

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

KATEDRA AGROENVIROMENTÁLNÍ CHEMIE A VÝŽIVY ROSTLIN



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Sledování účinnosti dusíkatých hnojiv se sírou  
ve výživě ozimé řepky**

**Vedoucí práce: Prof. Ing. Jiří Balík, CSc.**

**Školitel specialista: Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.**

**Autor práce: Jaroslav Weber**

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Sledování účinnosti dusíkatých hnojiv se sírou ve výživě ozimé řepky“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne: .....

Podpis:.....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat **Prof. Ing. Jiřímu Balíkovi, CSc** a **Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D.** za odbornou pomoc a vedení při zpracování této práce.

## SOUHRN

Cílem práce bylo sledovat účinnost dusíkatých hnojiv se sírou ve výživě ozimé řepky. Pozornost byla věnována hlavně případným změnám obsahu mobilní síry v půdě, obsahu síry v nadzemní hmotě řepky a změně výnosu řepkového semene v závislosti na množství dodané síry. Pokus byl založen v roce 2008 na třech lokalitách s odlišnými půdně klimatickými vlastnostmi v Hněvčevsi, Humpolci a Uhříněvsi. Na jednotlivých lokalitách byly na pokusných parcelách provedeny čtyři varianty pokusů, lišící se dávkami aplikované síry. Na kontrolní variantě nebyla aplikována žádná síra, na variantě 2 bylo aplikováno 12,5 kg S/ha, na variantě 3 bylo aplikováno 25 kg S/ha a na 4. variantě 50 kg S/ha. Celková dávka aplikovaného dusíku činila u všech variant shodně 200kg N/ha. Celková dávka byla rozdělena během dvou aplikací, nejprve ve fázi regeneračního hnojení, druhá dávka pak ve fázích BBCH 30-32. K hnojení bylo použito průmyslové hnojivo Lovofert (24% N, 6% S ve formě  $\text{CaSO}_4$ ). Samotný dusík byl aplikován hnojivem LAV. Z provedeného pokusu byly získány následující poznatky: z rozborů půd byl patrný vzestupný trend obsahů mobilní síry po dodání S hnojiv zejména v pozdějších vegetačních fázích (BBCH 30-32 a BBCH 50-52), přičemž po sklizni došlo k vyrovnání obsahu mobilní síry na všech variantách hnojení. Z rozborů rostlin byl vždy patrný vyšší obsah síry hlavně v mladších listech. Vzestupný trend obsahu síry v listech řepky v závislosti na dávce síry byl sledován na všech stanovištích pouze ve vegetační fázi BBCH 50-52. U výnosu se projevil vzestupné trendy ve výnosu vzhledem ke stoupající dávce síry. Nejnižšího výnosu bylo vždy dosaženo na sírou nehnojené variantě a s výjimkou stanoviště Humpolec bylo vždy dosaženo nejvyššího výnosu na variantách s nejvyšší dávkou síry. Rozdíly ve výnosech však nebyly statisticky průkazné.

**Klíčová slova:** hnojení, síra, řepka olejka

## SUMMARY

The aim of my thesis was to study the effectivity and influence of nitrogenous fertilizers with sulphur on the perennial oilseed rape. I focused on changes in the mobile sulphur content in soil, the content of sulphur in the above-the-ground parts of the plant and the change of sweepage in connection with the sulphur fertilizer. My observation was started in 3 localities with similar climatic and soil conditions (in Uhříněves, Hněvčeves and Humpolec) in 2008. We applied different amount of sulphur in different testing acreages. There was a control area with no sulphur added. On the second area we applied sulphur in the amount of 12,5 kg per hectare, on the third area 25 kg per hectare, on the fourth 50 kg per hectare. The total amount of nitrogen was 200 kg per hectare, the same amount in each variant. The total amount was divided into 2 applications, the first in regenerative fertilization and second in the phase BBCH 30-32. We used the LOVOFERT fertilizer (N 24%, S 6% - in the form of  $\text{CaSO}_4$ ). The results were following: we analyzed the soil and found out that the content of sulphur increased especially during the later vegetative phases (BBCH 30-32 and BBCH 50-52). We measured the same content of sulphur in every field after the harvest. The plant analyses showed higher content of sulphur especially in younger parts of plants. Rising content of sulphur in leaves was observed only in later vegetative phase BBCH 50-52. The third parametr, and for farmers the most important we had studied, was the sweepage. The sulphur fertilization proved the significant influence on the sweepage. The lowest crop was on the control area with no sulphur added. We reached the highest crop on the fields with the highest sulphur fertilization, besides Humpolec.

**Keywords:** fertilization, oilseed rape, sulphur

# Obsah

1. Úvod.....	3
2. Cíl práce.....	5
3. Literární přehled .....	6
3.1. Řepka olejka – <i>Brassica napus</i> .....	6
3.2. Síra v rostlině .....	7
3.2.1. Význam síry pro rostliny .....	7
3.2.2. Síra v řepce olejce .....	8
3.2.3. Poměr N/S .....	10
3.2.4. Nedostatek síry u řepky.....	11
3.2.5. Odstranění nedostatku síry.....	13
3.2.6. Nadbytek síry u řepky .....	13
3.3. Síra v půdě .....	14
3.3.1. Obsah síry v půdě.....	14
3.3.2. Analýzy půd .....	15
3.3.3. Vymývání síry .....	15
3.3.4. Imobilizační a mineralizační procesy .....	16
3.4. Změny v emisích síry z atmosféry .....	16
3.5. Potřeba síry pro výživu řepky ozimé .....	17
3.6. Výživa a hnojení řepky ozimé sírou .....	18
3.7. Zdroje síry pro rostliny .....	20
3.8. Vliv hnojení řepky sírou na ostatní rostliny .....	20

3.9. Hnojení minerálními hnojivy .....	21
3.10. Organická hnojiva .....	26
4. Metodika .....	27
5. Výsledky a diskuse .....	29
5.1. Obsah mobilní síry v půdě .....	29
5.2. Obsah síry v rostlinách.....	31
5.3. Výnosy ozimé řepky .....	33
6. Závěry .....	35
6.1. Rozbory půd:.....	35
6.2. Rozbory rostlin:.....	35
6.3. Výnosy: .....	35
7. Použitá literatura:.....	36

# 1. Úvod

Síra je pro rostliny nepostradatelnou živinou, je jednou ze základních stavebních složek bílkovin, je součástí enzymů a mnoha dalších látek, přičemž o funkci a významu mnohých z nich nemáme ani v dnešní době dostatečné znalosti. Síra je také schopna se do značné míry podílet na regulaci houbových onemocnění rostlin. I přes to, že síra je pro rostliny nepostradatelnou živinou, nebyla jí v dřívější době věnována výrazná pozornost. V Evropě se před rokem 1990 provádělo na téma týkající se hnojení sírou minimální množství pokusů, síry byl v půdě dostatek a nebyla proto potřeba zjišťovat jakým způsobem a v jaké formě síru rostlinám dodávat. Prapůvodním zdrojem síry pro rostliny byla hlavně vulkanická činnost. Poté s rozmachem lidstva, kdy došlo k intenzifikaci zemědělské výroby a tedy i zvýšení potřeby síry pro rostliny se staly zdrojem síry atmosférické spady, způsobené spalováním fosilních paliv. V době velice intenzivního zemědělství zajišťovali dostatek síry intenzivní atmosférické spady této živiny, které v ČR podle některých údajů dosahovaly např. v roce 1985 hodnot mezi 130 až 150 kg/ha (v některých imisně zatížených oblastech to bylo i několikanásobně více), nebyla tedy potřeba dodávat rostlinám další síru např. formou průmyslových hnojiv.

Problémy s nedostatkem síry se tak začínají projevat až v posledních 10 – 20 letech, kdy v důsledku zavedení protiemisních opatření poklesly hodnoty atmosférického spadu síry až na hodnoty pod 20 kg/ha.

Na dalším prohlubování nedostatku síry se dále podílí razantní snižování až úplné rušení živočišné výroby a tím i omezené možnosti aplikace organických hnojiv. Zdrojem síry pro rostliny bývala i hnojiva, jejichž “balastní” složkou byla právě síra, dále pak celá řada fungicidních přípravků fungovala na bázi síry.

Bohužel právě v době kdy došlo k velice výraznému omezení zdroje síry jakým byl atmosférický spad, dochází současně k ohromnému nárůstu ploch řepky (z přibližně 100 tis. ha. v roce 1989 na současných 350 tis. ha), která je z běžně pěstovaných plodin největším konzumentem této živiny. Podobné nároky na množství dodávané síry mohou mít snad pouze některé druhy zeleniny z čeledi *Brassicaceae* nebo např. cibule, ale ve srovnání s plochami řepky ozimé a jejím významem pro celé odvětví jsou tyto plodiny téměř zanedbatelné.

Způsobů jak dodat do půdy drahocnou síru je několik. Na produkci 3,5 tuny řepkového semena z hektaru potřebují rostliny dodat 85 – 90 kg síry, pokud bychom chtěli dodat takové množství formou např. organických hnojiv, představovalo by takové opatření velice výraznou finanční a organizační nákladnost, nehledě na omezené zdroje takových



hnojiv. Jistou alternativou mohou být také čistírenské kaly, ale vzhledem k množství produkce těchto kalů jde opět pouze o okrajové řešení a dále je třeba brát v potaz nebezpečí kontaminace kalů těžkými kovy. Jediným dostupným řešením, jak dodat potřebné množství síry jsou průmyslová hnojiva. V těchto hnojivech je většinou síra doplněna nejčastěji o dusík nebo jiné, pro rostliny důležité látky. Tímto způsobem je tak možno relativně jednoduše dodat rostlinám dostatek snadno přístupných živin.

Vzhledem k tomu, že řepka zanechává v posklizňových zbytcích na pozemku téměř 80% přijatého množství síry, lze v případě úzkého osevního postupu a dostatečných dávek aplikovaných pro řepku vynechat hnojení sírou u ostatních plodin. Například u pšenice se dostatečné množství přijatelné síry projeví velice pozitivně na pekařské jakosti.

Je jisté, že do budoucna se musí se sírou počítat jako s jednou ze základních živin. Význam hnojení sírou je v dnešní době o to více umocněn faktem, že právě řepka se stává v posledních letech jednou z nosných plodin celého zemědělství. K hnojení sírou by se tak měli přiklánět i pěstitelé, kteří z finančních důvodů omezovali veškeré hnojení pouze na dusík.

## **2. Cíl práce**

Cílem této práce bylo sledování vlivu různých dávek síry k řepce ozimé aplikované formou dusíkatých hnojiv obsahujících síru ve formě síranu vápenatého a dále pak vyhodnocení výnosů semene, obsahu minerální síry v půdě a v nejmladších listech závislosti na různé dávce aplikované síry.

