

## Vliv aplikace N a S na chemické složení zrna ječmene a sladu

### *Influence of Application N and S on the Chemical Composition of Barley Corn and Malt*

LUDEK HRIVNA<sup>1</sup>, TOMÁŠ RADOCH<sup>1</sup>, TOMÁŠ GREGOR<sup>1</sup>, VIERA ŠOTTNÍKOVÁ<sup>1</sup>, RADIM CERKAL<sup>2</sup>, PAVEL RYANT<sup>3</sup>, JOSEF PROKEŠ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno / *Dpt. of Food Technology, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

<sup>2</sup>Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno / *Dpt. of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

<sup>3</sup>Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno / *Dpt. of Agrochemistry, Soil Science, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

<sup>4</sup>Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., Sladařský ústav v Brně, Mostecká 7, 614 00 Brno / *Research Institute of Brewing and Malting, Plc., Malting Institute in Brno, Mostecká 7, 614 00 Brno, Czech Republic*

e-mail ludek.hrivna@mendelu.cz

**Hřivna, L. – Radoch, T. – Gregor, T. – Šottníková, V. – Cerkal, R. – Ryant, P. – Prokeš, J.: Vliv aplikace N a S na chemické složení zrna ječmene a sladu.** Kvasny Prum. 57, 2011, č. 7–8, s. 223–230.

V rámci maloparcelních polních pokusů byl v letech 2005–2009 sledován vliv aplikace síry a dusíku ( $N_1 = 30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $N_2 = 50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) během vegetace na obsah škrobu a bílkovin v zru ječmene odrůdy Jersey. Dále byl stanoven obsah sirných aminokyselin v zru ječmene i sladu a obsah prekursorů dimethylsulfidu ve sladu. V průměru nejvyšší obsah škrobu (64,12 %) byl stanoven po opakované aplikaci hnojiva SAM 240, nejnižší (63,42 %) vykazovalo zru po hnojení LAV 27 s následným dohnojením DAM. Síranová síra aplikovaná v hnojení SAM 240 ve fázi DC 31 stabilizovala obsah škrobu v zru při vyšších dávkách dusíku. Byla stanovena středně silná závislost ( $r = 0,503^{**}$ ) mezi obsahem síry v zru a obsahem škrobu. Vyšší dávka dusíku zvyšovala obsah N v zru o 0,12 %, v kombinaci s hnojením sírou to bylo o 0,24 %. Hnojení sírou podpořilo příjem a utilizaci N, což dokládá i středně silná závislost mezi obsahem dusíku a síry v zru ječmene ( $r = 0,503^{**}$ ). Obsah sirných aminokyselin v zru ječmene a prekursorů dimethylsulfidu ve sladu sirnou výživou výrazněji ovlivněn nebyl.

**Hřivna, L. – Radoch, T. – Gregor, T. – Šottníková, V. – Cerkal, R. – Ryant, P. – Prokeš, J.: Influence of application N and S on the chemical composition of barley corn and malt.** Kvasny Prum. 57, 2011, No. 7–8, p. 223–230.

Within the scope of small-scale fields' experiments, the influence of application of sulphur and nitrogen ( $N_1 = 30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $N_2 = 50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) on the content of starch and proteins in barleycorn of Jersey variety was observed during vegetation in 2005 to 2009. There were also determined the content of sulphur amino acids in barleycorn and malt, and the content of precursors of dimethyl sulfide in malt. On average the highest content of starch (64,12 %) was detected after repeated application of fertilizer SAM 240, the lowest content (63,42 %) was detected after fertilization by LAV 27 in grain with subsequent fertilization DAM. Sulphate sulphur applied in fertilizer SAM 240 in DC 31 stage stabilized the content of starch in grain when using of higher doses of nitrogen. There was determined a medium dependence between the content of sulphur and starch. Higher dose of nitrogen rose the content of N in corn by 0,12 % and in combination with fertilization by sulphur it was by 0,24 %. Fertilization by sulphur rose the intake and utilization of N which is also proved by the medium dependence between the content of nitrogen and sulphur in barleycorn ( $r = 0,503^{**}$ ). The content of sulphur amino acids of nitrogen in barleycorn and precursors of dimethyl sulfide in malt was not significantly affected by sulphur supplements.

**Hřivna, L. – Radoch, T. – Gregor, T. – Šottníková, V. – Cerkal, R. – Ryant, P. – Prokeš, J.: Der Einfluss der Stickstoff- und Schwefelapplikation auf die chemische Zusammensetzung des Gerste- und Malzkornes.** Kvasny Prum. 57, 2011, Nr. 7–8, S. 223–230.

Im Zeitraum 2005–2009 wurde im Rahmen der Kleinversuchsparzellenfeldversuche der Einfluss der Stickstoff- und Schwefelapplikation ( $N_1 = 30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $N_2 = 50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) während der Vegetation auf den Gehalt an Stärke und Proteine im Gerstenkorn der Sorte Jersey durchgeführt. Weiterhin wurde der Gehalt an Schwefelaminosäure und Prekursore DMS im Gersten- und Malzkorn analysiert. Im Durchschnitt wurde der höchste Gehalt an Stärke (64,12 %) nach der wiederholten Düngapplikation SAM 240, der niedrigste (63,42%) wies der Korn nach der Düngapplikation LAV 27 mit folgender Applikation der Düng DAM auf. Der in der Düng SAM 240 in der Phase DC31 applizierte Sulphatschwefel hat bei den höheren Stickstoffdosierungen den Gehalt an Stärke im Korn stabilisiert. Zwischen dem Gehalt an Schwefel im Korn und dem Gehalt an Stärke im Korn wurde eine mittlere Abhängigkeit ( $r = 0,503^{**}$ ) festgestellt. Die höhere Stickstoffdosierung hat den N-Gehalt im Korn um 0,12 %, in Kombination mit Schwefel um 0,24 % erhöht. Die Düngung mit Schwefel hat den Empfang und Utilisation des Stickstoffes unterstützt, was die mittlere Abhängigkeit ( $r = 0,503^{**}$ ) beweist. Der Gehalt an Schwefelaminosäuren im Gerstenkorn und Gehalt an DMS Prekursore im Malz durch Schwefeldüngen wurde nicht beeinflusst.

**Klíčová slova:** síra, dusík, ječmen, slad, škrob, bílkoviny, aminokyseliny, prekursori dimethylsulfidu

**Keywords:** sulphur, nitrogen, barley, malt, starch, proteins, amino acids precursors of dimethyl sulfid

## 1 ÚVOD

Síra patří k významným esenciálním živinám a pro vývoj a růst rostlin je nezbytná. Se snižováním atmosférických vstupů [1] a změnami v metodikách hnojení rostlin směrem ke snížení vstupů hnojiv se sírou [2] se začíná vyskytovat její deficit v půdě [3, 4, 5]. Síra hraje zásadní roli v rostlinném metabolismu, je-li v nedostatku, ovlivňuje kvalitu sklizně [6, 7, 8]. Význam adekvátní výživy sírou prokázali [9, 10, 11, 12] aj. Hnojení sírou může do jisté míry ovlivnit i kvalitu zrna

