

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Příjem makroprvků ozimou řepkou ve vztahu k příjmu
síry**

Bakalářská práce

Autor práce: Jaroslav Horáček

Obor: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Příjem makroprvků ozimou řepkou ve vztahu k příjmu síry" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4.2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ondřejovi Sedlářovi, Ph.D., za jeho ochotu, trpělivost a cenné rady, které mi poskytl během vypracování této práce.

Příjem makroprvků ozimou řepkou ve vztahu k příjmu síry

Souhrn

Ozimá řepka je v podmínkách mírného pásma jednou z nejrozšířenějších olejnin. Je zdrojem řepkového oleje, který je využitelný v různých sektorech, od lidské výživy, přes využití jako alternativní obnovitelné palivo, k přírodě šetrné mazací oleje nebo surový materiál pro chemický průmysl. Zbytek z produkce oleje se používá jako hodnotné krmivo pro hospodářská zvířata.

Pro úspěšné pěstování ozimé řepky je nezbytný dostatečný přísun makroprvků (N, P, K, Ca, Mg) a zejména síry. Ta je nezbytná pro správný růst a metabolické fungování rostlin. Je důležitou složkou aminokyselin, konkrétně cysteinu a methioninu. Podporuje tvorbu glykosidů, které mají fyto-sanitární účinek. V neposlední řadě pak tvoří významné synergistické a antagonistické vztahy s ostatními makroprvky.

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu výše obsahu síry v nadzemní biomase rostlin ozimé řepky na výši obsahu ostatních makroprvků.

Odebírání vzorků pro analýzu nadzemní biomasy bylo provedeno v polních provozech v letech 2015 až 2020 v 17 okresech České republiky. Odebírání vzorků probíhalo začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 30-32) a na začátku fáze kvetení (BBCH 61-65). Vzorky představovala celá nadzemní část rostlin.

Bylo zjištěno, že mezi obsahem síry a dusíku při prvních odběrech existovala slabá korelace a při druhých odběrech střední korelace. Hypotéza, že zvýšení hladiny síry má vliv na zvýšení hladiny dusíku, se potvrdila. Stejný vztah byl zaznamenán i mezi obsahem síry a vápníku. Rovněž zde byla při prvních odběrech zjištěna slabá korelace a při druhých odběrech střední korelace. Hypotéza, která říkala, že zvýšení hladiny síry sníží hladinu vápníku, se nepotvrdila. Při porovnávání vztahu síry s fosforem, draslíkem a hořčíkem byla při prvních odběrech zjištěna velmi slabá korelace a při druhých odběrech slabá korelace. Lze tedy vyvrátit hypotézy, že s rostoucí hladinou síry v biomase řepky dochází ke zvýšení hladiny v ní obsaženého fosforu a hořčíku. Vyvrácena je rovněž hypotéza, že se zvyšujícím se obsahem síry v biomase rostliny klesá množství obsaženého draslíku.

Klíčová slova: antagonismus, makroprvky, řepka, síra, synergismus

Macroelements Uptake by Winter Rape in Relation to Sulphur Uptake

Summary

The winter rape is one of the most common oil crops in temperate climate. It is a source of the rape seed oil, which is usable in various industry sectors, such as food, alternative renewable fuel and fine lubrication oils production, as a raw material for chemical processing and even as a valuable feed source for livestock. An adequate supply of macroelements such as N, P, K, Ca, Mg and especially sulphur is necessary for plant growth and production. Sulphur is critical for both the plant development and metabolism. It is also a component of various amino acids, such as cysteine and methionine, and the phytochemicals (glycosides). Its synergistic and antagonistic interactions with other macroelements are crucial as well.

The aim of this bachelor thesis is to assess the effects of sulphur content on the other macroelements in winter rape. Sampling of plants for the biomass content analysis took place during the 2015-2020 period at field operating areas located in 17 districts of the Czech Republic. The samples of whole above ground plant biomass during the BBCH 30-32 and BBCH 61-65 growth periods were collected.

There was a weak correlation recorded between the sulphur and nitrogen contents in the samples collected during the BBCH 30-32 period and a moderate correlation between these contents in samples collected during the BBCH 61-65 period. Therefore the hypothesis that rising levels of sulphur content in plant biomass cause the nitrogen content to raise as well can be confirmed. Similar interactions were recorded between the sulphur and calcium contents, meaning that there was a weak correlation noticed in the levels of these macroelements recorded in samples collected during the BBCH 30-32 period and a moderate correlation in the sulphur and calcium contents in samples collected during the BBCH 61-65 period. These results mean that the hypothesis that raising levels of sulphur content in plant biomass will lower the calcium content can not be confirmed. There was only a very weak and weak correlation recorded in between the levels of sulphur contents and the contents of phosphorus, potassium and magnesium in the samples from both sampling periods, respectively. Therefore both the hypothesis that with the raising levels of sulphur content the phosphorus and magnesium content will also grow and that the raising levels of sulphur content will reduce the potassium levels can not be confirmed.

Keywords: antagonism, macroelements, sulphur, synergism, winter rape

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Pěstování ozimé řepky.....	10
3.2	Výživa ozimé řepky.....	12
3.3	Interakce síry s jinými živinami	13
3.3.1	Dusík.....	13
3.3.2	Fosfor	14
3.3.3	Draslík	15
3.3.4	Vápník	15
3.3.5	Hořčík.....	16
3.4	Síra v biomase ozimé řepky	16
3.5	Síra v životním prostředí.....	18
3.6	Síra v půdě	18
3.7	Metodika pro hnojení ozimé řepky	19
3.7.1	Hnojiva obsahující síru	20
4	Metodika	24
5	Výsledky	25
6	Diskuze	30
7	Závěr	33
8	Literatura.....	34

1 Úvod

Ozimá řepka v českých zemích se významněji pěstuje od roku 1820. Kromě hospodářského užitku, kterým je hlavně olej a pokrutiny, biomasa, je i medonosnou rostlinou (Bernardová 2020).

Řepka je plodina náročná na síru. Problém s dostatečným množstvím rostlinám přístupné síry se začal projevovat v souvislosti s odsířením tepelných elektráren a omezením emisí síry (Kroutil & Vašák 2007).