### 3. Literární přehled

#### 3.1. Řepka olejka – *Brassica napus*

Systematika čeledi brukvovitých rostlin (*Brassicaceae*) je velmi složitá, až dosud nebyla stanovena její všeobecně uznávaná varianta, ačkoliv byla od doby Linného často pozměňována. Předpokládá se, že *B. napus* vznikl v odlišných zeměpisných oblastech. Tento poznatek vyplívá z rozdílných typů *B. napus*, např. v západní a východní Evropě a v jihovýchodní Asii. Jedná se o určitý typ polyploidu, tzv. allopolyploid, který vzniká spojením a zmnožením genomu různého druhového původu. O původu řepky olejky nevíme nic určitého. K dispozici jsou jen více nebo méně podložené dohady. U řepky na rozdíl od řepice není známa planě rostoucí forma. Údaje o výskytu planě rostoucí řepky v severní Africe, na pobřeží Atlantského oceánu a jinde nebyly potvrzeny. S určitostí lze však říci, že druh řepka setá – *B. napus* se spontánně nikde nevyskytuje ani ve formě olejnaté, ani se zdužnatělým stonkem a kořenovou částí (Fábry, 1992).

Řepka ozimá má v současnosti silné postavení v českém i evropském zemědělství. Svým původem je amfidiploidní plodina, která vznikla ze spontánního křížení druhů *Brassica campestris* a *Brassica oleracea*. Z tohoto důvodu byla její kvalita z počátku velmi problematická. Za posledních 30 let prošla tato plodina díky šlechtitelskému pokroku výraznou kvalitativní změnou. Značný posun ve snížení obsahu nežádoucích glukosinolátů (GSL) ve šrotu a kyseliny erukové (KE) v oleji je toho jasným důkazem (tabulka 1). Dlouhodobá osevní plocha ozimé řepky v České republice je na hranici 300 tisíc hektarů a díky strategii EU podporovat využívání biopaliv se osevní plocha zřejmě zvýší až na 400 tisíc hektarů (Prugar, 2008).

Tabulka 1.: Vývoj šlechtění řepky ozimé (Prugar, 2008)

Období (přibližně)	Charakteristika odrůd	Využití
do r. 1975	„EG“ typ odrůd s nevyhovující potravinářskou a krmnou kvalitou – vysoký obsah KE (cca 50%) v oleji a GSL ve šrotu (nad 80 $\mu\text{mol/g}$ semene)	Malé možnosti potravinářského využití, olej hlavně pro technické účely, nízké osevní plochy
r. 1975 - 1985	„0“ typ odrůd se sníženým obsahem KE (do 5%), ale nesníženým vysokým obsahem GSL	Potravinářské využití, prakticky bez krmivářského uplatnění, zvýšení osevních ploch
r. 1985 až současnost	„00“ typ odrůd se sníženým obsahem KE a nízkým obsahem GSL (do r. 2005 do 18 $\mu\text{mol/g}$ semene v osivu při registraci odrůdy)	Bezproblémové potravinářské využití, přidávání šrotů a výlisků do krmných směsí, zvyšování osevních ploch
od r. 1995	Rozšíření hybridních odrůd (nejdříve na bázi systému MSL Lembke, později Ogu-INRA)	Stejně použití jako „00“ odrůdy, uplatnění heterozního efektu v podobě vyšších výnosů, obecně lepší odolnost rostlin proti stresům, zvýšený obsah GSL u prvních Ogu-INRA hybridů
od r. 2000	Výkonné liniové odrůdy s velmi nízkým obsahem GSL, nové trendy – změněná skladba mastných kyselin v oleji, žlutosemenné odrůdy, trpasličí odrůdy, využití GMO technologií atd.	Nárůst osevních ploch, šlechtění odrůd se „speciálním složením“ olejů, potravinářské účely, MEŘO pro výrobu bionafty, tolerance k herbicidům, mrazuvzdornost, odolnost k chorobám a škůdcům atd.

## 3.2. Síra v rostlině

### 3.2.1. Význam síry pro rostliny

Rostlinné živiny jsou látky potřebné pro normální životní pochody organismu rostlin. Jejich funkce nemůže být nahrazena jinou chemickou látkou. Proto je označujeme jako nezbytné (biogenní) a řadíme je mezi vegetační faktory hmotné povahy. Zelené rostliny mohou přijmout z prostředí více než 50 chemických prvků (minerálních látek). Pouze 16 z

nich jsou rostlinné živiny: uhlík, kyslík, vodík, dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra, železo, chlór, mangan, měď, zinek a molybden. Vegetační faktor „živiny“ je faktorem, který může pěstitel nejvíce ovlivňovat (Pulkrábek, Švachula 1995).

### 3.2.2. Síra v řepce olejce

Nepostradatelnou živinou řepky olejky, jako ostatně všech brukvovitých plodin, je síra. Ta se významně podílí při syntéze bílkovin. Plní také ochrannou funkci proti houbovým chorobám (Fábry, 1992). Síra je také v rostlinách součástí nespočetného množství sloučenin (např. cysteinů, sulfolipidů nebo různých enzymů) (Marschner, 2003) ale je známo velice málo o biosyntetických drahách které zavádějí síru do těchto látek a tím méně o jejich funkci (Hell and Rennenberg, 1998).

Rostliny přijímají síru z půdy převážně jako síranový anion. Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku i půdními vlastnostmi (Balík, Tlustoš, 2000).

Síra je přijímána rostlinami převážně jako aniont  $\text{SO}_4^{2-}$  z půdy. Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku i půdními vlastnostmi. Rozhodující je obsah síranového aniontu v půdě, kam se dostává hnojivy, z ovzduší spadem (po oxidaci  $\text{SO}_3^{2-}$ ) a z půdních zásob. Rostliny jsou schopny využít i  $\text{SO}_2$  z ovzduší, ovšem jen určitou část své potřeby (asi do 30% celkové potřeby). Při malé koncentraci  $\text{SO}_2$  v ovzduší a nedostatku  $\text{SO}_4^{2-}$  je využití vyšší a působí příznivě, ale od koncentrace 1 – 1,5 mg  $\text{SO}_2$  v 1  $\text{m}^3$  působí již poškození rostlin. Síra je v rostlinách poměrně dobře pohyblivá, je transportována hlavně do mladých listů a meristémů. V rostlinách se hromadí ve formě síranu, který slouží jako zásobní látka. Podle potřeby rostliny síran redukují (na  $\text{H}_2\text{S}$ ) a zabudovávají do organických sloučenin (Vaněk, 2007).

Síra je součástí aminokyselin cysteinu a methioninu a následně mnoha bílkovin a tedy i enzymů, prostetických skupin, několika koenzymů a vitaminů. Síru obsahují též oleje typické pro rostliny z čeledi Brassicaceae, glukosidy charakteristické pro hořčici, cibuli a česnek, fytochelatiny blokující těžké kovy v kořenech rostlin a řada dalších sloučenin. Po redukci v listech je síra zabudována hlavně do aminokyselin cysteinu a methioninu nebo do sulfydrylových skupin koenzymů a sulfolipidů. Redukce  $\text{SO}_4^{2-}$  i tvorba cysteinu probíhá v chloroplastech a je výrazně stimulována světlem (Procházka et al., 1998).

Cystein se prostřednictvím funkční skupiny -SH přímo účastní metabolických reakcí. Snadno dehydrogenuje, a to i v peptidické vazbě. Při tom se spojují dvě molekuly cysteinu na

cystin. Methionin je nejen nezbytnou aminokyselinou a stavební jednotkou bílkovin, ale také donorem aktivních methylových skupin (Zelený, 1996).

Síra je dále součástí vitamínů – thiaminu, biotinu a koenzymu A. Síru obsahuje i ferredoxin, látka bílkovinné povahy, která se zúčastňuje oxidace světlem aktivovaného chlorofylu a taktéž některé další přenašeče elektronů. V rostlinách je síra dále v esterických těkavých látkách, např. brukvovitých rostlin (Matula, 1987).

Funkce síry v rostlinách úzce souvisí s metabolismem dusíku. Také cyklus přeměny síry v půdě i rostlině je velmi podobný jako u dusíku. Vysoké nároky na síru mají rostliny brukvovité a ty, které produkují větší množství bílkovin, silic a pryskyřic (Vaněk, 1998). Hlavní biochemickou úlohou síry je tvorba bisulfidických můstků mezi peptidickými řetězci a stabilizace bílkovinných struktur. Skupiny -SH jsou využívány v systémech redoxních reakcí, jako jsou např. glutathionový systém a systém kyseliny lipoové řídící terminální procesy oxidace a přenosu vodíku při fotosyntéze. Síra je složkou CoA, který slouží jako přenašeč acylových skupin. Obsahují ji také vitaminy biotin a thiamin, důležité pro fixaci CO<sub>2</sub> a dekarboxylační reakce. Enzymy obsahující síru se účastní i redukce nitrátů (Zelený, 1996).

Síra se také podílí na tvorbě specifických látek, které ovlivňují chuť, vůni, aroma a tím i specifické vlastnosti rostlin a rostlinných produktů. Koloběh síry a její uplatnění v rostlinách jsou často přirovnávány k dusíku (v půdách oxidace a v rostlinách redukce). U síry je však výrazný rozdíl v tom, že síra organických sloučenin může být v plodinách opět reoxidována na síran a v rostlinách se výrazně uplatňují i organické sloučeniny se sírou v oxidované formě (Vaněk, 2007). Pokrok v chápání metabolismu síry v rostlinách je často komplikován velice nízkým obsahem a labilitou jak přímo metabolitů síry, tak i enzymů podílejících se na jednotlivých procesech (Hell and Rennenberg, 1998).

Na obsahu cysteinu a cystinu závisí tvorba některých biologicky aktivních látek. Síra ovlivňuje endogenní hladinu methioninu, prekursoru biosyntézy etylenu, který hraje významnou roli v regulaci růstových a vývojových procesů rostlin, hlavně jako retardant dlouhivého růstu a stimulant procesů zrání (Zelený, 1996).

Vzestupný transport SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> xylémem je dobrý, opačným směrem je velmi pomalý. Možnost znovu využití síry ze starších listů v mladších je omezená. Biorecyklace glukosinolátů může být zdrojem síry pro základní metabolismus rostliny, při jejím nedostatku v živném prostředí. Rovněž je zřejmá souvislost glukosinolátů s obranným mechanismem brukvovitých rostlin proti chorobám a škůdcům (Matula, 2007).

Příjem síry rostlinami často probíhá proporcionálně s nárůstem sušiny. Intenzivní příjem začíná v období dlouhivého růstu a končí přibližně po odkvětu. V tomto období

odčerpává zdravý porost řepky z půdy denně 0,5 – 1 kg síry z 1 ha. Určení stupně zásobení rostlin sírou je možné v období tvorby listů na horní třetině lodyhy. Nutnost hnojení sírou nastává tehdy, když obsah veškeré síry v listech poklesne pod 0,65 %. Při poklesu obsahu síry pod 0,35 % je třeba počítat s citelným poklesem výnosu (Fábry, 1992). Srovnání hranice nedostatku síry v řepce vzhledem k ostatním plodinám je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2.: Nedostatek síry u řepky ve srovnání s ostatními plodinami (Matula, 2007)

Plodina	g S/kg sušiny	
	Kritická koncentrace (při 5% redukcí max. výnosu)	Koncentrace spojená s vizuálními symptomy
Řepka	5,5	3,5
Obilniny	3,2	1,2
Brambory, cukrovka	3	1,7 – 2,1
Bob, hrách	-	1 – 1,2

### 3.2.3. Poměr N/S

Filozofie diagnostiky poměru N/S vychází z toho, že hlavní funkcí síry je účast síry v plnohodnotných bílkovinách, které jsou pod genetickou kontrolou, čímž poměr N/S by měl být stabilizován a měl by být charakteristický pro jednotlivé plodiny. Znalost poměru N/S by tedy měla být univerzálnějším kritériem diagnostiky, méně závislým na fenofázi rostliny. Uvádí se, že na 36 – 34 atomů dusíku připadá v bílkovinách 1 atom síry (Matula, 2007).