## 1 INTRODUCTION

Sulphur belongs to the significant and essential nutrients and it is indispensable for the development and the growth of plants. As the number of atmospheric entries has decreased [1] and the changes in methodology of fertilization of plants towards the decrease of entries of fertilizers with sulphur [2] begins to be found its deficiency in the soil [3, 4, 5]. Sulphur plays a key role in vegetable metabolism, and if there is lack of it, it may affect the quality of crop [6, 7, 8]. The

ječmene [13]. Ke změnám kvality dochází již tím, že aplikace S - hnojiv vede ke zvýšení výnosu zrna [14]. Pozdější aplikace S prováděná před metáním podporuje relativní snížení koncentrace dusíku v zru ječmene [15]. Proto aby byla zajištěna odpovídající kvalita produkce, doporučují [16] pro odlišné skupiny polních plodin různé dávky síry. Obilniny, v to zahrnující pšenici i sladovnický ječmen, by měly dostat dávku pro výnos 5–7 t.ha<sup>-1</sup> zrna na úrovni cca 20–40 kg S.ha<sup>-1</sup>. Vlivem aplikace síry na výnos a kvalitu zrna ječmene se zabývali podrobněji [17]. U pěti z osmi pokusů prokázali zvýšení výnosů zrna v rozmezí 0,2–1,2 t.ha<sup>-1</sup> (4,7–22,5 %). Budoucí kvalitu zrna, jak uvádí [18], poznáme již na základě chemického rozboru nezralých zrn. Je-li obsah S nad úrovní 0,23 % a poměr N:S pod hodnotou 8, můžeme očekávat vysokou a sladařsky kvalitní sklizeň. Síra se v ječném zru vyskytuje převážně ve formě volných sirných aminokyselin. Za určitých podmínek mohou v průběhu sladování vznikat z těchto látek sloučeniny ovlivňující nepříznivě senzorickou kvalitu piva. Patří k nim např. dimethylsulfid (DMS) a jeho precursor S-methyl-L-methionin (SMM), které se tvoří při klíčení [19]. SMM se působením zvýšených teplot při hvozdnění a v průběhu varního procesu rozkládá za vzniku DMS. Tato látka v koncentracích již okolo 35–40 µg.l<sup>-1</sup> může být v pivu senzoricky nepříznivá [20].

Hlavním cílem této studie bylo zhodnotit vliv aplikace dusíkatých hnojiv a hnojiv se sírou na obsah škrobu, N-látek a kvalitu bílkovin se zaměřením na obsah sirných aminokyselin jako precursorů tvorby dimethylsulfidu.

## 2 METODIKA

V letech 2005–2009 byl sledován vliv síranové a elementární síry v kombinaci s dusíkatou výživou na chemické složení zrna ječmene a sladu odrůdy Jersey. Pozornost byla zaměřena na stanovení obsahu škrobu a bílkovin v zru ječmene. Hodnocena byla i kvalita sladu včetně stanovení precursorů dimethylsulfidu (PDMS). V letech 2005–2008 byl stanoven také obsah aminokyselin v zru ječmene a ve dvou letech i obsah aminokyselin ve sladu.

Pokusy byly založeny v jednotlivých letech na pozemcích, které se odlišovaly svými agrochemickými vlastnostmi (tab. 1).

Ve všech letech byl ječmen pěstován po předplodině cukrovce. Chrast byl střední orbou zaorán. Další údaje o založení pokusu jsou uvedeny v tab. 2.

Porost byl v průběhu vegetace ošetřován pesticidy a morforegulatory (tab. 3).

V rámci pokusu byly zvoleny 2 hladiny hnojení dusíkem 30 a 50 kg N.ha<sup>-1</sup>, dávka síry byla u jednotlivých variant odlišná. Aplikace hnojiv proběhla ve dvou termínech, tj. dvou růstových fázích (DC 13 a DC 31). V době vzcházení porostu (DC 13) byla aplikována tuhá dusíkatá hnojiva (LAV), tuhá dusíkatá hnojiva se sírou (SA a DASA) a kapalná dusíkatá hnojiva se sírou (SAM). Současně bylo na variantách 10–13 provedeno hnojení elementární sírou. První aplikace hnojiv proběhly v roce 2005 20. 4. a dále pak 26. 4. (2006), 12. 4. (2007), 28. 4. (2008)

significance of adequate nutrition by sulphur has proved [9, 10, 11, 12]. The fertilization by sulphur may also affect in a certain manner the quality of barleycorn [13]. The fact that the application of S-fertilizers leads to an increase of the grain yield already causes the changes of quality [14]. Subsequent application S carried out before projection supports a relative decrease of concentration of nitrogen in barleycorn [15]. In order to be provided corresponding quality of production, it is recommended to use different doses of sulphur for various groups of field crops. Cereals such as wheat and malting barley should receive a dose for yield 5–7 t.ha<sup>-1</sup> of grain at the level of cca 20–40 kg S.ha<sup>-1</sup> [16]. The influence of application of sulphur on the yield and quality of barleycorn was observed in a more detailed way [17]. In 5 out of 8 experiments were proved an increase of the grain's yield within the range of 0,2–1,2t.ha<sup>-1</sup> (4,7–22,5%). The future quality of grain as presents [18] can be detected by virtue of chemical analysis of unripe grains. If the content of S above the level of 0, 23% and the rate of N:S under the value 8, it can be expected high-quality crop in malting. Sulphur appears in barleycorn mostly in form of free sulphur amino acids. On certain conditions, there can be compounds unfavourably affecting the sensory quality of beer, springing from these substances during malting such as dimethyl sulfide (DMS) and its precursor S-methyl-L-methionin (SMM), which are created during germination [19]. SMM is decomposed by influence of elevated temperatures during kilning and boiling process when also arising DMS. This substance in concentrations of around 35–40 µg.l<sup>-1</sup> can be sensorially unfavourable in beer [20].

The main objective of this study is to evaluate the influence of application of nitrogen fertilizers and fertilizers with sulphur on the content of starch, N-substances and the quality of proteins in regard to the content of sulphur amino acids as precursors for creation of dimethyl sulfide.

## 2 METHODOLOGY

In 2005 to 2009, the influence of sulphate and elementary sulphur in combination with nitrogen nutrient on chemical composition barleycorn and malt of Jersey varieties was observed. The attention was aimed at determination of the content of starch and proteins in barleycorn. The quality of malt including determination of precursors of dimethyl sulfide (PDMS) was evaluated, too. In 2005 to 2008, there was also determined the content of amino acids in barleycorn and within two years the content of amino acids in malt as well.

The experiments were founded in the individual years on the fields which differed in its agrochemical properties (Tab. 1).

The growth was treated in the process of vegetation by pesticides and morforegulators (Tab.3)

Within the scope of experiment, there were chosen 2 levels of fertilization by nitrogen 30 and 50 kg N.ha<sup>-1</sup>, a dose of sulphur was different in individual variations. The application of nutrients in two terms, meaning, two different growth stages (DC 13 a DC 31). At the time

Tab. 1 Agrochemické vlastnosti půdy (r. 2005–2009) / Soil properties of the experimental area (2005–2009)

Rok / Year	pH/CaCl <sub>2</sub>	P	K	Mg	Ca	S
		[mg.kg <sup>-1</sup> sušiny/of dry basis]				
2005	5.7	36	151	1930	120	15
2006	6.9	99	81	177	3320	16
2007	5.6	93	156.4	143.1	2126.7	<5
2008	7.1	140	275	197	3872.5	26.6
2009	6.3	79.6	123.4	149.8	4657	32

Pozn.: Obsah živin je uveden v mg.kg<sup>-1</sup> a stanoven dle Mehlicha III, síra je stanovena ve vodném výluhu (Zbiral, 1996).

Remark: the content of nutrients is indicated in mg.kg<sup>-1</sup> and determined according to Mehlich III, sulphur is determined in water leach (Zbiral, 1996).