Síra je jedním ze základních prvků pro růst a vývoj rostlin. Je považována za čtvrtý nejdůležitější živný prvek po dusíku, fosforu a draslíku (Li et al. 2020). Síra vzájemně působí s téměř všemi základními makroživinami, sekundárními živinami a mikroživinami. Tyto interakce mohou zvyšovat nebo snižovat růst a výnos plodin tím, že ovlivní příjem a využití živin. Správné pochopení těchto vztahů může vést k efektivnější produkci, vyšším výnosům a lepší kvalitě plodin. Do budoucna to může ovlivnit zlepšení odrůdových vlastností, lepší hospodaření rostlin s vodou a obecně zlepšení agrotechniky daných plodin (Abdin 2003).

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je posouzení vlivu výše obsahu síry v nadzemní biomase rostlin ozimé řepky na výši obsahu ostatních makroprvků.

Hypotézy

- Zvýšení hladiny síry v rostlině zvýší hladinu dusíku v rostlině.
- Zvýšení hladiny síry v rostlině zvýší hladinu fosforu v rostlině.
- Zvýšení hladiny síry v rostlině sníží hladinu draslíku v rostlině.
- Zvýšení hladiny síry v rostlině sníží hladinu vápníku v rostlině.
- Zvýšení hladiny síry v rostlině zvýší hladinu hořčíku v rostlině.

3 Literární rešerše

3.1 Pěstování ozimé řepky

Řepka olejka se stala v podmínkách mírného pásma jednou z nejznámějších olejnin a je zde pěstována buď ve formě ozimé, nebo jarní. V západní a střední Evropě převažuje forma ozimá díky větší výnosnosti. Jarní forma se zde uplatňuje jako náhradní plodina za vymrzlou ozimou řepku. Jarní řepka a její příbuzný druh řepice jsou významnými olejninami v Číně, v oblastech jihovýchodní Asie, severnějších oblastech Kanady, Švédska, Finska a ve východní Evropě, Rusku, na Ukrajině a ve středoasijských republikách (Baranyk et al. 2007).

Dle přiložené tabulky 1, zpracované podle dat Českého statistického úřadu, je zřejmé, že plochy ozimé řepky v České republice se pohybují v průměru kolem 379 tisíc hektarů. V roce 2021 bylo pro sklizňový rok 2022 vyseto 352 tisíc hektarů, což je meziroční nárůst o 10 tisíc hektarů (+3,0 %).

Tabulka 1 Sklizené plochy řepky ozimé v ČR v období od 2015 do 2021. Upraveno dle Českého statistického úřadu (2021).

Sledované období	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Počet hektarů	366 180	392 991	394 262	411 802	379 778	368 214	342 315

Biologická charakteristika

Řepka s vysokou pravděpodobností nemá žádného planého předka. Vznikla patrně zkřížením brukve zelné a brukve řepáku (řepice či vodnice) jak tzv. amfiallotetraploid s 38 chromozomy v oblasti středozemního genového centra. Ač se to zdá jako šedá historie, i v současné době takovýmto způsobem řepka v omezené míře znovu vzniká. Jedná se o resyntetizované odrůdy, jež si některé šlechtitelské firmy vyrábějí za účelem zvýšení genetické diverzity pro tvorbu nových odrůd (Baranyk et al. 2010).

Využití ozimé řepky

Ozimá řepka je dnes využívána více než v minulosti. Důvodem je široké využití řepkového oleje v různých sektorech, ať již v lidské výživě, jako alternativní obnovitelné palivo, přírodě šetrné mazací oleje nebo surový materiál pro chemický průmysl. Kromě toho se zbytek z produkce oleje používá jako hodnotné zvířecí krmivo obsahující vysoký obsah energie a bílkovin (Orlovius 2003).

Technologie pěstování ozimé řepky

Řepka vyžaduje hlubší půdy, v posledních letech se klasické orební zpracování půdy rozšiřuje sice o bezorebné zpracování, ale s hlubším prokypřením bez obracení půdy nebo o půdoochranné technologie, kdy zůstává cca 1/3 půdy pokryta rostlinnými zbytky (Bernardová 2020).

Optimální termín setí je při pěstování řepky nezastupitelný. Včas a správně založený porost je základem pro dobré přezimování, uspokojivý zdravotní stav a uplatnění výnosové schopnosti řepky. Obecně lze konstatovat, že řepku nejčastěji sejeme od poloviny do konce srpna (pouze výjimečně do začátku září). Optimální meziřádková vzdálenost je kolem 12,5 cm, neboť ta nejlépe zajistí rovnoměrné rozmístění cca 40 rostlin na 1 m². Hloubka setí má být 1,5-2 cm. Po výsevu pozemek zásadně nevláčíme. Za sucha a při horší předset'ové přípravě se doporučuje válení cambridge válci, které umožní rovnoměrné vzejití (Bečka et al. 2007).

Řepka se vyznačuje velmi dlouhou vegetační dobou. Dynamika dozrávání semen významně ovlivňuje kvalitu produkce. V suchých a teplých letech může docházet z důvodu deficitu vody v době dozrávání k nouzové zralosti. To způsobí vývin drobných a méně kvalitních semen a předčasné praskání šesulí. V době sklizně by měl být porost v plné zralosti, lodyha uschlá a lámavá, šesule jsou zralé, při zmáčknutí snadno praskají, semena jsou černá, jejich vlhkost se pohybuje okolo 12 %. Předčasná či opožděná sklizeň vede ke zvýšení ztrát. Ty se většinou pohybují od 2 do 10 % v závislosti na použité mechanizaci a termínu sklizně (Selgen 2022).

Pěstované odrůdy

V Československu, které bylo po 2. světové válce do značné míry odkázáno na dovoz tukových surovin, se situace začala měnit, když se dosud přehlížený řepkový olej stal koncem 20. století cennou součástí lidské výživy. Zasluhou pokroku v genetice a šlechtění se podařilo kanadským šlechtitelům snížit obsah nežádoucí kyseliny erukové do té míry, že řepkový olej začal být schopen po stránce kvality konkurovat olivě, slunečnici, sóje a dalším významným olejninám (Baranyk et al. 2010). Tato mastná kyselina zhoršovala chuťové i zdravotní vlastnosti oleje (Bečka et al. 2007). Šlechtěním došlo k současnému poklesu obsahu glukosinolátů i ve vegetativních částech řepky a tím přestala být pro případné konzumenty chuťově palčivou (Scherer 2018).