Různý obsah glukosinolátů v semeni řepky v závislosti na rozdílných dávkách dusíku aplikovaného společně se sírou vysvětlují např. Jenz a Bettany (1984) (in Pedersen 1998). Pokud je aplikována vyšší dávka N, která se projeví hlavně na zvýšení počtu semen, ale dávka síry je stejná, pak je nižší i obsah glukosinolátů v semenech, protože rostlina nemá dostatek síry na dostatečnou dodávku glukosinolátů do semene. Pokud ale vyšší dávka N ovlivní současně i nárůst kořenové hmoty, rostlina je poté schopna osvojit si více síry z půdy a množství glukosinolátů v semeni zůstane vyšší i při vyšší produkci semene.

### 3.2.4. Nedostatek síry u řepky

Pokud je na pozemku diagnostikován nedostatek síry, začínají se příznaky nedostatku síry u jednotlivých plodin projevovat v následujícím pořadí: u řepky, brambor, cukrové řepy, fazolu, hrachu, obilnin, kukuřice a nakonec u trav. Celkově je koncentrace v tkáních odpovídající prvnímu výskytu příznaků deficiencie S nejvyšší u řepky olejné (3,5 mg/g) a nejnižší u trav (1,2 mg/g). Příznaky nedostatku S jsou u řepky velmi specifické, a proto bývají dobrým vodítkem k diagnostice deficiencie S na pozemku. Projevy nedostatku S jsou stejné jak u odrůd s vysokým tak i u odrůd s nízkým obsahem glukosinolátů (Schnug and Haneklaus, 1998).

Vizuální symptomy S-deficitu jsou podle některých názorů nejlevnější diagnostický prostředek, ale bohužel indikují již hluboký stupeň disproporce, který již nelze podstatně korigovat hnojením. Indikační plodinou S-deficitního stanoviště je řepka. Při včasném povšimnutí si symptomů do fáze intenzivního dlouhivého růstu, lze provést u řepky ještě korekci hnojením se slušným efektem záchrany výnosu (Matula, 2007).

Nedostatek síry se nejprve projevuje omezením syntézy bílkovin, včetně enzymů. Je snížena aktivita enzymů – výrazně např. Nitrátoreduktázy – přijaté nitráty nejsou v dostatečné míře převáděny na amoniak, v rostlinách je omezena tvorba prvotních zdrojů organických látek obsahujících N, tedy aminokyselin a dále bílkovin, a minerální N v nitrátové formě se hromadí nevyužit v pletivech rostlin. Snížení fotosyntetické asimilace vede k nižší produkci cukrů, a tím následně ke snížení obsahu hlavních energetických složek rostlin, škrobu, cukrů, apod. Snížení obsahu těchto látek, hlavně bílkovin, signalizuje latentní nedostatek S především u rostlin s vysokými nároky na tuto živinu (Vaněk a kol., 2007). Deficit síry se nejdříve projevuje na lehkých, promyvných půdách s nízkou intenzitou organického hnojení (Vašák, 2000).

Typickým vizuálním projevem nedostatku S na rostlinách je žloutnutí listů, které začíná od nejmladších listů a při trvalejším nedostatku S přechází i na mladší listy (Vaněk a kol., 2007). Podle Zeleného (1996) se chlorózy způsobené nedostatkem síry začínají projevovat nejdříve na okrajích listů a postupně se šíří k žilnatině, ta však zůstává zelená i při hlubokém nedostatku síry.

Chlorózy způsobené nedostatkem S nikdy nepřecházejí v nekrózy, tak jak tomu bývá například při nedostatku dusíku nebo hořčíku a to ani při extrémním nedostatku síry, kdy se již u řepky projevují závažné poruchy, což bývá vodítkem pro diagnostikování nedostatku S.



Intenzita projevu nedostatku S na listech závisí také dosti na dávkách aplikovaného dusíku. Obecně vysoké dávky dusíku podporují intenzitu projevu a naopak (Schnug and Haneklaus, 1998).

Charakteristické také je, že rostliny špatně rostou, jsou sice vzpřímené, ale velmi slabé a nízké – svým habitem zjevně připomínají strádající rostliny (Vaněk a kol., 2007).

Také podle publikace BASF (Řepka – plodina s perspektivou) (2008) se nedostatek síry projevuje žlutým zbarvením od okrajů listů, navíc uvádí charakteristický „lžičkovitý tvar“ listů. Korunní plátky jsou zbarveny bledě až šedožlutě. Nasazení šešulí je slabé a šešule propadávají.

Zelený (1996) dále popisuje projevy deficitu síry u řepky ozimé v jednotlivých fázích růstu:

1. Raná fáze – Přestože tvorba biomasy během raných růstových fází je poměrně malá, nedostatek síry působí retardaci růstu, typické makroskopické příznaky s mramorováním listů a snížení přirozené odolnosti rostlin ke škůdcům a chorobám. Listové čepele jsou slabší, plocha listů je menší a habitus rostlin je strnulejší. Rozšiřování chlorózu od krajů listů je hlavním rozdílem mezi nedostatkem síry a dusíkem a hořčíkem. V případě dusíku dochází k zesvětlení celé listové čepele a v případě hořčíku se tvoří typická mezižeberná chloróza.

2. Hlavní růstová fáze – Listy rostlin s deficitem síry jsou různě deformované, mramorované a mají typický lžičkovitý tvar. Tyto symptomy se často objevují společně s červeným zbarvením antokyanů, jejichž syntéza se zvyšuje s rostoucí koncentrací glukózy a je zapříčiněna inhibicí biosyntézy aminokyselin a bílkovin. Deformace listů lze pozorovat, jestliže jejich hmotnost poklesne pod 40 až 50 % jejich normální hmotnosti. Nedostatek síry na začátku prodlužování stonků velice negativně ovlivňuje výnosové partie.

3. Doba květu - Nedostatek síry působí dvě výrazné změny na květech: bílé květy a změnu velikosti a tvaru korunních plátků. Rostliny dobře zásobené sírou mají květy kruhové, zatímco vejčitý tvar květů tvoří rostliny trpící nedostatkem síry. Změna barvy květů při nedostatku síry je způsobena tvorbou bezbarvých leukoantokyaninů místo žlutých flavonolů v důsledku inhibované syntézy aminokyselin a bílkovin při zvýšené tvorbě cukrů.

4. Doba dozrávání – nedostatek šešulí nesnižuje pouze počet šešulí, ale také jejich velikost. Morfologické deformace šešulí, obecně popisované jako „gumové“, mají světle zelené zbarvení, často kombinované s antokyanovým zbarvením, jsou scvrklé, sukulentního vzhledu. V šešulích se tvoří menší počet semen. Při hlubokém nedostatku síry mají šešule jen 1 – 5 semen, zatímco rostliny dobře zásobené sírou mají 15 – 20 semen. Při

velmi hlubokém nedostatku síry se netvoří žádná semena. Celková produkce semen, oleje a bílkovin je významně redukována.

### **3.2.5. Odstranění nedostatku síry**

Doposud v naší hnojařské praxi nehrálo hnojení sírou významnější roli, což bylo způsobeno jednak tím, že byla dodávána v dostatečném množství v hnojivech a byl také výrazný přísun S z ovzduší. Bilance síry byla u nás jednoznačně pozitivní – do půdy bylo přiváděno více S, než činila potřeba rostlin. V současné době se snížil přísun tohoto prvku ve hnojivech i spadu z ovzduší, a proto je nutné u rostlin náročných na síru realizovat hnojení touto živinou. Hnojení je nejčastěji spojováno s použitím dusíkatých hnojiv (většina vyráběných hnojiv je kombinace dusíkatého hnojiva s přídavkem síry – např. močovina se sírou, ledek amonný se síranem vápenatým – LAS, dusičnan amonný a síran amonný – DASA, případně vícesložková hnojiva se sírou, např. Synferta N 22 aj.). K základnímu hnojení upřednostňujeme použití síranu amonného a dále draselných a hořečnatých hnojiv v síranové formě (síran draselný, Patentkali, Kieserit, hořká sůl aj.), zvláště u rostlin, kde Cl působí nepříznivě, případně vícesložkových hnojiv se sírou. K přihnojení během vegetace je výhodnější použít dusíkatá hnojiva s přídavkem síry (DASA, Sulfan, LAS, aj.) (Vaněk a kol., 2007). Matula a Pechová (2007) se ve svých experimentech zabývali dodáváním síry ve formě síranu vápenatého.

Zelený (1996) také uvádí zajímavý poznatek, že v pokusech které probíhaly ve vegetační hale Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze-Ruzyni v roce 1996, stačilo k odstranění růstové inhibice a vytvoření listové růžice i květenství přihnojit rostliny 0,2 g síry na nádobu (6,5 kg substrátu) ve formě síranu amonného.

### **3.2.6. Nadbytek síry u řepky**

Nadbytek síry v našich podmínkách je třeba posuzovat ze dvou hledisek. Vysoký obsah S v půdě, který se projeví vysokou koncentrací  $\text{SO}_4^{2-}$  v půdním roztoku, většinou nepůsobí negativně na rostliny. Vyšší obsah síranů snášejí totiž rostliny poměrně dobře, nadbytečné množství síranů mohou ve svých pletivech ukládat bez poškození. Teprve velice vysoká koncentrace síranů – nad 4000 mg v 1 l půdního roztoku, působí na rostliny depresivně (Vaněk a kol., 2007).

Akutní poškození vysokými koncentracemi SO<sub>2</sub> se na rostlinách projevuje podobně jako působení H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Při chronickém onemocnění listy žloutnou, dochází k vybělení tkání mezi nervaturou v důsledku rozpadu chlorofylu a karotenů, mezižilní prostory vybělují a listy opadávají (Zelený, 1996).

Druhé hledisko je možná toxicita SO<sub>2</sub> v ovzduší. Mnohdy lokálně dosahované koncentrace nad 0,3 mg SO<sub>2</sub> v 1 m<sup>3</sup> působí již poškození pletiv rostlin. Plošné znečištění SO<sub>2</sub> v současné době není již aktuální, protože hlavní zdroje emisí jsou zachycovány (Vaněk a kol., 2007).

Jako u všeho platí zásada správné míry. U řepky nadbytečná výživa sírou zhoršuje kvalitu – vzrůst osahu glukosinolátů v semenu (norma: 25 mikromolů/g semene) (Vašák, 2000).

### **3.3. Síra v půdě**

#### **3.3.1. Obsah síry v půdě**

Obsah síry v půdě nejvýrazněji ovlivňuje druh půdy. Na humózních půdách je větší zásoba síry, zejména v organické formě. Výrazný deficit síry se registruje na lehkých půdách s nízkým obsahem humusových látek (Fecenko, 2002).