Tab. 2 Základní agrotechnické údaje / Basic agrotechnical information

Rok / Year	Dávka P-hnojiv / Dose of P-nutrients (kg.ha <sup>-1</sup> )	Dávka K-hnojiv / Dose of K-nutrients (kg.ha <sup>-1</sup> )	Datum setí / Date of sowing	Výsevek / Sowing rate (MKS.ha <sup>-1</sup> )
2005	100	200	4. 4.	4
2006	100	200	12. 4.	4.1
2007	100	0	16. 3.	4
2008	100	160	29. 3.	4
2009	130	100	9 April	4

Tab. 3 Ošetření pesticidy a morforegulátory / Treatment by pesticides and morforegulators

Rok / Year	Termín aplikace / Term of application	Použitá příprava / Used preparation
2005	24. 5. 21. 6. 22. 6.	Cerone 0,5 l.l.ha <sup>-1</sup> Decis 0,15 l.ha <sup>-1</sup> Charisma 1,0 l.ha <sup>-1</sup> + 300 l vody / of water
2006	24. 5. 8. 6. 8. 6. 4. 7.	Mustang 0,5 l.l.ha <sup>-1</sup> Cerone 480 SL 0,7 l.ha <sup>-1</sup> Nurelle D 0,6 l.ha <sup>-1</sup> Horizon 0,8 l.ha <sup>-1</sup> + 300 l vody / of water
2007	24. 4. 15. 5. 24. 5.	Olmik 25g.ha <sup>-1</sup> +Glean 2,5 g.ha <sup>-1</sup> +Trend 0,1 l.ha <sup>-1</sup> Puma extra 0,9 l.ha <sup>-1</sup> +Decis 0,15 l.ha <sup>-1</sup> Cerone 0,5 l.l.ha <sup>-1</sup>
2008	2. 5. 26. 5. 30. 5. 19. 6.	Granstar 25 g.ha <sup>-1</sup> Moddus 0,3 l.ha <sup>-1</sup> Cerone 0,6 l.ha <sup>-1</sup> Prosaro 0,75 l.ha <sup>-1</sup> + 300 l vody / of water
2009	5. 5. 26. 5. 30. 5. 18. 6.	Granstar 25 g.ha <sup>-1</sup> Moddus 0,3 l.ha <sup>-1</sup> Cerone 0,5 l.ha <sup>-1</sup> Artea 0,4 l.ha <sup>-1</sup> + 0,6 l.ha <sup>-1</sup> Amistar+ 300 l vody / of water

Tab. 4 Schéma hnojení ječmene (r. 2005–2009) / Scheme of fertilization of barley (2005–2009)

Termín / Term	Po vzejití (DC13) After emergence (DC13)		Sloupkování (DC 31) Timbering (DC 31)		Celkem Total (kg.ha <sup>-1</sup> )	
Varianta / Variation	Typ hnojiva / Type of nutrient	N (kg.ha <sup>-1</sup> )	Typ hnojiva / Type of nutrient	N (kg.ha <sup>-1</sup> )	N	S
1	kontrola	0	0		0	0
2	N1 LAV 27 NN1	30			30	0
3	N2 LAV 27	30	DAM	20	50	0
4	N1 SA	30			30	36
5	N2 SA	30	SAM	20	50	42
6	N1 DASA	30			30	15
7	N2 DASA	30	SAM	20	50	21
8	N1 SAM	30			30	10
9	N2 SAM	30	SAM	20	50	16
10	N1 LAV+ES1 S1	30			30	30
11	N2 LAV+ES1 S1	30	DAM	20	50	30
12	N1 LAV+ES2 S1	30			30	50
13	N2 LAV+ES2 S1	30	DAM	20	50	50

Pozn.: LAV 27 – ledek amonný s vápencem (27 % N, 20 % Ca), SA – síran amonný (20,3 % N, 24 % S), DASA (26 % N, 13 % S), DAM=DAM 390–dusičnan amonný s močovinou (30% N), SAM=SAM 240 – síran amonný s močovinou (24% N, 8% S), ES1,ES2 – elementární síra (1, 2 – značí velikost dávky).

Remark: Lav 27 – ammonium nitrate with calcite (27 % N, 20 % Ca), SA – ammonium sulphate (20,3 % N, 24 % S), DASA (26 % N, 13 % S), DAM=DAM 390 – ammonium nitrate (30% N), SAM=SAM 240 – ammonium sulphate with carbamide (24% N, 8% S), ES1,ES2 – elementary sulphur (1, 2 – indicates the amount of dose).

a 22. 4. (2009). Tuhá hnojiva byla po aplikaci částečně zapravena do půdy. Druhá aplikace hnojiv proběhla v období počátku sloupkování porostu (DC 31) u variant s vyšší dávkou dusíku, a to hnojivy kapalnými (DAM a SAM). Zastoupení hnojiv v jednotlivých variantách pokusu a schéma hnojení je uvedeno v tab. 4.

Porost ječmene byl ve všech letech sklizen v plné zralosti maloparcelní sklízecí mlátičkou Sampo. U všech variant byl na místě stanoven výnos a vlhkost zrna. Sklizeň proběhla v roce 2005 2. srpna, v roce 2006 31. července, v roce 2007 18. července, v roce 2008 28. července a v roce 2009 4. srpna.

Ze všech variant pokusu byly odebrány vzorky zrna, u kterých byl stanoven obsah N-látek (dle Kjeldahla) a škrobu (dle Ewerse) [21]. U vzorků zrna ze sklizně 2005–2008 a sladu 2005–2006 byl stanoven obsah sírných aminokyselin.

Vzorky zrna pro stanovení aminokyselin byly upraveny kyselou a oxidativně kyselou hydrolyzou [22]. Chromatografické stanovení hydrolyzátů vzorků bylo provedeno na automatickém analyzátoru aminokyselin AAA 339 (fy Mikrotechna Praha) pomocí sodnocitrátových pufrů a ninhydrinovou detekcí. Methioninsulfon byl převeden na methionin násobením faktorem 0,832. Cysteoová kyselina byla převedena na cystin vynásobením faktorem 0,71. Obsah aminokyselin byl vyjádřen jako % podíl z veškerých N-látek v sušině.

Sladování proběhlo na VÚPS v Brně po ukončení posklizňového dozrávání po 20. září v mikroskladovně typu KVM Uničov.

of the emergence of growth (DC 13) solid nitrogen nutrients were applied (LAV), solid nitrogen nutrients with sulphur (SA and DASA) and liquid nitrogen nutrients with sulphur (SAM). Simultaneously, there was performed on the variations 10 – 13, fertilization by elementary sulphur. The first application of nutrients was performed on 20th April 2005, 26th April 2006, 12th April 2007, 28th April 2008 and 22th April 2009. The solid nutrients were after application partly ploughed in the soil. The second application of nutrients was performed at the beginning of timbering of growth (DC 31) in variations with higher dose of nitrogen by liquid nutrients (DAM and SAM). The representation of nutrients in individual variations of experiment and the scheme of fertilization are indicated in Tab. 4.

The growth of barley was gathered in all the years in full ripeness by small-plot field threshing-machine Sampo. In all the variations were determined yield and humidity of grain. The harvest was performed on 2nd August 2005, 31th July 2006, 18th July 2007, 28th July 2008 and 4th August 2009.

From all the variations of experiment, there were taken the samples of grain in which the content of N-substance (according to Kjeldahl) and starch (according to Ewerse) (21) were determined. In the samples of grain from the harvest in 2005 to 2008 and malt in 2005–2006, the content of sulphur amino acids was determined, too.

The samples of grain for determining amino acids were modified by acid and oxidatively acid hydrolysis [22]. Chromatographic deter-



### 3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Obsah extraktu je závislý především na obsahu škrobu v zrně a měl by se optimálně pohybovat mezi 63–64 % [23]. Tvorba škrobu byla velmi vysoce významně ( $p > 0,999$ ) ovlivněna ročníkem (tab. 5). Průkazně nejvyšší ( $p > 0,95$ ) obsah škrobu byl stanoven v roce 2005. Nejhorší výsledky byly dosaženy v roce 2008 a 2009 (tab. 6).

I když rozdíl mezi variantami nebyly v důsledku velké meziročníkové variability průkazné, je zřetelné, že síranová síra aplikovaná v hnojivu SAM 240 ve fázi DC 31 stabilizovala obsah škrobu v zrně při vyšších dávkách dusíku. Oproti tomu u variant, kde byl aplikován pouze ledek (var. 2, 3) nebo ledek s elementární sírou (var. 10–13), došlo ke snižování obsahu škrobu po vyšší dávce N-hnojiva. Obsah škrobu u variant s aplikací SAM 240 na počátku sloupkování se dokonce zvyšoval o 0,03 až 0,23 %, zatímco u variant bez síry nebo s elementární sírou po aplikaci hnojiva DAM v DC 31 klesal o 0,14–0,62 % (tab. 6). Nejvyšší obsah škrobu (64,12 %) byl stanoven po opakované aplikaci hnojiva SAM (var. 9). Nejhorší škrobnatost (63,42 %) vykázalo zrno po aplikaci hnojiva LAV s následným dohnojením DAM. Negativní vliv vyšší dávky N [24] na obsah škrobu se tedy projevil pouze u variant bez síry a s elementární sírou.