V návaznosti na práci polského šlechtitele Krzymanského došlo též ke zlepšení kvality extrahovaných šrotů pro krmivářské účely. Tyto úspěchy vedly k vytvoření tzv. dvounulových odrůd řepky, které zásadním způsobem vylepšily do té doby nevalnou pověst a kvalitu olejů a šrotů z řepky vyráběných (Baranyk et al. 2010).

V Čechách jsou pěstovány liniové i hybridní odrůdy řepky, ale důležitější je vlastní výběr odrůdy tak, aby vlastnosti co nejvíce vyhovovaly pěstitelské oblasti co do zimuvzdornosti, ranosti (vývoje i sklizně), a také splňovaly požadavky na nižší poléhavost nebo pukání šesulí (Bernardová 2020).

Výskyt plevelů, škůdců a chorob

Řepka ozimá je vzhledem k poměrně časnému výsevu vystavena konkurenci plevelů již od vzházení. Mezi nejvýznamnější plevele patří především výdrol předplodiny, nejčastěji obilnin. Ten vzhledem k silné konkurenční schopnosti dokáže porosty řepky značně devastovat.

Dobře zapojený porost řepky má již ke konci podzimu vysokou konkurenční schopnost vůči plevelům. V mezerovitých a prořídlech porostech řepky systémy regulace plevelů selhávají a v jarních měsících dochází k silnému zaplevelení, které již nelze regulovat (Kazda

et al. 2010). Bezplevelný porost proto skýtá záruku vyššího výnosu a lepší kvality sklizeného semene (Bečka et al. 2007).

Škůdci napadají ozimou řepku po celý rok. Jednotlivé druhy však škodí pouze v určitých růstových fázích ozimé řepky. Velmi početná je skupina škůdců vzcházejících rostlin až do fenofáze přizemní listové růžice: dřepčící, pilatka řepková, plži, hraboši a jiní. Tito škůdci poškozují klíčící rostliny, ničí jejich kořeny a redukují listovou plochu. Jejich škodlivost se projevuje zpomaleným růstem, sníženou mrazuvzdorností, odumíráním rostlin, snížením jejich počtu na jednotku plochy, v extrémních případech i nutností zaorání porostu. Druhou skupinu tvoří škůdci, kteří způsobují praskání a lámání lodyh, nadměrné větvení bazálních částí rostlin, později slabé nasazení poupát s nestejnou dobou zakvétání rostlin. Jsou jimi krytonosec řepkový či čtyřzubý. Třetí skupinou jsou škůdci, kteří napadají generativní orgány – blýskáček řepkový, mšice, krytonosec a bejlomorka kapustová. Tito škůdci ničí poupata, snižují počet šešulí na květenství, redukují počet semen v šešuli a snižují hmotnost tisíce semen. Proti škůdcům je potřeba provést chemické ošetření na základě dosažení prahů jejich škodlivosti.

V posledních letech dochází k masivnímu šíření houbových chorob u řepky olejné. Choroby mohou snížit výnos semene až o 20-50 % (Bečka et al. 2007). Dle Prokinové (2014) se na řepce z chorob nejvíce vyskytuje: plíseň brukvovitých, fomové černání stonků, virové choroby řepky, verticiliové vadnutí řepky, alternariová skvrnitost brukvovitých, šedá plísňovitost brukvovitých, bílá hniloba řepky a nádorovitost kořenů brukvovitých. Základním předpokladem pro snížení výskytu chorob je prevence: osevni postup, odstranění posklizňových zbytků, hluboká orba, výběr odrůdy, moření osiva a důsledná ochrana proti stonkovým krytonoscům. Z přímých metod je pak jediným řešením aplikace fungicidů (Bečka et al. 2007).

3.2 Výživa ozimé řepky

Živiny jsou nezbytné pro biosyntézu organických látek, které zajistí bezporuchový růst a vývoj rostlin (Baranyk et al. 2005). Všechny brukvovité olejniny, mezi něž patří i řepka olejka, se vyznačují značnou potřebou síry (Schnug et al. 1993). V požadavcích na živiny se vyrovná řepka nejnáročnějším polním plodinám, jako jsou cukrovka, kukuřice a brambory, a je přibližně 2 až 3krát náročnější než obilniny (Duchon 1948). Ozimá řepka si snadno osvojuje živiny z půdy zvláště na půdách, které jsou jimi dostatečně zásobeny (Baranyk et al. 2005). Po vytvoření dostatečné kořenové hmoty a prokořenění půdního profilu má mnohem vyšší schopnost příjmu živin než obilniny, je schopna využívat i méně dostupné formy živin. Uvádí tak do koloběhu i živiny, které ostatní rostliny nejsou schopny využívat (Vaněk et al. 2016).

Hnojení plodin sírou bereme v potaz od 80. let 20. století, kdy došlo ke změně enviromentální politiky, jejíž cílem bylo snížit atmosférický spad oxidu siřičitého produkovaného z průmyslových emisí (Schnug et al. 1993). V důsledku tohoto opatření byl silně snížen spad síry do půdy, což mělo za následek rostoucí výskyt nedostatku síry v plodinách, a to zejména v západní Evropě (McNeill et al. 2008). Dle Černého et al. (2020) nebyly v minulosti vyjimkou spady síry v množství přes 100 kg/ha, od roku 2007 již nepřesahují 10 kg síry, a v posledních letech jsou na většině území České republiky do 5 kg síry na hektar (70 % území). Zbýlých 30 % území má spady 5-10 kg síry na hektar, ale to jsou především horské oblasti s vyšším zadržováním síry z tzv. podkorunové depozice.

Interference iontů

Interference iontů je vzájemné působení a ovlivňování. Mezi ionty existují významné vzájemné vztahy a ovlivňování, které se promítají do příjmu a odběru živin, zvláště při jednostranné zvýšené, nebo naopak nízké koncentraci v půdním roztoku. Podle chemických a fyzikálních vlastností jednotlivých iontů, ale i příjmu a transportu v rostlinách nastává rozdílné působení, a to negativní – antagonistické (omezení příjmu) a pozitivní – synergické (zvýšení příjmu).