Celkový obsah síry v půdě se pohybuje v rozmezí 0,02 – 0,2% (Blume a kol., 2002; Mengel, 1993; Balík a Tlustoš, 2000). V současné době navíc dochází k poklesu obsahu síry v půdě vlivem nižších atmosférických spadů (Balík et al., 2009). Pokle Vaňka (2007) obsah síry ve většině zemědělských půd kolísá v širokém rozsahu, běžně od 50 do 500 mg s/kg. Převažující složkou je síra v organických sloučeninách (až 98 % celkové síry). Organické sloučeniny síry lze rozdělit na dvě skupiny:

A, síra vázaná na organické sloučeniny v oxidované formě – jako estery s lipidy, polysacharidy i glukosinoláty . Tato forma organické síry tvoří větší část organicky vázané síry v půdě. Síra je z těchto sloučenin poměrně snadno uvolňována při jejich mineralizaci, a proto je považována za hlavní potenciální zdroj pro rostliny.

B, síra vázaná na organické sloučeniny v redukované formě – hlavními představiteli těchto sloučenin jsou aminokyseliny, jako je methionin a cystein, které jsou součástí bílkovin, ale i dalších sloučenin. Síra je v nich vázána přes uhlík a jejich mineralizace je již složitější. Probíhá v několika krocích – rozložení složitých látek na jednodušší – až na aminokyseliny, následné odštěpení sulfanu (H<sub>2</sub>S) a jeho postupná oxidace na síran.

Malý podíl S je vázán v biomase mikrobů (1-3%). Je to však nejdynamičtější část organických sloučenin v půdě, které se mohou podílet na výživě rostlin sírou (po mineralizaci) (Vaněk a kol., 2007).

Z pokusů Výzkumného ústavu rostlinné výroby Praha – Ruzyně vyplývá, že celkový obsah S se pohybuje v širokém intervalu od 50 mgS/kg do 764 mgS/kg, téměř 90 % vzorků se však nachází v intervalu od 100 mgS/kg do 300 mgS/kg. Poměr C/S u téměř 90 % půdních vzorků spadá do intervalu 50 až 150. Celkový obsah organického C, N nebo S v půdě vykazuje podobné rozpětí hodnot a relativně úzký interval poměrů C/N, resp C/S. Také vzájemné vztahy mezi těmito půdními vlastnostmi potvrzují, že mohou být všechny nebo každá z nich považovány za měřítko obsahu půdní organické hmoty (Kubát a Čerchová, 2008).

### **3.3.2. Analýzy půd**

Ke stanovení zásobenosti půd sírou byla navržena řada metod. Používána jsou nejen různá extrakční činidla, ale také různé metody koncového stanovení síry, síranů a dalších forem síry. K nejčastěji používaným slabým extrakčním činidlům patří voda,  $\text{CaCl}_2$  a  $\text{LiCl}$ . Ze silnějších činidel extrahujících i absorbovanou síru se používá např.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  (Zelený, 1996).

Problematika stanovení zásobenosti půdy sírou spočívá v tom, že hlavní podíl síry v půdě je součástí organické půdní hmoty a tedy její přeměny by mohly významně a v krátké době měnit stav zásoby dostupné síry v půdě pro rostliny, obdobně jako v případě dusíku. Dále, že hlavní příjmovou formou síry pro rostliny jsou sírany, které v půdách o potřebné hodnotě pH pro kulturní plodiny jsou prakticky bez významné možnosti sorpce v půdě. Z této skutečnosti vyplývají potíže s postižením kapacitní charakteristiky zásoby dostupné síry v půdě, které v koncovce komplikují agronomickou interpretaci půdních testů (Matula, 2007).

### **3.3.3. Vymývání síry**

Vymývání síranů je hlavní příčinou ztrát síry z ornice. Ke značným ztrátám síry může docházet i vymýváním různých ve vodě rozpustných organických sloučenin obsahujících síru. Na intenzitu vymývání působí řada faktorů, jako jsou druh půdy a její vododržnost, klimatické a povětrnostní podmínky, intenzita pěstování plodin a celý systém

hospodaření na půdě. Nedostatek síry u rostlin se vyskytuje hlavně na lehkých písčitých půdách v oblastech s dostatkem srážek, kde mobilní síranové ionty jsou rychle vymývány (Zelený, 1996).

### **3.3.4. Imobilizační a mineralizační procesy**

Je otázkou, do jaké míry může mineralizace organické hmoty v našich půdách přispět k výživě porostů sírou, a to zvláště v období intenzivního jarního růstu řepky. Z výzkumu vyplývá, že v kritickém jarním období nelze počítat s dostatečným doplňováním síranů v půdě z mineralizace organické půdní hmoty. Během šedesáti dnů na přirozeně úrodných půdách produkce síranů nepřevyšovala hodnotu 4 kg S/ha. Naopak u ostatních půd (které v souboru představovaly četnost kolem 50 %) byl registrován spíše úbytek, imobilizace minerální síry. Významným poznatkem je, že hnojení dusíkem snižovalo produkci síranů z mineralizace organické složky půdy a u půd s imobilizační tendencí byla imobilizace síry ještě silnější (Matula, 2007).

Imobilizace síranu do organických forem může probíhat velice rychle. Je řízena mikrobiální aktivitou a je značně ovlivněna druhem substrátu. Přídavek organických uhlíkatých látek jako glukózy a rostlinných zbytků značně zvyšuje inkorporaci síranů do organických sloučenin. Imobilizace síry pozitivně koreluje s poměrem C:S v substrátu. Zaorávka slámy obilnin, které mají široký poměr C:S, může tedy během krátké doby zvýšit imobilizaci síry a snížit její dostupnost rostlinám (Zelený, 1996).

## **3.4. Změny v emisích síry z atmosféry**

Od 80. let dochází v zemích západní Evropy k poklesu dodávek této živiny z atmosférických depozic i průmyslových hnojiv a při vysoké intenzitě hnojení dusíkem začal její nedostatek negativně působit na množství i kvalitu rostlinné produkce. V Německu, Skotsku, Anglii i v jiných státech Evropy se proto s intenzivním výzkumem potřeby hnojení sírou začalo přibližně o 15 let dříve než v ČR. Vývoj emisí oxidu siřičitého v ČR je znázorněn v grafu 1. Bylo zjištěno, že během jednoho desetiletí se nedostatek síry u polních plodin značně rozšířil. Např. ve Velké Británii u téměř každého třetího polního pokusu s travinami, obilninami a ozimou řepkou došlo po aplikaci hnojiv se sírou ke zvýšení výnosů, a to v rozmezí od 4 do 327%, zlepšila se i kvalita pěstovaných plodin. Ještě v roce 1996 se

objevovali názory, že „Výživa rostlin sírou je sice praktickým problémem, ale v podmínkách ČR více potenciální než aktuální“ (Zelený, 1996).

### 3.5. Potřeba síry pro výživu řepky ozimé

Pěstování řepky je úspěšné i v sírou imisně zatížených oblastech, protože řepka spotřebuje při výnosu 3,5 t/ha semen asi 80-90 kg S/ha (Vašák, 2000).

Potřeba živin je množství živin, které je porostem v průběhu vegetace přijato. Export živin je množství živin, které je sklizní produktu z půdy odčerpáno a do půdy se nevrací. Potřeba živin je proto nepoměrně vyšší než export živin, protože opadem listů (od podzimu až do dozrávání), zpětným transportem živin do kořenového krčku, zaoráním slámy a šesulí na poli se velké množství živin vrací zpět do půdy (Fábry, 1992).

Vašák (2000) uvádí, že návratnost síry do půdy ve formě posklizňových zbytků je cca 78%.

U řepky panuje shoda, že nejlepší informaci o stavu výživy sírou podává plně vyvinutý mladý list ve vrchní části rostliny. Diagnostika výživného stavu rostliny je běžně založena na stanovení obsahu celkové síry, poměru síry k dusíku a popřípadě se hledají další indikátory, které by více respektovaly podstatu fyziologie a biochemie síry v rostlině. Nejsnáze dostupnou formou síry pro rostliny jsou sírany (anorganická forma). Půdní test na síru by tedy měl podchycovat pouze tu frakci organické síry, která může být snadno převedena na sírany. Analytická koncovka stanovení síry spektrofotometricky ICP (s indukčním vázaným plazmatem) stanovuje celkový obsah síry (anorganické i organické) ve výluhu. Jde potom jen o to, aby extrakčním činidlem půdního testu byla z půdy uvolněna pouze ta část organické síry, která se může podílet na výživě rostlin (Matula, 2007).

Export síry u odrůd typu „00“ je o 50 % nižší než u odrůd typu „0“. Přitom potřeba síry je u obou typů odrůd přibližně stejná. Odrůdy typu „00“ totiž část vytvořených sirných organických sloučenin ukládají v chlopních šesulí. Vzhledem k tomu předplodinová hodnota odrůd typu „00“ je vyšší než u odrůd typu „0“ které ukládají více síry do semen (Fábry, 1992).

Průměrné údaje o množství odčerpaných živin jsou málo významné, protože často uvádějí luxusní konzum živiny. Zajímavější jsou proto údaje o minimálních hodnotách odčerpaných živin, které vystačí k produkci maximálního výnosu (tabulka 3).

Tabulka 3.:Potřeba živin a minimální množství odčerpaných živin v kilogramech při produkci 1 tuny semene řepky olejky (Fábry, 1992)

	Potřeba živiny v kg	Minimální množství odčerpané živiny v kg	
		Ve slámě	V semeni
S - „0“ odrůda	22,0	10,5	9,0
S - „00“ odrůda	22,0	15,2	4,4

Odběr síry porosty řepky od počátku vegetace do období zimního klidu je malý, pohybuje se u dobrých porostů maximálně v rozmezí 10 – 15 kg S/ha (Matula, 2007). To potvrzuje i Schnug (1997 in Pedersen et al., 1998), který dodává, že i přes to, že řepka olejka má již na podzim zvýšený požadavek na dodávku síry, neprojeví se v pokusech významné rozdíly ve výnosech (k pokusům bylo aplikováno 20 kg S/ha a následně 20 – 40 kg S/ha na jaře a 60 kg S/ha aplikované pouze na jaře). V průběhu zimního klidu je období stagnace odběru síry, případně jejího poklesu v závislosti na průběhu zimy, tj. stupni poškození rostlin – odumření listů růžice. Maximální odběry síry až přes 110 kg S/ha byly zaznamenány na úrodných půdách hnědozemního typu na hlubokých spraších, které se vyznačují tzv. síranovou tvrdostí spodní vody. Vysoké odběry síry byly zaznamenány také v sušších ročních období, kdy intenzivní transpirace vody porosty zesiluje vztlínání vod bohatých na sírany ze spodních vrstev profilu půdy (Matula, 2007).

### 3.6. Výživa a hnojení řepky ozimé sírou

Největší nároky na výživu sírou má řepka v prvních měsících intenzivního jarního růstu. V této krátké době potřebuje přijmout 30-40 kg S/ha. Z hlediska výživy řepky má největší význam anorganická síra, tj. sírany, které jsou hlavní příjmovou formou.