Nejvyšší obsah škrobu za celé pětileté období byl stanoven u nehojené kontroly v roce 2005, kde překročil hranici 66 %. Vysoká hodnota korespondovala s výnosem, který byl u kontroly ve srovnání s ostatními variantami nižší. Nejnižší hodnota byla dosažena u var. 10 (61,5 %) v roce 2009 (obr. 1).

Z předcházejících výsledků je zřejmé, že hnojení síranovou sírou, která je okamžitě přijatelná rostlinou, stabilizuje obsah škrobu v zrně. S tím do značné míry také koresponduje vztah mezi obsahem síry v zrně a obsahem škrobu (obr. 2), kde byla stanovena středně silná závislost ( $r = 0,503^{**}$ ).

mination of the samples of hydrolysates was performed on automatic amino acid analyzer AAA 339 (Mikrotechna Praha) with the help of sodium citrate buffers and nyhydrin detection. Methionine sulfon was converted into methionine multiplying by factor 0,832. Cysteic acid was converted into cystin multiplying by factor 0,71. The content of amino acids was expressed as percentage share from all the substances in dry basis.

The malting was performed at VÚPS in Brno after the completion of postharvest ripening after 20th September in micro-malthouse such as KVM Unicov.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The content of extract is dependent mainly on the content of starch in grain and should be optimally ranging between 63–64 % [23]. The production of starch was significantly ( $P > 0,999$ ) affected by the year (Tab. 5). The conclusively highest ( $P > 0,95$ ) content of starch was determined in 2005. The worst results were reached in 2008 and 2009 (Tab. 6).

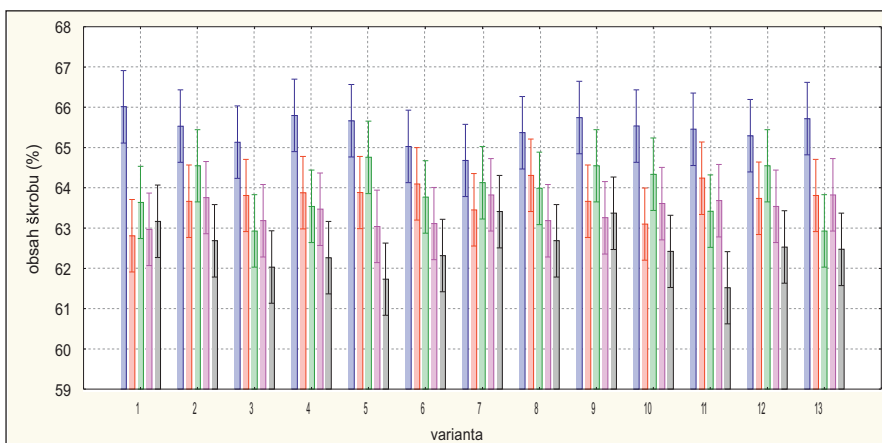
Although the differences between variations were not as a result of large year-on-year variability conclusive, it is obvious that sulphate sulphur applied in SAM 240 nutrient in DC 31 stage stabilized the content of starch in grain using higher doses of nitrogen. On the contrary, the variation where only nitrate (var. 2, 3) or nitrate with elementary sulphur (var. 10–13) were applied, there was a decrease of the content of starch after higher dose of N-nutrient. The content of starch in variations with application of SAM 240 was increasing by 0,03 % up to 0,23 % at the beginning of timbering whereas in variations without sulphur or with elementary sulphur after application of DAM nutrient in DC 31 was decreasing by 0,14–0,62 % (Tab. 6). The highest

Tab. 5 Analýza variance pro obsah škrobu a N-látek (r. 2005–2009) / Analysis of variance for the content of starch and N-substances (2005–2009)

Kritérium Criterion	Faktor Factor	Součet čtverců Sum of squares	Stupně volnosti Degree of freedom	Průměrný čtverec Average square	Testové kritérium P Test criterion F	P
Obsah škrobu Content of starch	Rok / Year / Y/	238	4	60	72	0.000000
	Varianta / Variation / V/	8	12	1	1	0.676207
	YxV	46	48	1	1	0.260309
	Chyba / Error	162	195	1		
Obsah bílkovin Content of proteins	Rok / Year / Y/	165.35	4	41.34	225.4	0.000000
	Varianta / Variation / V/	8.59	12	0.72	3.9	0.000022
	YxV	6.03	48	0.13	0.7	0.938751
	Chyba / Error	35.77	195	0.18		

Tab. 6 Průměrné hodnoty obsahu škrobu a N látek a průkaznosti jejich rozdílů dle Tukeye (r. 2005–2009) / Average values of starch content, N-substances and the demonstrability of its differences according to Tukeye (2005–2009)

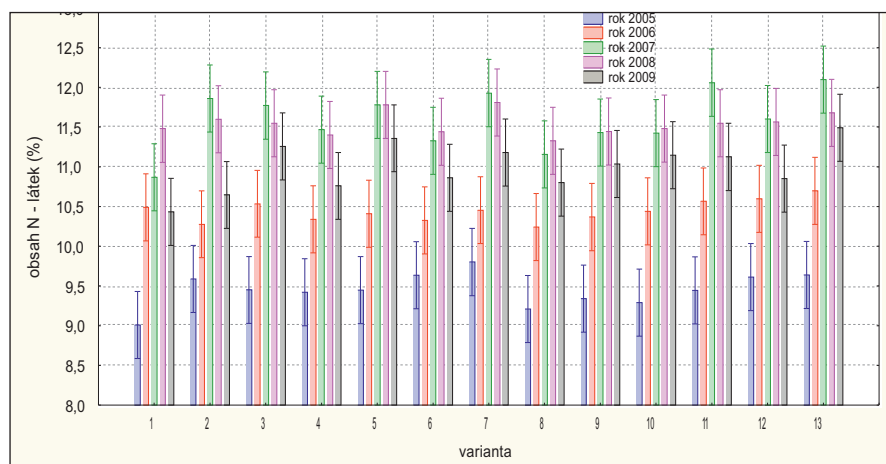
Faktor / Factor	Varianta / Variation	n	Obsah škrobu / Content of starch (%)			Obsah bílkovin / Content of proteins (%)		
			$\bar{x}$	$S_x$		$\bar{x}$	$S_x$	
Rok / Year	2005	52	52	65.46 <sup>d</sup>	±	9.45 <sup>a</sup>	±	0.44
	2006	52	52	63.73 <sup>bc</sup>	±	10.44 <sup>b</sup>	±	0.32
	2007	52	52	63.93 <sup>c</sup>	±	11.60 <sup>d</sup>	±	0.44
	2008	52	52	63.42 <sup>b</sup>	±	11.55 <sup>d</sup>	±	0.49
	2009	52	52	62.51 <sup>a</sup>	±	11.00 <sup>c</sup>	±	0.50
Varianta / Variation	Control	20	20	63.72 <sup>a</sup>	±	10.46 <sup>a</sup>	±	0.91
	N1 LAV 27	20	20	64.04 <sup>a</sup>	±	10.79 <sup>abc</sup>	±	0.89
	N2 LAV 27	20	20	63.42 <sup>a</sup>	±	10.91 <sup>bc</sup>	±	0.94
	SA	20	20	63.79 <sup>a</sup>	±	10.68 <sup>abc</sup>	±	0.81
	N2 SA	20	20	63.82 <sup>a</sup>	±	10.96 <sup>bc</sup>	±	1.00
	N1 DASA	20	20	63.67 <sup>a</sup>	±	10.72 <sup>abc</sup>	±	0.84
	N2 DASA	20	20	63.90 <sup>a</sup>	±	11.04 <sup>c</sup>	±	0.91
	N1 SAM	20	20	63.91 <sup>a</sup>	±	10.55 <sup>ab</sup>	±	0.92
	N2 SAM	20	20	64.12 <sup>a</sup>	±	10.72 <sup>abc</sup>	±	0.87
	N1 LAV+ES1	20	20	63.80 <sup>a</sup>	±	10.76 <sup>abc</sup>	±	0.88
	N2 LAV+ES1	20	20	63.66 <sup>a</sup>	±	10.95 <sup>bc</sup>	±	1.06
	N1 LAV+ES2	20	20	63.93 <sup>a</sup>	±	10.84 <sup>abc</sup>	±	0.87
	N2 LAV+ES2	20	20	63.75 <sup>a</sup>	±	11.12 <sup>c</sup>	±	0.97