Antagonistické působení iontů je působeno rozdílnými mechanismy, nejčastěji konkurencí mezi ionty, zaujetím aktivního místa na nosičích v kanálcích, změnou pH prostředí, tvorbou nerozpustitelných sloučenin a podobně.

Synergické působení iontů – příznivé ovlivnění, tedy zvýšení příjmu živin. Nejvíce je zvýšený příjem většiny živin ovlivněn zvětšenými dávkami dusíku (Vaněk et al. 2016).

3.3 Interakce síry s jinými živinami

Znalost interakcí živin může být návod pro správnou strategii hnojení, a tím lze dosáhnout vysokého využití dodaných živin a vytvoření vysokých výnosů (Rietra et al. 2017).

3.3.1 Dusík

Řepka olejka patří k největším konzumentům dusíku. Proto v minulosti, před zavedením průmyslových hnojiv, byla onou plodinou, která se hnojila přednostně chlěvským hnojem, močůvkou a kompostem. Dobrá výživa dusíkem je podmínkou dostatečného olistění – tvorby a životnosti asimilační plochy a rozhodujícím způsobem ovlivňuje vývin všech výnosotvorných prvků (počet šesulí, počet semen v šesulích, hmotnost tisíce semen) (Fábry et al. 1992). Nedostatek dusíku, zvláště spojený s deficiencí některých makroprvků (P, K, Mg, Ca, S) omezuje růst větví, vede k opadu květních pupenů i květů a redukuje počet šesulí na větví. Přehnojení dusíkem (luxusní výživa) zhoršuje přezimování a zdravotní stav rostlin a vede k nevyrovnanému kvetení i dozrávání, a snižuje obsah oleje v semeni (Baranyk et al. 2005). Zvláště citlivé jsou dvounulové odrůdy, které vlivem pozdního příjmu dusíku prodlužují vegetační dobu a nejednotně dozrávají. Mnoho pokusů bylo uskutečněno u řepky olejky a ostatních olejnin sledujících působení výživy dusíkem na olejnatost a kvalitu tuku. Je to složitá problematika, neboť výsledek je podmíněn celou řadou vlivů – prostředí, ročníku, organizace porostů a tak dále (Fábry et al. 1992).

Pro optimální výnosy ozimé řepky je důležitá rovnováha (poměr) dusíku a síry (Canola Council of Canada 2021). Rozmezí, ve kterém se může pohybovat poměr dusíku a síry, které zároveň zajišťuje optimální objem a kvalitu výnosu, je velice úzké. Hnojivo s nevyváženým poměrem těchto dvou prvků tedy může produkci výrazně negativně ovlivnit (Jamal et al. 2010). Nedostatek síry také často inhibuje syntézu bílkovin a trvale vede ke snížení relativního množství aminokyselin obsahující síru, a oba tyto faktory mohou snížit nutriční hodnotu řepkového šrotu jako krmiva pro hospodářská zvířata (Eaton 1942). Dále je nedostatek síry provázen zvýšenou tvorbou a ukládáním nitrátů a nárůstem proteolýzy, následkem čehož dochází ke vzniku amoniaku a organických dusíkatých látek typu amidů a aminokyselin (Jamal et al. 2010). Jedním z možných způsobů, jak odhalit možnou nerovnováhu v rostlinném

metabolismu síry a dusíku, je stanovení hladiny v nich obsažených aminokyselin. Při poruchách dochází ke zvýšenému obsahu asparaginu a argininu, a zároveň ke snížení hladin cysteinu a metioninu (Beaton 1966).

Starší pokyny dle Karamanose et al. (2007) radily aplikovat dusíkatá a sírná hnojiva v poměru 7:1. Avšak při středních až vysokých úrovních dusíkatých hnojiv potřebných v oblastech s vysokými výnosy plodin je dostatek síry dosaženo mnohem dříve než dostatek dusíku, a proto poměr 7:1 vede k nadměrné aplikaci síry. Dle jiného zdroje (The Potash Development Association 2011) je tento poměr N:S kolem 12:1.

Studie provedená v letech 2003-2005 (Ahmad et al. 2007) prokázala, že obsah oleje a bílkovin v semenech ozimé řepky reagoval pozitivně na zvyšující se hladinu síry, ale na druhou stranu se zvýšil i obsah glukosinolátů, což nebylo žádoucí.

Matula (2007) uvádí poznatek, že hnojení dusíkem snižovalo produkci síranů z mineralizace organické složky půdy a u půd s imobilizační tendencí byla imobilizace ještě silnější.

3.3.2 Fosfor

Fosfor má důležitou úlohu při kvetení a tvorbě plodů. Obsah kyseliny fosforečné v semenech se pohybuje v rozmezí 1,8-2 % (Fábry et al. 1992). Jeho nedostatek nepříznivě ovlivňuje růst kořenů, a tím přispívá ke sníženému příjmu živin. K jeho deficienci dochází často až na jaře za chladného a suchého počasí. Po dlouhodobějším nedostatku fosforu se na listech rostlin objevují vnější příznaky. Listy jsou purpurové, později až fialové v důsledku zvýšené tvorby anthokyanů (toto zbarvení může být způsobeno i chladem). V pozdějších vývojových fázích (butonizace) dochází k nevyrovnanému kvetení a omezuje se tvorba semen (Baranyk et al. 2005).

Ve studii provedené autory Kumar & Singh (1980) příjem síry rostlinami rostl úměrně s nárůstem půdního obsahu nejen samotné síry, ale i fosforu. Koncentrace síry v půdě, hnojivu i v rostlinách naznačuje jasný synergismus mezi těmito dvěma prvky. Fosfor má navíc schopnost potlačovat antagonistické účinky některých dalších prvků působících na síru. Konkrétně v této studii byl popsán pokles příjmu síry rostlinami za zvýšených dávek molybdenu, který byl ale po podání dávky fosforu potlačen až na výchozí hodnotu.