Doplňování síranů z půdy mineralizací organické hmoty na jaře je prakticky bezvýznamné. Navíc aplikace dusíkatých hnojiv ještě snižuje možnost mobilizace půdní síry. Ve značném počtu výskytu dokonce zesilovala imobilizaci síranů. Tato zjištění podporují opodstatněnost současné aplikace síry s dusíkem, nehledě na to, že metabolizace dusíku a síry je v rostlině těsně propojena (Vašák, 2000). Rovněž Pulkrábek (2003) uvádí, že v případě

nedostatku se síra aplikuje na jaře společně s dusíkem, nejlépe použitím kombinovaných N – S hnojiv (např. Síran amonný, Hydrosulfan).

Časně jarní období před a v počátcích obnovy intenzivního růstu porostu je dobou aktuální potřeby racionálního hnojení sírou. Později, asi v druhé polovině dubna (v závislosti na ročníku – průběhu srážek), dochází ke změně směru pohybu vody v profilu půdy pozemku. Vzlínající voda má běžně vyšší obsah síranů než voda srážková. Možnosti výživy sírou na stanovišti se tím zlepšují. Dostupnost síry, její přísun do rhizosféry se s postupem času zlepšuje, mimo vyložené deficitních stanovišť. Kořeny je síra převážně přijímána ve formě aniontu  $\text{SO}_4^{2-}$ , a to aktivním způsobem. Příjem síry je minimálně ovlivňován dalšími živinami. Naopak po aplikaci síranů do půdy (v síranu amonném a vápenatém) byla zjištěna významná deprese obsahu fosforu v nadzemní hmotě rostliny (Matula, 2007).

Od fáze 8. listu vytváří řepka květní poupata a pak již nesmí trpět nedostatkem živin (N, P, S). V růstových fázích během zimy využívají rostliny živiny uložené v kořenovém krčku. Aplikace síranu amonného v dávce 40 kg N/ha ve fázi 8. listu navýšila výnos řepky významněji než varianta s dávkou 80 – 160 kg N/ha aplikovaného na jaře. Pokud se hnojilo již ve fázi 4. listu, vytvořila řepka příliš listové hmoty a výnos oproti hnojení koncem října ve fázi 8. listu výrazně poklesl (Štěpánek, 2009).

Při časném jarním hnojení během února až začátkem března používáme většinou hnojiva s amoniakální a amidickou formou dusíku, a to zejména na lehčích promyvných půdách ve vlhčích oblastech, kde při použití hnojiv s nitrátovou formou dusíku může docházet k následnému vyplavení nitrátů. Na těchto půdách dělíme celkovou dávku dusíku do 3 dílčích dávek, přitom pro první nebo druhou dávku vybíráme většinou hnojiva s obsahem síry (např. 1. dávka 60 kg N v DASA, LAD, močovina + 60 – 80 kg N v LAD, UREA<sup>stabil</sup>, DAM + 30 – 40 kg N v DAM, LAD). Na středních až těžších nepromyvných půdách v oblastech s pozdějšími přísušky aplikujeme dusík ve 2 – 3 dávkách (např. 60 – 80 kg N/ha v LAD, DASA, močovina + 80 – 100 kg N v LAD UREA<sup>stabil</sup> nebo ve 2 dávkách DAM) (Růžek a kol., 2009).

Pokud nehrozí mrazivé noci jsou ideální kapalná hnojiva, především DAM 390 nebo lépe SAM s obsahem síry. Pro řepku jsou zvláště při suchém jaru výhodou. Hnojivo se ale nesmí ředit, aplikovat na mokré rostliny, nebo pokud hrozí silné ranní mrazy či mrzne celý den. Ve všech těchto případech hnojivo „pálí“, ale nekrózy na listech obvykle rychle odrostou. Předností kapalných hnojiv je také to, že se velmi hodí jako nosič insekticidů (Bečka a Vašák, 2009).



Předseťová aplikace síry v rozpustných formách hnojiv (síran amonný, kieserit, ...) a rovněž animálních hnojiv na stanovištích s nedostatkem síry, nemůže plně zajistit řádnou výživu porostů řepky sírou po zimě, tj. v jarním kritickém období zvýšených nároků na výživu. Důvodem je možnost značné biologické imobilizace, zabudování  $\text{SO}_4^{2-}$  do organické půdní hmoty. I když tato síra není z půdy ztracena, je však bezvýznamná pro aktuální výživu porostu řepky sírou. Zásobní hnojení půdy sírou v předseťové (podzimní) době je možno zajistit pouze anorganickou sírou s nízkou rozpustností, tj. ve formě síranu vápenatého – sádry (Matula, 2007).

### **3.7. Zdroje síry pro rostliny**

Hlavním zdrojem organické síry jsou v podstatě kořeny rostlin a posklizňové zbytky a také statková hnojiva. Také minerální hnojiva mohou dodávat významné množství síry do půdy. Jsou to především některá draselná hnojiva a síran amonný. V koloběhu síry hrají významnou roli i sloučeniny, které se dostávají do půdy z ovzduší ve formě oxidu siřičitého. Zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je průmyslová činnost, doprava a s nimi spojená spotřeba fosilních paliv a v některých oblastech i sopečná činnost, případně srážky poblíže moří (Vaněk, 2007). Podle Fábryho (1992) jsou dalšími zdroji síry dešťové srážky, mineralizace organické podstaty půdy, vzlínavost podzemních vod a přímá absorpce  $\text{SO}_2$ . Dalším zdrojem síry jsou organická hnojiva jako síran amonný, síran draselný, superfosfát, kieserit a jiné.

### **3.8. Vliv hnojení řepky sírou na ostatní rostliny**

Aplikace síry k řepce má velice pozitivní vliv také na ostatní pěstované plodiny. Například u následně pěstované potravinářské pšenice zvýšený obsah síry velice pozitivně ovlivňoval pekařskou kvalitu, kdy se dle dávky síry zvýšil objem pečiva až o 40% (Pedersen et al., 1998).

I na stanovištích s nedostatkem síry hnojených sírou je v porostech před sklizní více jak 40 kg S/ha. Transport síry výnosem semene z půdy pozemku se pohybuje maximálně v rozmezí 10 – 12 kg S/ha. To znamená, že i na deficitním stanovišti, při řádném hnojení sírou je prostřednictvím posklizňových zbytků navrácen dostatek síry do půdy k zajištění bezproblémové výživy sírou následných, méně náročných plodin. Tedy zajištění řádné výživy

sírou ozimé řepky je základem bezproblémové výživy sírou následných plodin na pozemku (Matula, 2007).

### 3.9. Hnojení minerálními hnojivy

Pro hnojení sírou lze využít celou řadu průmyslových hnojiv. Přehled základních zástupců těchto hnojiv je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5: Základní hnojiva obsahující síru (Zelený, 1996)

Hnojivo	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	S (%)	Ostatní živiny (%)
Síran amonný	21	0	0	24	
Superfosfát	0	16 - 18	0	11 - 12	
Síran draselný	0	0	50	18	
Sádra (síran vápenatý)	0	0	0	15 - 18	
Síran manganatý	0	0	0	14	24 (Mn)
Síran hořečnatý	0	0	0	13	10(Mg)
Kieserit (gran.)	0	0	0	22	16 (Mg)
Kamex	0	0	40	4	4 (Mg)
Kainit	0	0	12 – 14	5 – 6	4 (Mg)
Hořká sůl	0	0	0	16	9 (Mg)
Elementární síra	0	0	0	80 - 90	

### Listová hnojiva

#### Vlastnosti listových hnojiv

Mezi jejich hlavní výhody patří:

- mísitelnost s většinou používaných látek na ochranu rostlin.
- rychlá využitelnost jednotlivých živin díky přímému přenosu přes list.
- Aplikovatelnost v podzimním i jarním období vegetace – možnost využití v době, kdy je příjem živin přes kořeny z jakýchkoliv důvodů omezen (Škeřík, 2009).
- možnost použití při nedostatečném provzdušnění půdy, kdy je omezená mikrobiální činnost v půdě a nedochází k plynulému uvolňování živin z půdní zásoby

- pozitivní ovlivnění kořenové aktivity rostlin
- lepší využití jak dusíku ze základního hnojení, tak i ostatních živin
- posílení protistresové aktivity rostlin
- přímé působení na rozhodující biochemické procesy v rostlinách
- při nepříznivých hodnotách půdní reakce
- zlepšení kondičního stavu porostu a z toho vyplývající zlepšení zdravotního stavu – preventivní účinky proti chorobám a škůdcům
- ekonomická návratnost využití (Černý, 2009)

K možným nevýhodám listových hnojiv patří:

- závislost účinku na mnoha podmínkách (vlastnosti hnojiva, stav rostliny, vnější podmínky aplikace)
- možnost dodání pouze malého množství živin
- relativně vysoká cena u některých hnojiv a jejich kombinací až několika set někdy až několika tisíc korun na ha. Dodání živin v pevných hnojivech je většinou podstatně levnější.
- Poměrně široká nabídka, která mnohdy zemědělcům ztěžuje orientaci. Nelze se totiž orientovat pouze podle ceny za obsah určitého prvku, ale musí se přihlížet i k dalším vlastnostem hnojiva.
- Možná toxicita některých „kombinací“. Kombinace více účinných látek (insekticid + listové hnojivo + stimulant + smáčedlo + regulátor), které se v praxi v minulosti objevovaly, v žádném případě nedoporučujeme. Tyto kombinace často působí toxicky nejen na včely, ale i na samotné rostliny řepky (Škeřík, 2009).

## Hnojiva dusíkatá s obsahem síry

### **DASA**

Hnojivo obsahující 26% N a 13% síry, vhodné k základnímu hnojení i přihnojování většiny plodin. Vzhledem k vysokému obsahu síry je vhodné pro plodiny s vyššími nároky na tuto živinu, tedy řepku, slunečnici, hořčici, brukvovité zeleniny, cibuloviny a bobovité rostliny (Vaněk, 2007).

## **Lovofert, LAS 24 + 6S**

Jedná se o dusíkaté hnojivo s obsahem 24 % dusíku a 6 % síry. Tvoří jej směs dusičnanu amonného se síranem vápenatým ve formě bělavých až světle hnědých granulí o velikosti 2 až 5 mm. Kombinace dvou forem dusíku umožňuje používání hnojiva jak k hnojení před setímnebo výsadbou, tak i v době vegetace rostlin. Hnojivo je vhodné ke všem plodinám a do všech půd. Vzhledem k 6 % je použitelné zejména ke hnojení potravinářské pšenice, řepky, brambor, cukrovky, jetelovin a brukvovité zeleniny (anonym, 2007).

## **Síran amonný**

Dusík obsažen ve čpavkové formě. Nejčastěji je ve formě bílých až naředlých krystalků. Síran amonný se v půdě poměrně rychle rozpouští v půdní vodě. Značná část  $\text{NH}_4^+$  iontů přechází do sorpčního komplexu výměnou za jiné kationty. Snižuje se tím jeho pohyblivost a tím možnost vyplavení v humidnějších podmínkách. V půdě podléhá nitrifikaci (přeměna  $\text{NH}_4^+$  na  $\text{NO}_3^-$ ), následkem čehož v půdě vzniká kyselina dusičná. Rychlost nitrifikace je však po hnojení síranem amonným oproti ostatním hnojivům mnohem pomalejší, takže je velmi vhodným hnojivem k základnímu hnojení i na podzim. V teplých a suchých podmínkách dochází u síranu amonného aplikovaného na povrch půdy bez zapravení nebo rozpuštění srážkami ke ztrátám dusíku vytěkáním (čpavku) do ovzduší. S ohledem na vysoký obsah síry je síran amonný vhodným hnojivem zejména ke chmelu, cibuli, řepce (Pulkrábek, Švachula 1995). Předností hnojiva je, že současně s hnojením dusíkem se hnojí sírou – živinou, která je nezbytná k efektivnímu využívání dusíku v metabolismu plodiny. Zlepšuje i dostupnost většiny stopových prvků pro rostliny (mimo molybden) (Matula, 2007).

