticky nevýznamně snížila, průměrný výnos zrna pěstovaného ječmene o 1,4 %, naopak síra elementární jej zvýšila v průměru o 8 %. V případě výnosu slámy došlo k navýšení výnosu po aplikaci síranové a elementární síry o 1,7 %, respektive o 10,1 %.

Tab. 4 Vliv formy aplikované síry na výnos zrna a slámy sladovnického ječmene

Forma síry	Výnos zrna (g)	Výnos zrna (%)	Výnos slámy (g)	Výnos slámy (%)
Bez	23,80 a	100,0	21,56 a	100,0
Síranová	23,48 a	98,6	21,92 a	101,7
Elementární	25,71 b	108,0	23,73 b	110,1

Dávka aplikované síry neměla statisticky průkazný vliv na výši výnosu zrna a slámy pěstovaného jarního ječmene (viz tabulka 5). Přesto lze vypočítat navýšení průměrného výnosu zrna i slámy po hnojení oběma dávkami síry oproti variantám bez sírné aplikace. Nejlépe působila nižší dávka síry (0,2 g na nádobu), která zvýšila průměrný výnos zrna a slámy, o 3,8 %, respektive 6,2 %. Vyšší dávka síry (0,4 g na nádobu) přispěla k mírnějšímu nárůstu výnosu zrna a slámy, a to o 2,9 %, resp. o 5,5 % oproti kontrole.

Tab. 5 Vliv dávků aplikované síry na výnos zrna a slámy sladovnického ječmene

Dávka síry (g/nádobu)	Výnos zrna (g)	Výnos zrna (%)	Výnos slámy (g)	Výnos slámy (%)
0,0	23,80 a	100,0	21,56 a	100,0
0,4	24,70 a	103,8	22,90 a	106,2
0,6	24,48 a	102,9	22,75 a	105,5

## DISKUZE

Scott *et al.* (1984), pravděpodobně jako první v novodobé historii, zjistili po aplikaci síry významné zvýšení přírůstků výnosů zrna ozimého ječmene o 5 až 18 % na písčitéch půdách severovýchodního Skotska. Skwierawska *et al.* (2008) popisuje ve své práci malý, avšak průkazný pozitivní vliv aplikace síry na výnos zrna jarního ječmene. I v našem experimentu jsme zjistili pozitivní vliv aplikované síry na výnos zrna i slámy sladovnického ječmene.

Watkinson (1993) popisuje srovnatelný vliv aplikované elementární síry na pšenici s hnojivou síranovou formou síry. V pokusu porovnávací efekt elementární síry s thiosulfátem a síranovou sírou na pšenici došli Mitchell *et Mullings* (1990) k podobnému závěru. V našem nádobovém pokusu se sladovnickým ječmenem jsme zjistili statisticky neprůkazný vliv síranové formy síry na výnos zrna i slámy ječmene. Naopak aplikace elementární síry statisticky průkazně zvýšila výnos zrna i slámy oproti kontrole i síranové formě síry. Lepší působení elementární síry oproti síranové formě může být vysvětleno rozdílností v příjmu jednotlivých forem síry rostlinami, které popisují Haneklaus *et al.* (2007) v případě foliární aplikace těchto forem síry. Foliárně aplikovaná síranová forma síry se dostává do rostliny mnohem rychleji než síra elementární. Síranové jsou však následně z velké části zachycovány ve vakuolách, nejsou tím pádem rostlinou využívány na tvorbu výnosu.

Lepších výsledků dosahovala aplikovaná elementární síra, což bývá vysvětlováno faktem, že před samotným příjmem rostlinou musí být  $S^0$  nejprve oxidována na sírany. Přeměna elementární síry na sírany je pozvolný proces a postupně vznikající sírany plynuleji zásobují rostliny. Tím lépe korespondují s aktuálními metabolickými požadavky rostlin na síru a nedochází tedy k nepřiměřenému zvýšení koncentrace síranů v cytosolu a jejich následné depozici do vakuol (Haneklaus *et al.*, 2007).

Z tabulky 5 porovnávající vliv dávky aplikované síry na výnos zrna a slámy sladovnického ječmene souhrnně pro oba roky experimentu, je možné vyčíst příznivé působení aplikované síry bez ohledu na formu. Vyššího výnosu zrna a slámy bylo dosaženo po hnojení nižší dávkou síry (0,2 g na nádobu) než v případě dávky dvojnásobné (0,4 g síry na nádobu).

K podobným závěrům dospěli i Skwierawska *et al.* (2008), kteří po aplikaci síranové formy síry uvádí nejvyšší výnos zrna po hnojení 80 kg síry na hektar, v případě elementární formy síry vycházela nejlépe dávka 40 kg síry na hektar. Podobný vztah byl vyzorován i u výnosu slámy. Vyšší dávky síry (120 kg síranové síry, 80 a 120 kg elementární síry) pak, v porovnání s výše uvedenými dávkami, výnos mírně snižovaly. Tyto zjištění korespondují s nižší biologickou náročností jarního ječmene na síru, která činí 4,0 – 4,2 kg síry na 1 tunu zrna a odpovídající množství slámy (Richter *et al.*, 2006), což je několikanásobně méně než je tomu u na síru náročné řepky olejky.