Obr. 1 Průměrné hodnoty obsahu škrobu (r. 2005–2009) / Fig. 1 Average values of starch content (2005–2009)

Obsah dusíkatých látek ( $N \times 6,25$ ) by se měl pohybovat v rozmezí 10–11,5 % [25] (2000). Doporučení ČSN 46 11 00-5 pak vychází z rozmezí 10–12 %. Kumulace dusíkatých látek v zrně ječmene se v jednotlivých letech velmi vysoce průkazně ( $p > 0,999$ ) lišila (tab. 5). Průkazně nejvyšší ( $p > 0,95$ ) obsah dusíkatých látek byl zaznamenán v roce 2005. V průměru všech variant nedosahoval ani k 9,5 %, což celou sklizeň zařadilo do nestandardu. Zrno sklizené v ostatních ročních svém obsahem N-látek již požadavek normy splňovalo. Průkazně nejvyšší ( $p > 0,95$ ) obsah N-látek byl stanoven v letech 2007 a 2008 (tab. 6). Obsah N-látek v zrně korespondoval s dávkami dusíkatých hnojiv. Nejvyšší hodnota (10,46 %) byla v průměru stanovena u dusíkem nehnojené kontroly. Nejvyšší obsah byl pozorován u var. 13, kde bylo aplikováno hnojivo LAV s elementární sírou na počátku odnožování. Nejvyšší obsah dusíkatých látek po provedení hnojení dusíkem byl stanoven u variant 8 a 9, kde bylo použito hnojivo SAM 240.

Nejnižší obsah N-látek byl stanoven v roce 2005 u kontroly (9 %), nejvyšší naměřené hodnoty se pohybovaly nad úroveň 12 % u var. 11 a 13 v roce 2007 (obr. 3). Aplikace hnojiva SAM ve všech ročních přispěla k nejnižším hodnotám obsahu N-látek v zrně. I přes nepříznivé ročníkové hodnocení tohoto parametru byl pozorován vyšší obsah dusíkatých látek u variant s vyšší dávkou dusíku a síry. Přírůstek představoval 0,26–0,47 %. Potvrdily se tak zkušenosti [26, 27, 28, 29] o pozitivním vlivu S na využití dusíku. Je-li dávka dusíku nízká a výnos zrna vysoký, může aplikovaná síra podpořit příjem N a tím vylepšit jeho obsah v zrně. To platí v letech s vysokými výnosy, kdy dochází k silnému zředovacímu efektu. Pokud je ale výnos nízký, tak jak tomu bylo v roce 2000, hrozí opačný problém. Dusík se dostatečně nerozředí a dochází k jeho přílišné translokaci do klasu a ukládání do zrna. To se projevilo především po aplikaci tuhých hnojiv (síranu amonného). Vysoký obsah dusíkatých látek v zrně ječmene je nežádoucí, snižuje se extrahovatelnost zrna, dochází k narušení poměru mezi rozpustnými a zásobními bílkovinami [30]. V pokusech prováděných v letech 2005–2009 problémy s vysokým obsahem dusíkatých látek v zrně nebyly. Obsah byl značně rozdílný, pouze dva ročníky

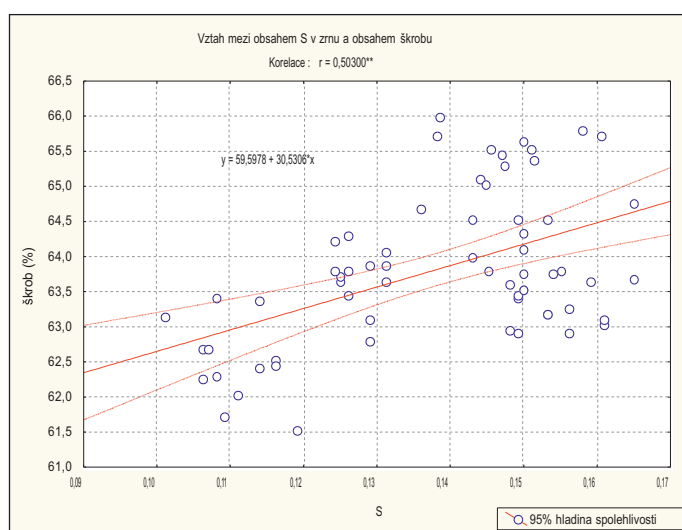


Obr. 3 Průměrné hodnoty obsahu dusíkatých látek (r. 2005–2009) / Fig. 3 Average values of the content of nitrogen substances (2005–2009)

content of starch (64, 12 %) was determined after repeated application of SAM nutrient (var. 9). The worst starch content (63,42 %) was determined in grain after application of LAV nutrient with subsequent fertilization by DAM. The negative influence of a higher dose of N [24] on the content of starch was only shown in variation without sulphur and with elementary sulphur.

The highest content of starch in all 5-years-period was determined in unmanured control in 2005 where there was exceeded the limit of 66%. The high value corresponded with yield which was in comparison with other variations lower in control. The lowest value was reached in var. 10 (61, 5 %) in 2009 (Fig. 1).

From the previous results, it is obvious that the fertilization by sulphate sulphur, which is immediately acceptable by plant, stabilizes the content of starch in grain. This also, to a great extent, corresponds with the relation between the content



Obr. 2 Vztah mezi obsahem S a obsahem škrobu v ječném zrně / Fig. 2 Relation between the content of S and starch in barleycorn

of sulphur in grain and starch (Fig. 2) where there was determined medium-strength dependence ( $r = 0,503$ ).

The content of nitrogen substances ( $N \times 6,25$ ) should be within the range of 10–11,5 % (25) (2000). The recommendation of ČSN 46 11 00-5 is based on the range of 10–12 %. Accumulation of nitrogen substances in barleycorn conclusively ( $p > 0,999$ ) differed in individual years (Tab. 5). The conclusively lowest ( $p > 0,95$ ) content of nitrogen substances was observed in 2005. In the average of all variations, this did not even reach 9,5%, which classified the whole harvest among the non-standard ones. Nevertheless, grain gathered in other years with the content of N-substances with the requirements of standards complied. The conclusively highest ( $p > 0,95$ ) content of N-substances was determined in 2007 and 2008 (Tab. 6). The content of N-substances in grain corresponded with doses of nitrogen nutrients. The lowest value (10,46 %) was on average determined in nitrogen unmanured control. The highest content was observed in var. 13 where there was applied LAV nutrient with elementary sulphur at the beginning of tillering. The lowest content of nitrogen substances after fertilization by nitrogen was determined in variation 8 and 9 where there was used SAM 240 nutrient.