## **Hnojiva draselná s obsahem síry**

### **Síran draselný**

Vysoce kvalitní draselné hnojivo v krystalické nebo granulované formě. Obsahuje cca 42 % draslíku (tj. 50 %  $\text{K}_2\text{O}$ ) a 17-18 % síry (S). Nejvhodnější doba aplikace je při předstřové nebo předsadbové přípravě půdy. Lze jej aplikovat na všech půdách (Pulkrábek, Švachula 1995). Protože má vysoký obsah síry, hodí se pro rostliny s vysokou potřebou tohoto prvku, jako je řepka, ředkev, kapusty, pór (Richter a Hlušek, 1996).

### **Magnesia-kainit**

Jedná se o granulované draselno-hořečnaté hnojivo. Hnojivo je směs síranu hořečnatého, chloridu draselného a sodného, síranu vápenatého. Obsahuje min. 7,5 % draslíku, 2,5 % hořčíku, 8 – 10 % síry, 15 % sodíku a 29 % chlóru. Kainit je představitelem chloridového typu draselných hnojiv. Nedoporučuje se proto aplikovat k plodinám citlivým na chlór (Pulkrábek, Švachula 1995). Doporučuje se na půdy s nízkou zásobou hořčíku. Hnojivo je třeba aplikovat delší dobu před setím (Richter, Hlušek 1996).

### **Patentkali**

Směs síranu draselného a práškovitého oxidu hořečnatého. Obsahuje min. 23,5 % draslíku, 6 % hořčíku, 18 % síry a max. 3 % chlóru (Pulkrábek a Švachula, 1995).

## Hnojiva fosforečná s obsahem síry

### **Superfosfát jednoduchý**

Superfosfáty byly prvními průmyslově vyráběnými hnojivy vůbec. Do konce 60. let zaujímaly dominantní postavení v sortimentu fosforečných hnojiv na světě. Jednoduchý superfosfát obsahuje P ve vodorozpustné formě  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Vyrábí se rozkladem mletých fosfátů kyselinou sírovou, proto hotový výrobek obsahuje zbytek volné kyseliny sírové a kyseliny fosforečné. Podle struktury vyrobeného hnojiva rozlišujeme superfosfát práškový a granulovaný. Charakteristickým znakem je typicky nakyslý zápach. Obsahuje 7,5 – 8,5 % fosforu, 20 % vápníku a 10 % síry. Jedná se o hnojivo s vysokým obsahem balastní sádry (Pulkrábek a Švachula, 1995).

## Hnojiva hořečnatá s obsahem síry

### **Kieserit**

Dodává se v krystalické nebo granulované formě. Obsahuje cca 15 % hořčíku (tj. 25 % MgO), 21 % síry (S) a max. 3% chlóru (Cl). Jedná se v podstatě o síran hořečnatý s příměsí chloridu draselného (Pulkrábek, Švachula 1995).

## Ostatní hnojiva s obsahem síry

### **SULFIKA S50**

Kapalně suspenzní listové hnojivo s vysokým obsahem síry a vedlejším fungicidním účinkem. Hnojivo lze aplikovat v každé vývojové fázi na všechny druhy pěstovaných

jednoletých a víceletých plodin pro odstranění latentního i zjevného nedostatku síry. Nejlépe se osvědčuje použití v rané vývojové fázi a v období největšího růstu, kdy se dobře využije fungicidní efekt hnojiva.

SULFIKA® S50 se doporučuje k použití pro ozimou řepku a ostatní olejniny, ozimou pšenice a ostatní obiloviny vyjma sladovnického ječmene, brambory, cukrovku, hrách a ostatní luskoviny, mák, zeleninu, révu vinnou, ovocné stromy. **Dávkování:** 4 kg / ha, koncentrace postřiku max. 2%. Doporučená dávka k patě 5 - 10 kg / ha. U víceletých rostlin se doporučuje aplikaci po 14 - 21 dnech opakovat. Hnojivo je možné aplikovat s kapalnými dusíkatými hnojivy (DAM 390, roztok močoviny). Nedoporučuje se míchat s hnojivy obsahujícími hořčík a vápník ([www.agrofert.cz](http://www.agrofert.cz)).

### **Sádra**

(18 % S), předností je nízká rozpustnost, která minimalizuje možnost ztrát vyplavením síranů v období promyvného režimu půdy. Sádra je rovněž součástí jednoduchých superfosfátů (kolem 8 % S) (Vašák, 2000). Je to hnojivo fyziologicky kyselé a slouží jako meliorační prostředek pro zúrodnování zasolených půd. K odstranění půdní kyselosti ji využívat nelze, protože po její aplikaci do kyselé půdy vzniká kyselina sírová, která ji naopak více prohlubuje (Richter a Hlušek, 1996).

### **Campofort Fortesim Beta**

Campofort Fortesim Beta je vhodný pro první jarní ošetření řepky. Obsahuje základní živiny (N, Mg, S), fyziologicky účinné látky a bór. Hnojivo je charakteristické výrazným biostimulačním a protistresovým účinkem (Černý, 2009).

### **Eurofertil Plus NPS 49**

Specifické granulované hnojivo určené pro potřeby intenzivního pěstování řepky ozimé obsahuje 3 % N, 22% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 24% SO<sub>3</sub>, 0,15% B a vápník, na který se často zapomíná a je jak pro půdu, tak pro rostliny nenahraditelným prvkem. Je součástí hnojiva v množství 29 % CaO (Kolenčík, 2009).

### 3.10. Organická hnojiva

Tabulka 6.: Obsah síry v nejdůležitějších organických hnojivech (Zelený, 1996)

Hnojivo	Sušina (%)	Obsah S (% v sušině)
Hněj dobytčí	25	0,3
Hněj drůbeží	60	0,5
Kejda dobytčí	5 – 12	0,6
Kejda prasečí	5 – 10	0,6

V tabulce 7 je uvedeno využití S z kejdy prasat, výpočet je založen na předpokladu, že aplikovaná síra bude mineralizována, díky tomu bude moci poskytnout efekt hnojení i v nadcházejících letech a dále je počítáno s předpokladem, že 50% z aplikované síry bude využito rostlinami.

Tabulka 7.: využití S z kejdy prasat (Pedersen et al., 1998)

	Prasata	Skot
Množství aplikované kejdy (t/ha)	30	50
Celkový obsah S (kg/t)	0,4	0,4
Celkové množství aplikované S (kg/ha)	12	20
Ztráty H <sub>2</sub> S (kg/ha)	2	4
Efekt hnojení v prvním roce (kg/ha)	1	2
Efekt v nadcházejících letech (kg/ha)	4	6
Čistý efekt (kg/ha)	5	8

Tabulka 8.: obsahu různých S frakcí u kejdy prasat

	Prasnice	Výkrm	Kombinace prasnice a výkrmu
Sušina (%)	3,34	5,44	4,01
Celkem S (kg/t)	0,27	0,43	0,35
Sírany (kg/t)	0,04	0,06	0,07
Sulfidy (kg/t)	0,08	0,11	0,07

## 4. Metodika

Maloparcelkový přesný polní pokus s ozimou řepkou byl založen roku 2008 na stanovištích Humpolec, Hněvčeves a Uhříněves. Půdně klimatické charakteristiky těchto stanovišť jsou uvedeny v tabulce 9. a základní agrochemické charakteristiky v tabulce 10. Obsahy živin v tabulce 10. byly stanoveny v extraktu Mehlich 3.

Tabulka 9. Půdně klimatická charakteristika pokusných míst

Stanoviště (zkratka okresu)	nadmoř. výška (m)	průměrné roční		půdní typ	půdní druh
		srážky (mm)	teplota (°C)		
Hněvčeves (HK)	265	573	8,2	HM	jh
Humpolec (PE)	525	665	7,0	KM	ph
Uhříněves (Praha)	295	575	8,3	HM	jh

Tabulka 10. Agrochemická charakteristika pokusných míst

Stanoviště	P	Ca	Mg	K	pH
	mg/kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01M CaCl <sub>2</sub>
Hněvčeves	81	2970	105	143	5,9
Humpolec	97	1343	102	156	5,1
Uhříněves	137	2793	133	153	6,6

Hlavním cílem pokusu bylo testování vlivu stupňovaného hnojení sírou v hnojivu Lovofert (24% N, 6% S ve formě CaSO<sub>4</sub>). Schéma pokusů je uvedeno v tabulce 11. Jednotlivé varianty byly založeny vždy ve čtyřech opakováních. První dávka hnojiv byla aplikována vždy na jaře (fáze regeneračního hnojení). Druhá dávka následovala ve fázi BBCH 30-32.

Tabulka 11. Schéma hnojení řepky ozimé

Varianta	rozdělení dávek síry	Lovofert		množství N z LAV (kg N.ha <sup>-1</sup> )	rozdělení dávek N kg N.ha <sup>-1</sup>		celkem kg N.ha <sup>-1</sup>
		kg S.ha <sup>-1</sup>	kg N.ha <sup>-1</sup>		1.	2.	
1	0 +0	0	0	200	100	100	200
2	12,5 +0	12,5	50	150	100	100	200
3	25 +0	25	100	100	100	100	200
4	25 +25	50	200	0	100	100	200



V průběhu pokusů byly pravidelně prováděny odběry rostlinného a půdního materiálu. Půdní i rostlinné vzorky byly odebírány v termínu dosažení růstových fází uvedených v tabulce 12. Listy byly odebírány vždy nejmladší, nejméně z 80 % vyvinuté.

Tabulka 12. Schéma odběrů rostlinného materiálu a půdy

<b>fáze</b>	<b>odebrané části rostliny</b>	<b>hloubky odběru půdy v cm</b>
vstupní odběry	nadzemní hmota	0-30, 30-60
BBCH 18-20	30 listů (cca 5 g sušiny)	0-30
BBCH 30-32	30 listů (cca 5 g sušiny)	0-30
BBCH 50-52	30 listů (cca 5 g sušiny)	0-30
po sklizni	sláma, semeno	0-30

Odebrané půdní vzorky byly zhomogenizovány a následně analyzovány vodným výluhem (1:10) na obsah minerální síry. U rostlinných vzorků byl po usušení proveden mikrovlnný rozklad. Získané výluhy byly vždy měřeny na ICP OES. Pro statistické vyhodnocení výsledků byly použity programy SAS (1998) a Excel (2003).