Někteří autoři (Suman et al. 2018) si tento pozitivní synergistický efekt zvýšených dávek fosforu na příjem síry vysvětlují faktem, že při dostatku fosforu dochází ke správnému rozvoji zdravých, dobře fungujících kořenů, které tak lépe přijímají ostatní živiny, včetně síry, dostupné v půdě. Přímý efekt na vyšší výnos pak má nejen lepší zdravotní stav rostlin a dostatek minerálů, ale i podpora růstu v důsledku zdravých, silných nodulů.

Kawamura et al. (2008) pak za mechanismus pozitivních účinků přidaného fosforu na využití síry označují vznik specifické skupiny organických sloučenin fosforu – thiofosfátů.

Vliv hnojení sírou na koncentrace v půdě dostupného fosforu je zřejmě proměnlivý a závislý na více faktorech - například na pH půdy, kompetici mezi síranovými ionty, mineralizaci organických forem fosforu a uvolňování iontů hliníku a železa, které reagují se sírany a vážou tak méně fosforečných iontů. Přítomnost vyššího obsahu síry v půdě pak vytváří příznivé podmínky pro uvolňování fosforu z jinak těžko rozpustných forem. Nezanedbatelný je

i vliv provzdušnění půdy, jehož zvýšením se může zvýšit koncentrace dostupného fosforu (Skwierawska et al. 2008).

Při hnojení vyššími dávkami fosforu byl dle Szczepaniak et al. (2017) ovlivněn výnos oleje, který klesal.

3.3.3 Draslík

Důležitým činitelem při zásobování rostlin řepky živinami je draslík, který spolu s fosforem vyrovnává jednostranné dusíkaté hnojení. Dostatečná dávka draselných hnojiv je důležitá v řepařské i bramborářské oblasti, kde intenzivním pěstováním cukrovky a brambor nastává velký export této živiny. Zmrazovacími laboratorními pokusy bylo zjištěno, že intenzivní draselná výživa zvyšuje mrazuvzdornost rostlin (Fábry et al. 1992). Draslík stimuluje a ovlivňuje metabolismus rostlin při procesech začleňování (inkorporace) CO₂ do sacharidů. Zvyšuje tok asimilátů, příznivě působí na poměr mezi asimilací a disimilací, zvyšuje translokaci látek z listů do zásobních orgánů. Při jeho dostatku je lepší vyzrávání pletiv a pevnější anatomická stavba rostlin v důsledku zesilujících se buněčných stěn. Tím zvyšuje i mrazuvzdornost řepky. Zajišťuje příznivější vodní režim rostlin tím, že snižuje transpiraci a hodnotu transpiračního koeficientu (množství spotřebované vody na produkci sušiny). Zvyšuje intenzitu kvetení a vylučování nektaru, což zintenzivňuje nálet včel. Redukuje napadení škůdci, bakteriemi a viry (Baranyk et al. 2005).

Při nedostatku draslíku jsou rostliny poškozovány mrazem, obtížněji regenerují a jsou častěji napadány houbovými chorobami (*Alternaria brassicae*). Výraznější nedostatek draslíku se kromě negativního ovlivnění biochemických procesů projevuje již zjevnými vizuálními symptomy. Nejprve začnou zasychat okraje spodních listů, listové pletivo nekrotizuje s následným usycháním, případně až opadem spodních listů (Baranyk et al. 2007).

Dle Szczepaniak et al. (2017) při aplikaci draslíku samotný výnos oleje stoupal. Zvýšení dávky síry (80-120 kg/ha) a hnojení kombinací NPK + S obecně vedlo k výraznému snížení obsahu draslíku v hlubších vrstvách půdy (40-80 cm), zvláště v porovnání s klasickým hnojením kombinací NPK. Je zřejmé, že tento efekt je výraznější, když je síra podávána v síranové formě, než při aplikaci čisté elementární síry (Skwierawska et al. 2008).

3.3.4 Vápník

Vápník je pro rostlinu významný proto, že je nezbytný pro dlouhodobé a úspěšné dělení buněk (Black 2019). Tento prvek významně ovlivňuje tvorbu a růst kořenů, zvláště kořenového vlášení (Baranyk et al. 2007). Dále reguluje hormonální aktivitu, čímž přímo ovlivňuje množství i kvalitu produkce (Black 2019). Vápnění půdy snižuje výskyt některých chorob a škůdců. U řepky toho lze využít zejména proti krytonoscům a houbovým chorobám (Česká společnost rostlinolékařská 2013).

Při dostatku vápníku v půdě a příznivé půdní reakci se vytváří bohatší kořenový systém, vyznačující se vyšší příjmovou kapacitou pro živiny. Dostatek vápníku v pletivech zvyšuje jejich odolnost proti nepříznivým vlivům nízkých a proměnlivých teplot (Baranyk et al. 2007).

Nedostatek se projevuje sníženou tvorbou kořenů, poruchami růstu vegetačního vrcholu (lámání vegetačního vrcholu u řepky) a vyšším opadem květů (Baranyk et al. 2007). Listy blednou a u nově se tvořících listů dochází ke kropenatosti. Chlorózy vedou až k hákovitému

zakřivení nerozvinutých čepelí, které přecházejí k hnědnutí a nekrotám. K významnějším změnám při nízkém obsahu přístupného vápníku v půdě, dochází v druhé polovině vegetace u stonků. Na stonku se vyloučí kapka sekretu, stonek je sklovitý a hnědne. Poškození se rozšiřuje a rostlina se na zaškrceném místě ohýbá a pak odumírá. Podobné příznaky se mohou objevit nejen na hlavním stonku rostliny, ale i na bočních větvích (Baranyk et al. 2005).

Vysoké dávky vápníku mohou potlačovat využití jiných živin. V případě hořčíku se jedná o vztah, kdy nadbytek vápníku limituje dostupnost hořčíku, ale naopak i nadbytek hořčíku může způsobit nedostatky v zásobování rostlin vápníkem. Je tedy nutné vyvážit hladiny obou prvků v hnojivech tak, aby nastala požadovaná rovnováha, ideální pro správný růst i kvalitní produkci. Podobný jev lze sledovat i v případě adekvátního hnojení sírou (Black 2019).