The lowest content of N-substances was determined in 2005 in control (9 %), the highest measured values were above the level of 12 % in var. 11 and 13 in 2007 (Fig. 3). Application of SAM nutrient in all years contributed to lower values of the content of N-substances in grain. In spite of unfavourable evaluation of the year of this parameter, higher content of nitrogen substances was

Tab. 7 Obsah S-AMK v zrně ječmene a ve sladu po provedeném mikroskladování / Content of S-AMK in barleycorn and in malt after realization of micro-malting

Varianta / Variation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Relativní vyjádření v % z celkového množství AMK – zrna ječmene Relative expression in % from the total quantity of AMK – barleycorn													
Cystein / Cysteine	<2.142	2.181	2.277	2.190	2.211	2.238	2.224	2.579	2.734	2.597	2.942	2.626	2.875
Methionin / Methionine	1.417	1.807	1.422	1.799	1.811	1.696	1.786	2.265	2.204	2.344	2.388	1.687	1.862
Suma S kyselin / Sum of S acids	3.559	3.987	3.700	3.989	4.022	3.934	4.009	4.844	4.938	4.942	5.330	4.313	4.737
Srovnání variant / Comparison of variations (rel.%)	100.00	112.05	103.97	112.10	113.02	110.56	112.67	136.13	138.76	138.86	149.80	121.20	133.1
Relativní vyjádření v % z celkového množství AMK – zrno slad Relative expression in % from the total quantity of AMK – grain, malt													
Cystein / Cysteine	2.466	2.600	2.421	2.697	2.595	2.564	2.496	2.765	2.758	2.844	2.738	2.833	2.674
Methionin / Methionine	2.011	2.109	2.157	2.275	2.170	2.359	2.234	2.087	2.367	1.783	1.459	1.970	1.496
Suma S kyselin / Sum of S acids	4.477	4.709	4.577	4.972	4.765	4.923	4.730	4.852	5.125	4.627	4.197	4.803	4.170
Srovnání variant / Comparison of variations (rel. %)	100.00	105.17	102.23	111.05	106.42	109.96	105.63	108.36	114.47	103.34	93.74	107.27	93.13

se od sebe významně nelišily. Problematický byl rok 2005, kde byl stejně tak jako v roce 1999 stanoven velmi nízký obsah N v zrně. Zatímco vyšší dávka dusíku zvyšovala obsah N v zrně o 0,12 %, v kombinaci s hnojením sírou to bylo o 0,24 %. Projevil se tak vliv síry na příjem a utilizaci N v zrně [31], což dokládá i středně silná závislost mezi obsahem dusíku a síry v zrně ječmene ( $r = 0,503^{**}$ ).

Případný deficit síry může mít zásadní vliv na složení bílkovinné matrix, která je tvořena sírou bohatými proteiny a vysokomolekulárními proteiny. Je-li síry nedostatek, zvyší se podíl S-chudých hordeinů [32] a to se může významně projevit při luštění zrna [33].

Na obsah PDMS má vliv řada faktorů včetně odrůdy, průběhu klíčení i techniky hvozdění [34]. Můžeme tedy předpokládat, že i obsah síry v zrně bude pro obsah DMS klíčový [17]. Sledování obsahu PDMS ve sladu v letech 2005–2009 nepřineslo výsledky, které by nás přesvědčily o negativním vlivu síry. Pouze v jednom roce (2005) byl po hnojení sírou pozorován nárůst PDMS o cca 1,5 mg.kg<sup>-1</sup>. Můžeme předpokládat, že se zde projevil vliv ročníku ale také termín aplikace síry, který byl realizován v první polovině vegetace. Naše výsledky tak nepotvrdily závěry, které uvádí [17]. V jeho pokusech po aplikaci síry došlo k výraznému nárůstu koncentrace S-methylmethioninu ve sladu po hnojení porostu ječmene sírou (obr. 5). Svou roli zde mohl sehrát termín aplikace, která byla poměrně časná a v důsledku poměrně malé redistribuce S do zrna se nevytvořil předpoklad vyššího obsahu PDMS ve sladu. Je otázkou, jak by dopadlo, kdyby byla aplikace provedena např. v období sloupkování, případně metání porostu. Významnou roli zde může sehrát i ročník. Zatímco v letech 2006–2009 nebyl zaznamenán negativní vliv, v roce 2005 došlo ke zvýšení obsahu PDMS po hnojení sírou.

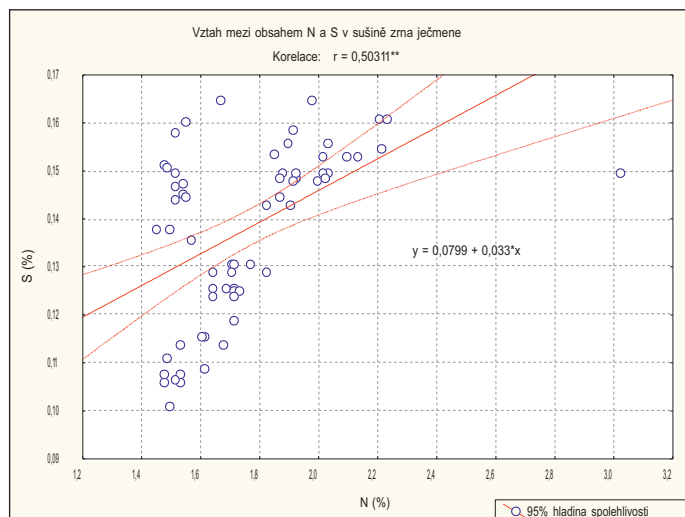
Na obsah PDMS má vliv především obsah sirných aminokyselin v zrně ječmene. Nejvyšší obsah cysteinu byl stanoven u kontrolní varianty a varianty s nižší dávkou dusíku (> 2,8 g.kg<sup>-1</sup>sušiny zrna). Většina variant se sírou obsahovala cca 2,7 g.kg<sup>-1</sup> cysteinu (obr. 6). Ob-

observed in variations with a higher dose of nitrogen and sulphur. An increase represented 0,26–0,47 %. The experience [26, 27, 28, 29] of positive influence S on utilization of nitrogen was hereby confirmed. If a dose of nitrogen is low and the yield of grain is high, applied sulphur can support the intake of N and hereby improve its content in grain. It applies to the years with high yields where there is a high diluent effect. However, if there is the low yield as well as in 2000, it could cause the opposite problem. Nitrogen is not sufficiently diluted, which causes its excessive translocation into spike and deposition into grain. It was shown mainly after application of solid nutrients (ammonium sulphate). The high content of nitrogen substances in barleycorn is not desirable, the extractability of grain is decreased and the disruption of proportion between soluble and insoluble proteins occurs [30], too. In the experiments carried out in 2005 to 2009, there were no problems with the high content of nitrogen substances in grain. The content was considerably different and only two years were not different so significantly. The year 2005 was problematic, in particular, because of determination of very low content of N in grain as well as in 1999. While higher dose of nitrogen was increasing the content of N in grain by 0,12 %, in combination with fertilization by sulphur, it was by 0,24 %. The influence of sulphur on the intake and utilization of N in grain was shown [31], which also proves the medium-strength dependence between the content of nitrogen and sulphur in barleycorn ( $r = 0,503^{**}$ ).

The potential deficiency of sulphur can have a fundamental influence on the composition of protein's matrix which is comprised of proteins rich in sulphur and high-molecular proteins. If there is lack of sulphur, the proportion of S-poor hordeins increases [32], which can be significantly shown during grain extraction [33].

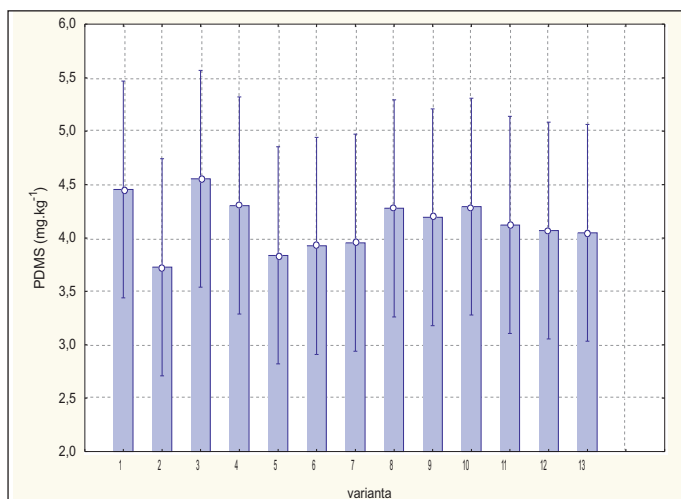
Many factors have an influence on the content of PDMS including the variety, the process of germination and the technology of kilning [34]. It can only be supposed that the content of sulphur in grain will be pivotal for the content of DMS [17]. The observation of the content of PDMS in malt in 2005 to 2009 did not produce results which could persuade us of the negative influence of sulphur. Only in 2005, there was observed the increase of PDMS by cca 1,5 mg.kg<sup>-1</sup> after fertilization by sulphur. It can only be supposed that the influence of the year was shown here, but also the term of the application of sulphur which was carried out in the first half of vegetation. Our results confirmed the conclusions which present [17]. In his experiments after application of sulphur, there was a significant increase of the concentration of S-methylmethionin in malt after fertilization of barley's growth by sulphur (Fig. 5). The term of application could play here its role. As a result of relatively low redistribution of S into grain was not produced the precondition of higher content of PDMS in malt. The question arises of how it could end up if application was carried out, for instance, in a period of timbering, alternatively, heading of growth. The significant role can also play the year. While in 2006 to 2009 there was not indicated any negative influence, the content of PDMS in 2005 was increased after fertilization by sulphur.