## 5. Výsledky a diskuse

### 5.1. Obsah mobilní síry v půdě

Vstupní odběry ornice (0-30 cm) a podorničí (30-60 cm) byly provedeny před regeneračním hnojením ozimé řepky (Tabulka 13.). Na všech stanovištích byly naměřeny vyšší obsahy mobilní síry vždy v podorniční vrstvě. Nejvyšší obsahy S v podorničí byly přitom stanoveny v lokalitě Hněvčeves, kde průměrná hodnota činila 14,1 mg S.kg<sup>-1</sup>. Na stanovišti Uhříněves bylo v podorničí naměřeno v průměru 10,0 mg S.kg<sup>-1</sup> a na stanovišti Humpolec 7,5 mg S.kg<sup>-1</sup>.

Tabulka 13. Obsah síry (mg S.kg<sup>-1</sup>) ze vstupních odběrů před hnojením ozimé řepky

varianta	Humpolec 27.3.2009		Hněvčeves 25.3.2009		Uhříněves 13.3.2009	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
A	7,6	10,0	8,6	13,3	3,4	7,5
B	6,2	8,2	8,1	14,4	6,8	7,3
C	3,9	5,7	5,7	13,9	8,8	15,1
D	4,0	6,2	10,3	14,8	8,2	10,1

V ornici se obsahy síry na stanovišti Hněvčeves pohybovaly okolo 8,2 mg S.kg<sup>-1</sup>, na stanovišti Humpolec okolo 5,4 mg S.kg<sup>-1</sup> a na stanovišti Uhříněves okolo 6,8 mg S.kg<sup>-1</sup>. Mezi jednotlivými bloky se nevyskytly statisticky průkazné rozdíly, a proto bylo možné pozemky považovat za homogenní a vhodné pro založení pokusu.

V tabulce 14. jsou znázorněny průměrné obsahy mobilní síry v ornici ze čtyř opakování jednotlivých variant v různých vegetačních fázích ozimé řepky na stanovištích Humpolec, Hněvčeves a Uhříněves.

Na stanovišti **Humpolec** se ve většině případů nepodařilo potvrdit statisticky průkazné rozdíly mezi variantami. Jsou však patrné trendy změn po aplikaci hnojiv obsahujících síru.

Po první dávce hnojiv byly stanoveny podobné obsahy mobilní síry na všech sledovaných variantách. Hodnoty se zde pohybovaly okolo 4 mg S.kg<sup>-1</sup> při dosažení fáze BBCH 18-20.

Vzestupný trend byl zaznamenán až v odběrech při dosažení BBCH 30-32, kde bylo na nehnojené variantě (A) zaznamenáno 6,6 mg S.kg<sup>-1</sup> a na variantě hnojené 12,5 kg S.ha<sup>-1</sup> bylo stanoveno 6,9 mg S.kg<sup>-1</sup>. Průkazně vyšší obsahy byly zjištěny na variantách C a D,

hnojených toho času shodně 25 kg S.ha<sup>-1</sup>. Zde bylo naměřeno 8,1 mg S.kg<sup>-1</sup> (C), respektive 8,6 mg S.kg<sup>-1</sup> (D). Ve fázi BBCH 50-52 a po sklizni došlo k vyrovnání obsahů mobilní síry na variantách A, B a C. Vyšší obsah byl stanoven pouze u varianty D, kde již bylo dodáno 50 kg S.ha<sup>-1</sup>. Zde naměřená hodnota ve fázi BBCH 50-52 činila 9,1 mg S.kg<sup>-1</sup> a po sklizni 12,2 mg S.kg<sup>-1</sup>.

Tabulka 14. Průměrné obsahy síry v ornici na stanovištích Humpolec, Hněvčeves a Uhříněves

Vegetač. fáze	var.	Humpolec		Hněvčeves		Uhříněves	
		mg S.kg <sup>-1</sup>	s.o.*	mg S.kg <sup>-1</sup>	s.o.	mg S.kg <sup>-1</sup>	s.o.
BBCH 18-20	A	3,2	0,9	4,6	1,1	2,5	1,3
	B	4,6	2,1	11,8	4,0	4,8	3,3
	C	5,2	2,9	10,1	5,2	4,6	2,7
	D	3,7	0,5	16,6	3,1	7,5	3,4
BBCH 30-32	A	6,6	2,4	2,3	0,4	2,6	0,3
	B	6,9	0,9	13,9	7,7	5,6	3,9
	C	8,1	3,7	29,0	5,5	7,5	6,6
	D	8,6	2,7	19,8	5,2	5,5	1,4
BBCH 50-52	A	3,2	0,6	3,8	0,2	5,6	0,9
	B	3,9	0,9	4,0	0,5	14,8	7,6
	C	3,8	0,3	9,2	5,8	11,3	7,3
	D	9,1	6,1	16,7	12,9	25,5	12,1
po sklizni	A	6,7	1,4	16,4	3,0	14,7	6,8
	B	7,9	3,1	16,6	3,3	19,2	3,3
	C	8,9	0,7	19,7	2,7	16,1	2,2
	D	12,2	2,9	19,6	4,9	19,3	2,3

\*s.o. – směrodatná odchylka

Podobného trendu bylo dosaženo i na stanovišti **Hněvčeves**. Zde se rozdíly v obsazích mobilní síry v ornici projeví již ve fázi BBCH 18-20. U nehnojené varianty A zde bylo dosaženo pouze 4,6 mg S.kg<sup>-1</sup>, zatímco u variant B, C a D činily hodnoty 11,8; 10,1 a 16,1 mg S.kg<sup>-1</sup>.

U variant B, C a D došlo ve fázi BBCH 30-32 opět k nárůstu obsahu mobilní síry v ornici. U varianty A byl naopak zaznamenán pokles. Po dodání druhé dávky hnojiv byl zaznamenán klesající trend v obsahu mobilní síry ve fázi BBCH 50-52. Zde bylo u varianty A naměřeno 3,8 mg S.kg<sup>-1</sup>, u varianty B 4,0 mg S.kg<sup>-1</sup>, u varianty C 9,2 mg S.kg<sup>-1</sup> a u varianty

D 16,7 mg S.kg<sup>-1</sup>. Rozdíly mezi variantami A a B a variantami C a D však nebyly statisticky průkazné.

Po sklizni došlo ke zvýšení a vyrovnání obsahů mobilní síry v ornici. Průměrné hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 16,4 do 19,6 mg S.kg<sup>-1</sup>.

Na stanovišti **Uhříněves** došlo ke zvýšení obsahu mobilní síry v půdě již po aplikaci 1. dávky hnojiv. Ve vegetační fázi BBCH 18-20 činil obsah u varianty A 2,5 mg S.kg<sup>-1</sup>, u varianty B 4,8 mg S.kg<sup>-1</sup> a u variant C a D shodně hnojených 25 kg S. ha<sup>-1</sup> činily obsahy mobilní síry v ornici 4,6, respektive 7,5 mg S.kg<sup>-1</sup>.

Podobný trend bylo možné sledovat i u půd odebraných během vegetační fáze BBCH 30-32. Na sírou nehnojené variantě A zde bylo dosaženo 2,6 mg S.kg<sup>-1</sup>, varianty B a D činily téměř shodně 5,6; respektive 5,5 mg S.kg<sup>-1</sup> a na variantě C bylo naměřeno 7,5 mg S.kg<sup>-1</sup>.

Ke zvýšení obsahu mobilní síry v půdě došlo ve vegetační fázi BBCH 50-52, kde se průměrné obsahy mobilní síry na kontrolní variantě pohybovaly okolo hodnoty 5,6 mg S.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána u varianty D, kde obsah mobilní síry činil 25,5 mg S.kg<sup>-1</sup>. Vzhledem k vysokým směrodatným odchylkám však nelze potvrdit statisticky průkazné rozdíly mezi variantami B, C a D.

Po sklizni došlo opět k vyrovnání obsahů mobilní síry na jednotlivých variantách. Nejnižší obsah síry (14,7 mg S.kg<sup>-1</sup>) byl stále na kontrolní variantě. Na variantách B a D se obsah S pohyboval okolo hodnoty 19 mg S.kg<sup>-1</sup> a u varianty C bylo naměřeno v průměru 16,1 mg S.kg<sup>-1</sup>.

## 5.2. Obsah síry v rostlinách

Odběry rostlinných vzorků byly prováděny souběžně s půdními. Po vstupních odběrech byl rostlinný materiál odebírán ve vegetačních fázích BBCH 18-20, BBCH 30-32 a BBCH 50-52. Vstupní odběry listů byly provedeny u ozimé řepky pouze na počátku jarní regenerace před aplikací hnojiv (tabulka 15.). Hodnoty se u všech stanovišť pohybovaly okolo 0,20 %. Nejvyšší průměrné obsahy byly stanoveny na stanovišti Humpolec a nejnižší naopak na stanovišti Hněvčeves. Mezi jednotlivými variantami se nevyskytovaly statisticky průkazné rozdíly.

Tabulka 15. Procento síry v nadzemní hmotě rostlin řepky ozimé – vstupní odběry

<b>Varianta</b>	<b>Hněvčeves</b>	<b>Humpolec</b>	<b>Uhříněves</b>
<b>A</b>	0,16	0,26	0,20
<b>B</b>	0,18	0,25	0,21
<b>C</b>	0,20	0,23	0,20
<b>D</b>	0,19	0,26	0,19

Výsledky ze zvolených vegetačních fází ozimé řepky po aplikaci hnojiv jsou uvedeny v tabulkách 16., 17. a 18. Bylo odebráno 30 mladých listů (nejméně z 80% vyvinutých). Každá varianta byla provedena ve čtyřech opakováních. Vzhledem k tomu, že získaná data nesplňovala normalitu rozdělení, byly použity jen popisné statistické charakteristiky.

Na stanovištích Hněvčeves a Uhříněves nebyl ve fázi BBCH 18-20 potvrzen vzestupný trend procentického obsahu S vzhledem ke stoupající dávce síry v hnojivech. Pouze na stanovišti Humpolec se u listů vyskytlo zvýšení procentického obsahu síry u variant C a D, hnojených shodně 25 kg S.ha<sup>-1</sup> ve formě CaSO<sub>4</sub>. Obsah Síry v listech se přitom výrazně vzájemně nelišil.