Ve studii provedené v roce 2018 (Singh et al.) bylo zjištěno, že kombinované hnojení vyššími dávkami síry a vápníku má potenciál snižovat negativní účinky některých toxických látek a chemických reziduí, například elementárního arsenu. Vyšší dávky kombinace síry a vápníku nejen podpořily funkci arsenem zasažených procesů fotosyntézy a enzymů dusíkatého metabolismu, ale dokonce dokázaly jeho účinky zcela potlačit. Podobný efekt přinesly i dávky samostatného vápníku nebo síry, ale v úspěšnosti se nevyrovnaly kombinaci těchto prvků.

Dle studie provedené Szczepaniakem et al. (2017) se stoupající dávkou vápníku roste obsah surového oleje v semenech. Avšak při vysokých dávkách dusíku a hořčíku obsah oleje klesá.

3.3.5 Hořčík

Hořčík se spolu s dusíkem podílí na tvorbě listů. Je nezbytnou součástí chlorofylu, fyтину, oxalátů a chelátů. Hořčík ovlivňuje řadu enzymových systémů nezbytných pro utilizaci CO₂, dusíkatý a sacharidový metabolismus, je důležitý pro syntézu oleje a významná je i jeho účast při asimilačních a disimilačních procesech spojených s fosforem. Nedostatek hořčíku se často projevuje v latentní formě a při dlouhodobém nedostatku se projevují zjevné příznaky na starších listech. Typická je chloróza, která vzniká mezi nervy v blízkosti středního žebra a odtud se rozšiřuje k okrajům až zachvátí celý list. Silnější nervatura je zelená. Při déle trvajícím nedostatku list odumírá a zachvacuje i mladé, dosud nevyvinuté listy (Baranyk et al. 2005).

Vhodný obsah síry v půdě je předpokladem pro dostatečný příjem a využití hořčíku v rostlinných pletivech. Při nedostatku síry (a zejména za současného nadbytku fosforu) dochází k nedostatečnému vstřebávání hořčíku, i když je ho v půdě dostupný dostatek. Naopak nadbytečný obsah hořčíku v půdě může rostlinu vést ke zvýšené potřebě fosforu, boru, zinku a železa (Black 2019).

3.4 Síra v biomase ozimé řepky

Síra je základním prvkem pro růst a metabolické fungování rostlin (Leustek & Saito 1999). Stejně jako dusík je i síra důležitou složkou proteinů - díky zastoupení v esenciálních aminokyselinách jako je methionin nebo v neesenciálních aminokyselinách jako je cystein, kde tvoří disulfidové vazby pro správnou strukturu a funkci proteinů (Brosnan & Brosnan 2006). Podporuje tvorbu glykosidů, které mají fyto-sanitární účinek. Zvyšuje využití dusíku a stabilizuje obsah oleje v semeni (Baranyk et al. 2005). Omezení příjmu síry může vážně ovlivnit výnos (o 40 až 50 %) a kvalitu semen (Zhao et al. 1997).

Obsah síry v rostlinách se pohybuje v rozmezí 0,1-0,5 % v sušině (Pavlíková et al. 2011). Olejnaté plodiny mají vysokou spotřebu síry pro vytvoření vysokého výnosu semene a dobré olejnatosti (Rashmi et al. 2018). Nejvyšší nároky na síru mají rostliny produkující více bílkovin, silic a pryskyřic – tedy řepka a brukvovitá zelenina, dále chmel, jeteloviny, cibule a česnek (Pavlíková et al. 2011).

V rostlině je síra komponentem řady enzymů (koenzym A), acetyl – ATP sulphuryláza a vitamínů (thiamin, biotin) (Baranyk et al. 2005).

Významnou skupinou sekundárních rostlinných sloučenin síry v řepce jsou glukosinoláty. Rostliny obsahují více než 100 různých glukosinolatových sloučenin. Tyto sloučeniny, ačkoliv nejsou dobře prozkoumány, mají pravděpodobně řadu funkcí. Glukosinoláty jsou uloženy v buněčných vakuolách a mohou být štěpeny enzymy za vzniku glukózy, síranu a těkavých sloučenin. Přispívají k obranným nebo atraktivním systémům pro určitý hmyz či choroby. Když jsou rostlinné buňky poškozeny při napadení škůdcem, glukosinoláty se rozkládají a působí na daného jedince ve formě odpuzování nebo naopak přilákání (Canola Council of Canada 2021).

Nejdůležitějším zdrojem síry pro vyšší rostliny je síran. V mnoha aspektech připomíná jeho vstřebávání asimilaci nitrátů, ačkoliv jeho přesný mechanismus není zcela znám. Síran vstřebaný rostlinami musí být před zabudováním do organických molekul nejprve redukován (Mengel & Kirkby 2001). Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku i půdními vlastnostmi (Pavlíková et al. 2011). Příjem síranů je nejvyšší při pH 4,0 a snižuje se při stoupající hodnotě pH (Leggett & Epstein 1955). Rozhodující je obsah síranového aniontu v půdě, kam se dostává jednak hnojivý, z ovzduší spadem (po oxidaci SO_3^{2-}) a z půdních zásob (Pavlíková et al. 2011).

Odběr síry plodinami závisí na jejich schopnosti přijímat tuto živinu a na celkové produkci biomasy. Údaje o odběru síry zemědělskými plodinami se proto značně liší, většinou se však pohybují v rozmezí od 20 do 50 kg S/ha (Zelený & Zelená 1999). Nedostatek síry se projevuje nejprve omezením syntézy bílkovin, včetně enzymů, a tím i snížením aktivity významných enzymových dějů, jako je například redukce nitrátů. Tím, že je snížena syntéza bílkovin, se hromadí v rostlinách nízkomolekulární organické sloučeniny dusíku a nitráty. Značně je omezena tvorba chlorofylu, a tím i tvorba metabolitů (sacharózy, škrobu, bílkovin a oleje), zvláště u rostlin náročných na síru, takže se výrazně snižuje kvalita produkce. Znamé je omezení fixace vzdušného dusíku při nedostatku síry (Kulhánek et al. 2013).

Podle Vaňka et al. (2016) je typickým vizuálním projevem nedostatku síry na rostlinách žloutnutí listů, které začíná od nejmladších listů a při trvalejším deficitu přechází i na spodní listy. Projev nedostatku síry je podobný jako u dusíku – ovšem počáteční příznaky jsou při deficitu síry vždy lokalizovány na vrcholu rostlin. Nejmladší listy jsou nejprve světle zelené, později žloutnou a mnohdy mají růžový nádech. Mají omezený růst do šířky, a proto se jeví jako úzké a dlouhé.