The content of sulphur amino acids in barleycorn has mainly an influence on the content of PDMS. The highest content of cysteine was determined in a control variation and variation with a lower dose of nitrogen (> 2,8 g.kg<sup>-1</sup>dry basis of grain). Most of variation with sulphur contained cca 2,7 g.kg<sup>-1</sup>cysteine (Fig. 6). The content of methionine was in variations with application of SAM nutrients (var. 8, 9) and with

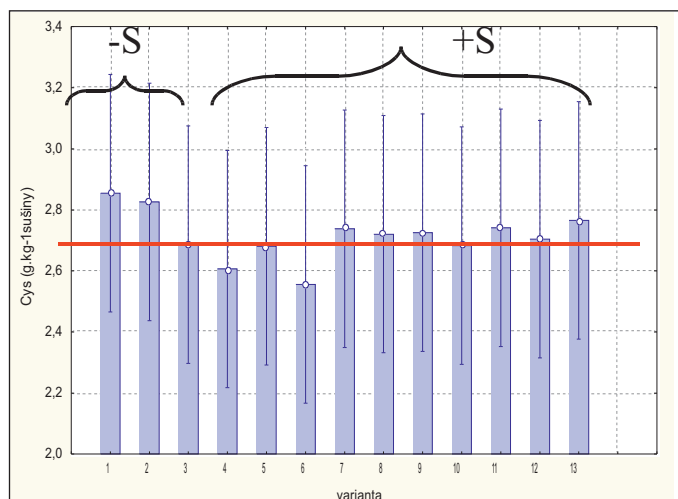


Obr. 4 Vztah mezi obsahem N a S v zrně ječmene / Fig. 4 Relation between the content of N and S in barleycorn

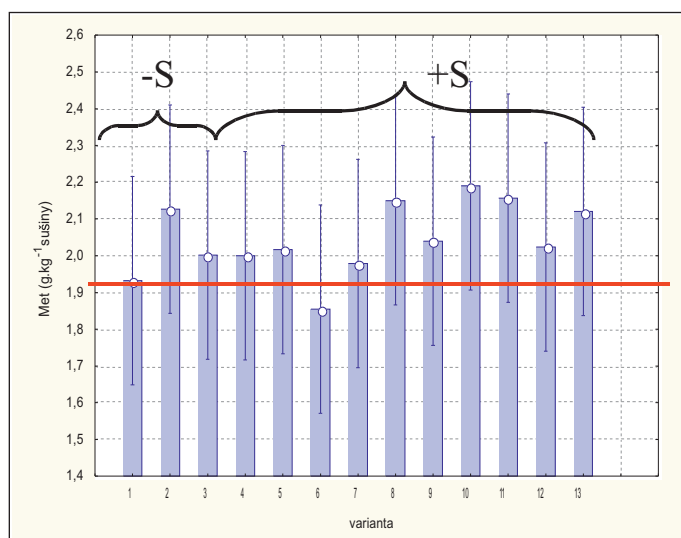




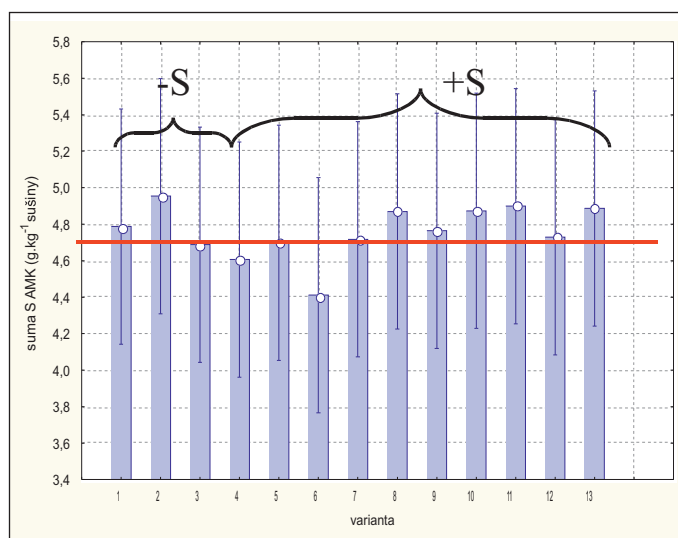
Obr. 5 Obsah PDMS / Fig. 5 Content of PDMS



Obr. 6 Obsah cysteinu v zrna ječmene / Fig. 6 Content of cysteine in barleycorn



Obr. 7 Obsah methioninu v zrna ječmene / Fig. 7 Content of methionine in barleycorn



Obr. 8 Obsah S-AMK v zrna ječmene / Fig. 8 Content of S-AMK in barleycorn

sah methioninu byl u variant s aplikací hnojiva SAM (var. 8, 9) a s elementární sírou vyšší než u variant hnojených pouze dusíkem (obr. 7). Aplikace síranu amonného a hnojiva DASA se výrazněji na zvýšení obsahu sirných aminokyselin neprojevila. To se odrazilo i v celkovém hodnocení obsahu sirných aminokyselin (obr. 8).

V průběhu let 2005–2008 byl sledován obsah S-AMK v zrna ječmene a v letech 2005–2006 také ve sladu. Pozitivní vliv aplikované síry na zvýšení obsahu sirných aminokyselin byl pozorován pouze v roce 2005. Za zajímavé můžeme považovat především to, že k nejvyššímu nárůstu obsahu cysteinu a methioninu došlo u variant s aplikací hnojiva SAM 240 a elementární síry. Při aplikaci hnojiva SAM 240 můžeme počítat s efektivnějším uplatněním síranové formy hnojiva, protože část síry může být přijata listem a to se mohlo v nárůstu S-AMK v zrna projevit. Aplikace elementární síry naopak zajišťuje dlouhodobost jejího působení, což se rovněž mohlo projevit, protože přeměna elementární síry na sírany je procesem pozvolným a postupně vznikající sírany plynuleji zásobují rostliny [35]. Příjem síry z hnojiva byl tedy rozvržen do delšího časového období, což zvyšuje čerpání síry z hnojiva ve větším měřítku i ve druhé polovině vegetace.

#### Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finančního přispění výzkumného centra pro studium obsahových látek ječmene a chmele č. 1M0570 a projektu IGA Mendelovy univerzity v Brně č.21/2010.

elementary sulphur higher than in variations fertilized only by nitrogen (Fig. 7). Application of ammonium sulphur and DASA nutrient were not significantly shown in an increase of the content of sulphur amino acids. It also reflected on the total evaluation of the content of amino acids (Fig. 8).

Over the course of years 2005–2008, there was observed the content of S-AMK in barleycorn and in 2005–2006 in malt, too. The positive influence of applied sulphur on an increase of the content of sulphur amino acids was observed in 2005. The fact, that the highest increase of the content of cysteine and methionine occurred in variations with application of SAM 240 nutrients and elementary sulphur, could be considered interesting. Application of SAM 240 nutrients has more effective use of sulphate form of nutrient, because a part of sulphur can be accepted by a leaf and it could be shown in an increase of S-AMK in grain. On the contrary, application of elementary sulphur assures long-term nature of its effect which could also be shown, because the conversion of elementary sulphur in sulphate is a gradual process and so gradually arising sulphates smoothly supply plants [35]. The intake of sulphur from nutrient was spread over a longer period of time which increases the drawing of sulphur from nutrient in a larger measure in the second half of vegetation, too.