Tabulka 16. Obsah síry (%) listech ozimé řepky v různých vegetačních fázích

<b>Stanoviště</b>	<b>var.</b>	<b>BBCH 18-20</b>		<b>BBCH 30-32</b>		<b>BBCH 50-52</b>	
		<b>průměr</b>	<b>s. o.</b>	<b>průměr</b>	<b>s. o.</b>	<b>průměr</b>	<b>s. o.</b>
<b>Hněvčeves</b>	<b>A</b>	<b>0,23</b>	0,04	<b>0,47</b>	0,01	<b>0,27</b>	0,04
	<b>B</b>	<b>0,25</b>	0,08	<b>0,44</b>	0,01	<b>0,28</b>	0,03
	<b>C</b>	<b>0,24</b>	0,06	<b>0,42</b>	0,02	<b>0,31</b>	0,05
	<b>D</b>	<b>0,24</b>	0,04	<b>0,39</b>	0,06	<b>0,33</b>	0,01
<b>Humpolec</b>	<b>A</b>	<b>0,28</b>	0,02	<b>0,27</b>	0,06	<b>0,25</b>	0,04
	<b>B</b>	<b>0,27</b>	0,04	<b>0,28</b>	0,05	<b>0,27</b>	0,03
	<b>C</b>	<b>0,32</b>	0,04	<b>0,31</b>	0,04	<b>0,30</b>	0,02
	<b>D</b>	<b>0,35</b>	0,05	<b>0,30</b>	0,04	<b>0,34</b>	0,04
<b>Uhříněves</b>	<b>A</b>	<b>0,33</b>	0,10	<b>0,21</b>	0,02	<b>0,25</b>	0,06
	<b>B</b>	<b>0,36</b>	0,10	<b>0,23</b>	0,02	<b>0,26</b>	0,06
	<b>C</b>	<b>0,29</b>	0,08	<b>0,24</b>	0,03	<b>0,27</b>	0,12
	<b>D</b>	<b>0,33</b>	0,08	<b>0,25</b>	0,03	<b>0,28</b>	0,10

Ve fázi BBCH 30-32 se vzestupný trend obsahu síry v listech projevil opět pouze u stanoviště Humpolec. Podobný trend lze pozorovat i u listů ze stanoviště Uhříněves. Zde však získané rozdíly nepřesahovaly 0,02 % S. Na všech stanovištích byl v uvedené fázi naměřen vyšší obsah síry v listech. Nejvyšší rozdíly se vyskytly na stanovišti Hněvčeves, kde byly obsahy síry v listech v průměru o 0,20 % S vyšší. U ostatních stanovišť rozdíly nepřesahovaly setiny procent.

V odběrech ve vegetační fázi BBCH 50-52 byl na všech stanovištích naměřen vzestupný trend u obsahu síry v mladých listech. Nejvýraznější vzestup byl zaznamenán na stanovištích Hněvčeves a Humpolec, kde rozdíl mezi variantou A a D činil 0,06 %S, resp. 0,09 %S.

### 5.3. Výnosy ozimé řepky

V tabulce 19. jsou uvedeny výnosy semene řepky na stanovištích Hněvčeves, Humpolec a Uhříněves. V průměru nejnižší hodnoty byly zaznamenány u variant nehnojených sírou, kde průměr činil 3,74 t.ha<sup>-1</sup>. Vyšší výnosy vykazovaly všechny varianty hnojené sírou. U varianty B hnojené 12,5 kg S.ha<sup>-1</sup> a u varianty C hnojené 25 kg S.ha<sup>-1</sup> bylo zjištěno shodně v průměru 3,84 t.ha<sup>-1</sup> semene. Nejvyššího průměrného výnosu dosahovala vždy varianta D hnojená 50 kg.ha<sup>-1</sup> síry. Zde hodnota činila 4,14 t.ha<sup>-1</sup>.

Mezi jednotlivými variantami hnojení se zpravidla nevyskytovaly statisticky průkazné rozdíly.

Tabulka 19. Výnos řepky ozimé při 12% vlhkosti

	<b>Hněvčeves</b>	<b>Humpolec</b>	<b>Uhříněves</b>
<b>Var.</b>	<b>(t.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>(t.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>(t.ha<sup>-1</sup>)</b>
A	3,93 (±0,04)	3,13 (±0,04)	4,17 (±0,08)
B	4,21 (±0,05)	3,15 (±0,05)	4,18 (±0,02)
C	4,03 (±0,06)	3,27 (±0,06)	4,23 (±0,05)
D	4,33 (±0,08)	3,21 (±0,08)	4,87 (±0,06)

Tyto rozdíly byly vypočteny pouze mezi variantami A a D u stanovišť Hněvčeves a Uhříněves. Ze zjištěných trendů lze však usuzovat, že dodání síry ve formě síranu vápenatého do půdy se pozitivně projevilo na výnosech řepky ozimé. Podobné pokusy zaměřené na výnos řepky provedl i Vašák (2008). V polním experimentu sledoval vliv stupňovaných dávek síry

ve formě síranu amonného (0, 40, 80, 160 kg S/ha) a zaznamenal opačný trend – se stoupající dávkou síry klesal výnos řepkového semene. Havel (2001) se zabýval vzájemným srovnáním kapalných a pevných hnojiv obsahujících síru. V jeho pokusu byl sledován rovněž vliv různých dávek síry (0, 8, 16, 34 a 50 kg S/ha) na výnos ozimé řepky. Zde byla zaznamenána průkazně vyšší účinnost aplikace hnojiva SAM na list oproti pevné formě (DASA) aplikované do půdy. Pokus byl však silně ovlivněn klimatickými podmínkami (sucho z počátku vegetace).

## **6. Závěry**

Maloparcelkový přesný pokus s ozimou řepkou byl realizován v roce 2009 na stanovištích Humpolec, Lukavec a Hněvčeves. Hodnocen byl vliv stupňovaných dávek síry (0-50 kg S/ha) při jednotné dávce N (200 kg N/ha) na výnos řepky a na obsah síry v rostlině a nadzemní hmotě. Z výsledků lze vyvodit následující závěry:

### **6.1. Rozbory půd:**

- Z rozborů půd byl patrný vzestupný trend obsahů mobilní síry po dodání S hnojiv zejména v pozdějších vegetačních fázích (BBCH 30-32 a BBCH 50-52).
- Po sklizni došlo k vyrovnání obsahu mobilní síry v půdě na všech variantách hnojení.
- Rozdíly v obsahu mobilní síry v půdě mezi jednotlivými variantami hnojení nebyly zpravidla statisticky průkazné.

### **6.2. Rozbory rostlin:**

- V odebraných vzorcích mladých listů řepky bylo stanoveno vždy vyšší procento síry
- Vzestupný trend obsahu síry v listech řepky v závislosti na dávce síry byl sledován na všech stanovištích pouze ve vegetační fázi BBCH 50-52

### **6.3. Výnosy:**

- Nejnižší výnosy ozimé řepky byly zaznamenány vždy na kontrolní sítou nehnojené variantě.
- Nejvyšších výnosů ozimé řepky bylo s výjimkou stanoviště Humpolec dosaženo vždy na variantách s nejvyšší dávkou S (50 kg S/ha)



## 7. Použitá literatura:

- Anonym, 2007:** Lovofert, LAS 24N 6S. [online], (cit 12.4.2010) dostupné WWW: [www.lovochemie.cz/download.php?file=download/lovofertLAS24\\_6s](http://www.lovochemie.cz/download.php?file=download/lovofertLAS24_6s)
- Balík J., Kulhánek, M., Černý, J., Száková, J., Pavlíková, D., Čermák, P., 2009:** Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmosphere deposition. *Plant, Soil and Environment*, roč. 55, č. 8, str. 344 – 352.
- Balík J., Tlustoš P., 2000:** Hnojení ozimé řepky sírou. *Květy olejnin*, č. 4, str. 2-3.
- Bečka D., Vašák J., 2009: Jarní hnojení řepky, *Agromanuál*, roč. 4, č. 2, str. 56 – 57.
- Blume H.-P., Brümmer, G.W., Schwertmann, U., Horn, R., et al., 2002:** Scheffer/Schachtschabel: *Lehrbuch der Bodenkunde*, Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart, 607 s.
- Černý I., 2009:** Aplikácia listových hnojív v systéme pestovania repky a repy cukrovej, *Agromanuál*, roč. 4, č. 5, str.: 84-85.
- Excel, 2003:** Microsoft Office Excel 2003. Microsoft office profesional edition, USA, release SP2.
- Fábry A. a kol., 1992:** Olejniný. Ministerstvo zemědělství ČR
- Fecenko J., 2002:** Význam síry pre výživu rastlín a jej potreba na hnojení plodín pestovaných v SR. *Agrochémia, Ročník VI. (42)*, str. 13-15.
- Havel J., 2001:** Využití mořidel, fyziologicky aktivních látek a hnojení sírou ke zlepšení výkonnosti a zdravotního stavu řepky. *OSEVA PRO*
- Hell R., Rennenberg, H., 1998:** The plant sulphur cycle, Ruhr-Universität, Bochum
- Jenzen H. H. and Bettany, J. R., 1984 in Pedersen, C. A., Knudsen, L., Schnug, E., 1998:** Sulphur fertilisation. Danish Agricultural Advisory Centre.
- Kolenčík P., 2009:** Použití specifického hnojiva Eurofertil Plus NPS 49 k zakládání intenzivních porostů řepky ozimé, *Agromanuál*, roč. 4, č.6, str. 46 – 47.
- Kubát J., 2008:** Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Výzkumný ústav rostlinné výroby.
- Marschner, H., 2003:** Mineral Nutrition Of Higher Plants. Academic Press, London, 889 s.
- Matula J., 1987:** *Agrochemie*. VŠZ Praha.
- Matula J., 2007:** Výživa a hnojení sírou: metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby v Ústavu zemědělských a potravinářských informací.
- Matula J., Pechová M., 2007:** The influence of gypsum treatment on the acquirement of nutrients from soils by barley. *Plant, Soil and Environment*, roč. 55, č. 2, str. 89 – 96.

- Mengel K., 1984:** Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 431 s.
- Pedersen C. A., Knudsen, L., Schnug, E., 1998:** Sulphur fertilisation. Danish Agricultural Advisory Centre.
- Prugar J., 2008:** Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV Praha.
- Pulkrábek J., Capouchová I., Hamouz K., 2003:** Speciální fyto technika. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Pulkrábek J., Procházka O., Švachula V., 1995:** Rádce hospodáře. Sdružení soukromých zemědělců ČR.
- Procházka S., Macháčková I., Krekule J., Šebánek J. et al., 1998.:** Fyziologie rostlin. Academia Praha.
- Růžek P., Kusá H., Vavera R., 2009:** Jak zabezpečit výživu řepky ozimé dusíkem v jarním období?, Agromanuál, roč. 4, č. 2, str. 52 – 54.
- SAS, 1998:** The SAS system for Windows, SAS Institute Cary, NC, USA, release 8.02, TS Level 02M0.
- Schnug. E., 1997** in Pedersen, C. A., Knudsen, L., Schnug, E., 1998: Sulphur fertilisation. Danish Agricultural Advisory Centre
- Shnug E., Haneklaus S., 1998:** Diagnosis of sulphur nutrition, Institute of Plant Nutrition and Soil Science FAL, Kluvert Academic Publishers.
- Škeřík J., 2009:** Používání listových hnojiv do řepky (str.: 92-94) , Agromanuál 4/2009, 4.ročník
- Štěpánek P., 2009:** Úvodník, Agromanuál, roč. 4, č. 9-10, str. 1.
- Vaněk V., Balík J., Němeček R., Pavlíková D., Tlustoš P, 1998:** Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. Farmář-Zemědělské listy Praha.
- Vaněk V., Balík J., Pavlíková D., Tlustoš P, 2007:** Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press Praha.
- Vašák J., 2000:** Řepka. Agrospoj Praha.
- Vašák J., 2008:** Vliv různých dávek síry na řepku ozimou, Nové agro, roč. 1, č. 3, str. 36 - 39
- Zelený F., Zelená, E., 1996:** Síra a její potřeba pro výživu rostlin. Ústav zeměd. a potrav. informací ÚZPI MZe ČR.
- Schnug. E., 1997** in Pedersen, C. A., Knudsen, L., Schnug, E. 1998: Sulphur fertilisation. Danish Agricultural Advisory Centre.