Dle Černého et al. (2018), vědecké studie zatím ještě upřesňují skutečnou fyziologickou potřebu síry u řepky, ale vztahy uvnitř rostlin jsou poměrně složité. Zatím se ukazuje, že řepka neumí s přijatými síranými moc dobře hospodařit, a proto je důležité zajistit podle odběrového normativu 16 až 17 kg síry na výnos 1 t semene. Tato potřeba by měla být skloubena s potřebou dusíku, neboť síra ovlivňuje příznivě jeho asimilaci do organických látek. Působí také prostřednictvím enzymu rubisco na fotosyntézu a zejména asimilaci uhlíku a tvorbu biomasy.

3.5 Síra v životním prostředí

Síra patří mezi prvky s největším výskytem na Zemi. V přírodě se nejčastěji vyskytuje jak v oxidované formě jako sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tak i v redukované formě sulfidů, nejčastěji jako pyrit (FeS_2), a to v břidlicích, uhlí a vápencích a jako čistý prvek (S) v sedimentech. Síra je v různých koncentracích součástí všech živých organismů, kde se vyskytuje především v bílkovinách a polysacharidech (Tlustoš et al. 2011).

Globální cyklus síry je v řadě ohledů podobný globálnímu cyklu dusíku. Většina síry je obsažena v horninách zemské kůry a podobně jako dusík je přítomna i v atmosféře (síry je v atmosféře mnohem méně než dusíku, a navíc podstatná část sem byla uvolněna v důsledku lidské činnosti). Přírodními zdroji síry v atmosféře jsou vulkanická činnost, oceány, mokřadní ekosystémy, sedimenty i půdy. Z atmosféry je síra ve formě suchých i mokrých depozic transportována zpět na zemský povrch.

Velkou zásobárnou síry ve formě síranů je mořská voda, která obsahuje průměrně 2,7 g SO_4^{2-} na litr vody. V povrchových vodách v ČR je koncentrace síranů kolem 50 mg SO_4^{2-} na litr vody a v podzemních vodách je o něco větší, tedy 70 mg SO_4^{2-} na litr vody (Šimek et al. 2019).

Síra v půdě je limitujícím prvkem ve výživě rostlin. Je to dáno především snížením vstupů síry do půdy prostřednictvím atmosférických depozic, dále rovněž méně častým používáním hnojiv obsahujících síru a častějším zařazením plodin náročných na síru do osevních postupů. Z tohoto důvodu je třeba věnovat zvýšenou pozornost hnojení sírou, průběžnému monitorování obsahu síry v půdě a sledování cest příjmu síry rostlinou (Kulháněk et al. 2011).

3.6 Síra v půdě

Celkový obsah síry v ornici se podle Matuly (2007) pohybuje nejčastěji v rozmezí 85-250 mg S/kg. Převážná část (90-95 %) celkové síry v půdě je tvořena organickou, tedy pro rostliny nepřístupnou formou. Podíl organické a anorganické síry v půdě se však značně liší podle půdního typu (Tabatabai 1984). Síra v půdě opakovaně koluje mezi anorganickou a organickou formou (Castellano & Dick 1991).

Organické sloučeniny síry jsou pro rostliny nepřístupné, a proto se musí přeměnit za pomoci biochemické nebo mikrobiologické mineralizace na anorganický SO_4^{2-} (Castellano & Dick 1991). Síra se v půdě postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin a je oxidována až na sírany (Vaněk et al. 2007). Při mikrobiálním rozkladu bílkovin a jiných látek obsahujících síru vzniká H_2S a v malém množství thioalkohol. V aerobních podmínkách je H_2S ihned oxidován sírnými bakteriemi přes elementární síru až na H_2SO_4 , a přitom uvolněná energie slouží těmto bakteriím k redukci CO_2 . Proces přeměny redukované formy síry se označuje jako sulfurikace. Naopak desulfurikace je proces postupné redukce SO_4^{2-} na H_2S působením bakterií (Richter 2007).

Z hlediska výživy rostlin je nejvýznamnější anorganický síran, protože jde o formu přijímanou kořeny rostlin (Eriksen et al. 1998). Síranový aniont (SO_4^{2-}) je vysoce mobilní v půdní vodě, neboť je odpuzován od povrchu půdních částic se stejnojmenným (záporným) nábojem. V období promyvného režimu půd jsou sírany snadno vyplavovány tokem gravitační

vody do spodních vrstev. Jsou dokumentovány ztráty síranů vyplavením z ornice v hodnotách 30 až 80 kg S/ha/rok (Matula 2007).

Rostliny řepky olejky jsou schopny využívat i plynný SO₂ z atmosféry (Patel et al. 2019). Tímto způsobem jsou schopny saturovat jen část své potřeby (asi do 30 % celkové potřeby) (Kulhánek et al. 2013).

Příjem síranů čelí konkurenci molybdenu a selenu. Proto půdy s vysokým obsahem těchto minerálů budou antagonizovat příjem síry (Canola Council of Canada 2021).

3.7 Metodika pro hnojení ozimé řepky

Řepka má zvýšenou schopnost uvolňovat síru i z méně mobilních forem v půdě. Díky zvýšené enzymatické aktivitě arylsulfatázy mobilizuje i síru organických sloučenin. Hnojení řepky sírou by mělo být samozřejmou součástí pěstební technologie (Baranyk et al. 2007).

Dle dynamiky odběru živin je zřejmé, že řepka vegetuje již brzy koncem zimního období a na jaře (Vaněk et al. 2016). Při hnojení řepky proto preferujeme dodání hlavních živin již v základním hnojení (Česká společnost rostlinolékařská 2013).