Příznivý vliv obou forem aplikované síry na výnosy slámy jarního ječmene byl patrný v obou letech pokusu. Hnojení sírou se kladně projevilo na výnosech zrna ječmene především v prvním roce experimentu. V roce 2009 byla výnosová reakce pěstovaného jarního ječmene na hnojení sírou méně výrazná a statisticky neprůkazná. Nevýrazná výnosová reakce po aplikaci síry v roce 2009 mohla být způsobena dostatečnou zásobou vodorozpustné síry v použité zemině (20,9 mg.kg<sup>-1</sup>). Naproti tomu zemina použitá v roce 2008 obsahovala pouze 6,9 mg.kg<sup>-1</sup>. Tato nízká zásoba síry pravděpodobně dostatečně nepokryla nároky pěstovaného ječmene na síru, a tím umožnila výnosovou reakci ječmene na hnojení sírou. K podobným výsledkům dospěli ve svém experimentu McGrath *et al.* (1996) kteří uvádějí, že na půdách s nízkým obsahem síry došlo po její aplikaci k ječmeni ke zvýšení výnosů o 4 - 40 % oproti sírou nehnojené kontrole. Také Zhao *et al.* (2006) uvádějí značnou výnosovou reakci na dodání síry na lokalitách s síry obsahem od 2,8 do 4,1 mg.kg<sup>-1</sup> a naopak lokality s obsahem vodorozpustné síry mezi 6,4 a 14 mg.kg<sup>-1</sup> vykazovaly velmi nízkou nebo žádnou výnosovou odpověď na hnojení ječmene sírou.

## ZÁVĚR

V roce 2008 byl pozorován statisticky průkazný pozitivní vliv aplikované elementární síry na výnos zrna a slámy ječmene oproti sírou nehnojené kontrole i variantám s aplikací síranu amonného, a to při obou úrovních dusíkaté výživy. Rozdíly hodnot výnosů zrna a slámy jednotlivých variant byly v roce 2009 statisticky neprůkazné, přesto lze i v tomto roce sledovat příznivý vliv hnojení elementární sírou na výnos zrna ječmene. Na výnos slámy působil kladně také síran amonný.

Při porovnání forem aplikované síry, působila elementární síra na výnos zrna a slámy ječmene statisticky průkazně lépe než síra síranová.

Dávka aplikované síry neměla statisticky průkazný vliv na vyšší výnosu zrna a slámy pěstovaného ječmene.



## LITERATURA

- Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., De Kok L. J., Stulen I. (2007): Sulphur. In: Barker A. V., Pilbeam D. J.: Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group, LLC. 183 – 238. ISBN 0□8247□5904□4.
- Marschner H. (2003): Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> edition. Elsevier science & technology books, 889.
- McGrath S. P., Zhao F. J., Withers P. J. A. (1996): Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. The Fertilizer Society, London, 1 – 47.
- Matula J. (2007): Výživa a hnojení sírou. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha 6-Ruzyně, 39. ISBN 978-80-87011-15-7.
- Mitchell L. C., Mullings G. L. (1990): Sources, rates and time of sulphur application to wheat. Sulphur in Agriculture 14, 20 – 24.
- Richter R., Hřivna L., Ryant P. (2006): Výživa a hnojení ječmene jarního. In: Zimolka J., Cerkal R., Dvořák J., Edler S., Ehrenbergerová J., Hřivna L., Kamler J., Klem K., Milotová J., Míša P., Procházková B., Psota V., Richter R., Ryant P., Tichý F., Vaculová M., Vejražka K. (2006): Ječmen - formy a užitkové směry v České republice. Profi Press, Praha, 200.
- Scherer H. W. (2001): Sulphur in crop production – invited paper. European Journal of Agronomy, 14: 88 - 111.
- Scott N. M., Dyson P. W., Ross J., Sharp G. S. (1984): The effect of sulphur on yield and chemical composition in winter barley. J. Agric. Sci., Cambridge, 103: 699 - 702.
- Skwierawska, M., Zawartka, L., Zawadzki, B. (2008): The effect of different rates and forms of applied sulphur on nutrient composition of planted crops. Plant, Soil and Environment, 54(5): 179 - 189.
- Watkinson J. H. (1993): Oxidation rate of elemental sulphur particles with a wide range of sizes. Austr. J. Soil Res. 31, 67 – 72.
- Zhao F. J., Fortune S., Barbosa V. L., McGrath S. P., Stobart R., Bilsborrow P. E., Booth E. J., Brown A., Robson P. (2006): Effects of sulphur on yield and malting quality of barley. Journal of Cereal Science 43: 36 - 377.
- Zhao F. J., Hawkesford M. J., McGrath S. P. (1999): Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. J. Cereal Sci., 30: 1 – 17.