#### Acknowledgments

This contribution was funded by the project No. 1M0570 called "Research Centre for Study of Extract Compounds of Barley and Hop" and the project of IGA Mendel University in Brno No. 21/2010.

## LITERATURA / REFERENCES

1. Daemmgen, U., Walker, R., Grünhage, L., Jäger, H. J.: The atmospheric sulphur cycle. *Nutr. Ecosystems* **2**, 1997, 75–114.
2. Ceccotti, S. P., Morris, R. J., Messick, D. L.: Aglobal overview of the sulphur situation : industry s background, market trends, and commercial aspects of sulphur fertilisers. *Nutr Ecosystems* **2**, 1997, 5-202.
3. Duynsiveld, W. H. M., Strebel, O., Boettcher, J.: Prognose der Grundwasserqualität in einem Wassereinzugsgebiet mit Stofftransportmodellen. Berlin : Umweltbundesamt, Texte Umweltbundesamt 93/05 UBA-FB, 1993, 92–106.
4. Bloem, E. M., Haneklaus, S., Schnug, E.: Influence of soil water regime expressed by differences in terrain on sulphur nutritional status and yield of oilseed rape. In: *Proc. 9th Int. Plant Coll.* 1997, 140–144.
5. Eriksen, J. : Sulphur cycling in Danish agricultural soils: turnover in organic S fractions. *Soil Biol.Biochem.* **29**, 1997, 1371–1377.
6. Asare, E., Scarisbrick, D. H.: Rate of nitrogen and sulphur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.*, 1990, 41–46.
7. McGrath, S. P., Zhao, F. J.: Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Jour. Agric. Sci.* **126**, 1996, : 53–62.
8. Zhao, F. J., Hawkesford, M. J., Warilow A. G. S., McGrath, S. P., Clarkson, D. T.: Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. *Plant Soil* **181**, 1996, 317–323.
9. Schnug, E.: Ökosystemare Auswirkungen des Einsatzes von Nährstoffen in der Landwirtschaft. In: *Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel in Agrarökosystemen. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft*, 1993, 25–48.
10. Schnug, E., Haneklaus S.: Sulphur deficiency in *Brassica napus*. *Landbauforschung Völkenrode, FAL, Braunschweig* **144**, 1994, 31.
11. Richter R., Hřivna L.: Síra a její působení na výnos semene a obsah oleje u ozimé řepky. *Agrochemie III.* **39** , 1999,: 7–10.
12. Grzebisz, W., Przygocka-Cyna,W.: Spring malt barley response to elemental sulphur – the prognostic value of N and S concentrations in malt barley leaves. *Plant Soil. Environ.* **53**, 2007, 388–394.
13. Hřivna, L., Ryant P., Prokeš, P.: Vliv hnojení ječmene dusíkem a sírou na výnos a technologické parametry zrna a sladu. *Agrochémia.* 3/2007, 7–13.
14. Tandon, H. L. S., Messick, D. L.: Practical sulphur guide. The Sulphur Institute, Wastighon, DC., 2002.
15. McGrath, S. P., Zhao, F. J., Blake-Kalff, M. M. A.: Crop quality effects of sulphur and nitrogen. *HGCA conference 2002: Agronomic intelligence: the basis for profitable production* **12**, 2002, 1–12.
16. Tandon, H. L. S., Messick, D. L. : Practical sulphur guide. The Sulphur Institute, Wastighon, DC, 2002.
17. Zhao, F. J., Fortune, S., Barbosa V. L. et al.: Effects of sulphur on yield and malting quality of barley. *Journ. of Cereal Sci.* **43**, 2006, 369–377.
18. Potarzycki, J., Grzebisz, W.: Effect of phosphoric fertilizers as a source of sulphur on malt barley total and technological grain yields. *Plant Soil.Environ.* **53**, 2007, 395–402.
19. Narziss, L., Mienader, H., Bourjan, T.: Der Einfluß von Parameter der Maltz und Würzeherstellung auf den Gehalt an Dimethylsulfid und dessen Verläufer. *Brauwissenschaft.* **32**, 1979, 62–69.
20. Basařová, G., Šavel, J., Basař, P., Lejsek, T.: Pivovarství, teorie a praxe výroby piva. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2010, 863 s.
21. Basařová, G., et al.: Pivovarsko-sladařská analytika. Merkanta s r.o. Praha. 1992, 388.
22. Davídek, J. a kol.: Laboratorní příručka analýzy potravin. SNTL, Praha, 1977, 720 s.
23. Kosař, K., et al.: Kvalita sladovnického ječmene a technologie jeho pěstování. In.: *Metodiky pro zemědělskou praxi. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských technologií, č.3*, 1997, 48 s.
24. Kandera, M.: Účinek hnojení dusíkem na úrody zrna jarného ječmene a jeho kvalitu. *Rostlinná výroba* **40**,1994, 577–585.
25. Kosař, K., Procházka, S., a kol.: Technologie výroby sladu a piva. VÚPS, Praha, 2000, 398 s.
26. Moss, H. J., Randall, P. J., Wrigley, C. W.: Alteration to Grain, Flour and Dough Quality in Three Wheat Types with Variation in Soil Sulfur Supply. *Journal of Cereal Science* **1**, 1983, 255–264.
27. Wrigley, C. W., Du Gross, Fullington, J. G., Kasarda, D. D.: Changes in polypeptide composition and grain quality due to sulfur deficiency in wheat. *Journal of Cereal Science* **2**, 1984, 15–24.
28. Zhao, F. J., Salmon, S. E., Withers, P. J. A., Monaghan, J., Evans, E. J., Shewry, P. R., McGrath, S. P.: Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field condition. *Journal of Cereal Science* **30**, 1999, 19–31.
29. Zhao, F. J., Salmon, S. E., Withers, P. J. A., Evans, E. J., Monaghan, J. M., Shewry P. R., McGrath, S. P.: Responses of breadmaking quality to sulfur in three wheat varieties, *Journal of the Science of Food and Agriculture* **79**, 1999, 1865–1874.
30. Pecio, A.: Środowiskowe i agrotechniczne uwarunkowania wielkości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego. *Fragm. Agromom.* **4** (76), 2002, 112.
31. Jez, J., et. al.:Sulfur: A Missink Link between Soils, Crops, and Nutrition. Madison, WI : American Society of Agronomy : Crop Science Society of America : Soil Science Society of America, 2008, 323 p.
32. Shewry, P. R., Franklin, J., Parmar, S., Smith, S. J., Mifflin, B. J.: The effects of sulphur starvation on the amino acid and protein compositions of barley grain. *Journal of Cereal Science* **1**, 1983, 21–31.
33. Shewry, P. R., Tatham, A. S., Halford, N. G.: Nutritional control of storage protein synthesis in developing grain of wheat and barley. *Plant Growth Regulation* **34**, 2004, 105–111.
34. Yang, B., Schwarz, P., Horsley, R.: Factors involved in the formation of two precursors of dimethylsulfide during malting. *Journal of the American Society of Brewing Chemists.* **56**, 1998, 85–92.
35. Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E., De Kok, L. J., Stulen, I., Sulfur. In.: Allen, V. Barker, A., V., Pilbeam, D., J., (eds.): *Handbook of plant nutrition.* CRC Press, Taylor & Francis group, Boca Raton, 2007, 183–238.

Recenzovaný článek / Reviewed paper

Do redakce došlo / Manuscript received: 24. 5. 2011

Přijato k publikování / Accepted for publication: 24. 6. 2011

**stránky Kvasného průmyslu**  
**www.kvasnyprumysl.cz**

obsahy vyšlých čísel  
souhrny recenzovaných článků  
fulltexty recenzovaných článků po 3 měsících