Odběr síry porosty řepek od počátku vegetace do období zimního klidu je malý, pohybuje se u dobrých porostů maximálně v rozmezí 10-15 kg S/ha. V průběhu zimního klidu je období stagnace odběru síry, popřípadě jejího poklesu v závislosti na průběhu zimy, to je stupni poškození porostu – odumření listů ružice. Zřetelně je definováno rozhodující „krizové“ období ve výživě řepky sírou. Jedná se o dobu po obnovení jarní vegetace od počátku dlouhivého růstu až do počátku kvetení. V tomto velmi krátkém období intenzivního růstu a vývoje ozimé řepky (4 až 5 týdnů), potřebuje mít porost řepky k dispozici minimálně 30-40 kg S/ha pohotově dostupné síry (síranů) v povrchovém profilu půdy (0-30 cm) (Matula 2007).

Ve druhé polovině vegetace je příjem dusíku a draslíku již malý a rostlina redistribuuje živiny z listů a stonků do šesulí a semen. Příjem fosforu, hořčíku i síry je rovnoměrný a vrcholí také po odkvětu. Z uvedených údajů je proto zřejmé, že řepka přijme velké množství živin v období asi osmi týdnů. Je nutné, aby potřebné živiny měla v tomto období v půdě k dispozici (Vaněk et al. 2016).

Klíčové postavení v zajištění zdárné výživy porostů řepek sírou má hnojení vodorozpustnou sírou – sírany společně s druhou nebo první dávkou jarního hnojení dusíkem. Je třeba si uvědomit, že krizové období výživy porostu řepky na stanovišti je po zimě, kdy převládá zasakování srážkové vody. Tato voda totiž v této době obsahuje minimum síry na rozdíl proti běžně vyšší koncentraci síranů ve vodě z hlubších vrstev profilu půdy. Časné 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 – průběh srážek), dochází ke změně směru pohybu vody v profilu půdy pozemku. Vztlínající voda má běžně vyšší obsah síranů než voda srážková. Možnosti výživy sírou na stanovišti se tím zlepšují (Matula 2007).

Aplikace hnojiv se sírou je prováděna zpravidla do půdy. Může však být aplikována i foliárně. Foliárně aplikovaná síranová forma síry se do listů dostává velmi rychle. Sírany jsou však následně z velké části zachycovány ve vakuolách a jsou z menší části využívány na tvorbu výnosu. K listové aplikaci je možné využít například hořkou sůl. Lepších výsledků je však dosahováno s listově aplikovanou elementární sírou. To lze nejpravděpodobněji vysvětlit

tím, že před samotnou absorpcí listy musí být tato forma nejdříve oxidována na sírany. Postupná přeměna elementární síry na sírany je pozvolný proces, a proto tak dochází k plynulejšímu zásobení listů sírany. Nedochází tedy k přílišné kumulaci síranů v cytosolu a jejich následné kumulaci ve vakuolách (Kulhánek et al. 2013).

3.7.1 Hnojiva obsahující síru

Historicky většina síry pro využití k výrobě hnojiv pocházela z těžebního průmyslu. Na přelomu tisíciletí představovala největší zdroj síra, která byla získávána z ropných rafinérií a závodů na zpracování plynu (Ceccotti et al. 1998). Mezi nejvýznamnější hnojiva, obsahující síru, patří superfosfát, sádrovec, síran draselný a síran amonný. Jako sírné hnojivo lze také použít thiosíran amonný $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$, který má oproti síranu amonnému užší poměr N:S (Mengel & Kirkby 2001).

Superfosfát

Superfosfát je označován jako první chemické hnojivo, které bylo poprvé vyrobeno kolem roku 1840 z kostní moučky a kyseliny sírové. Krátce na to byla výroba zdokonalena a superfosfor byl získáván z horninové fosfátové rudy, opět za použití kyseliny sírové. Tato forma se rovněž nazývá jednoduchý nebo běžný superfosfát a značí se 0-20-0-11S. Pokud je horninový fosfor ošetřen kyselinou fosforečnou, vzniká trojitý neboli koncentrovaný superfosfor, značený 0-46-0, který neobsahuje žádnou síru. Fosfor v této sloučenině pochází z jednobázového fosfátu vápenatého, který je snadno přístupný rostlinám. Běžný superfosfát ve svém složení dále obsahuje sádrovec, díky čemuž je jeho koncentrace dihydrogenfosforečnanu vápenatého naředěna. Superfosfát se obvykle vyrábí ve formě granulí (Barker 2019). Od přelomu milénia je průmyslově produkován zejména trojitý superfosfát, jenž žádnou síru neobsahuje (Mengel & Kirkby 2001). Obsahuje 6-9,5 % fosforu a 10-14 % síry, díky čemuž je jejím dobrým zdrojem.

Nedostatek síry v půdě byl díky použití tohoto hnojiva často neúmyslně doplňován, zejména v dobách, kdy bylo jeho využívání masivně rozšířeno. Nezanedbatelný je i poměrně vysoký obsah vápníku (18-21 %). Kolem roku 1960 došlo ke změně preference běžného superfosfátu, a více se rozšířily koncentrovanější zdroje fosfátů, například hydrogenfosforečnan amonný (DAP). Vliv mělo i snížení nákladů na výrobu fosfátových hnojiv přímo v místě těžby horninového fosforu. Na rozdíl od hnojiva DAP je běžný superfosfát obvykle používán přímo v zemi, kde je produkován. Využití dále klesá s rozvojem kombinovaných vícesložkových hnojiv. Výhodou běžného superfosfátu jsou pak poměrně nízké vstupy energií při jeho výrobě, které jej předurčují k lokálnímu využití v některých specifických oblastech (The Sulphur Institute 2022).

Podle Ghosh & Chattopaddhyay (2012), kteří se zabývali porovnáním příjmu síry řepkou po hnojení různými běžně dostupnými hnojivy, přinášelo hnojení běžným superfosfátem nejlepší výsledky z hlediska výnosu oleje i semen a obsahu bílkovin. Zbylá hnojiva způsobila nejvyšší příjem síry v pořadí fosfosádrovec, pyrit a elementární síra.

Habib et al. (2018) zkoumal vliv formy superfosfátu (běžný verus trojitý superfosfát) na příjem fosforu a vliv přídatku síry na růst rostlin řepky olejky. Bylo prokázáno, že řepka přijímala fosfor z běžného superfosfátu stejně dobře, jako ze superfosfátu trojitého. Přídavek

elementární síry k horninovému fosfátu měl za následek zvýšení objemu sušiny v rostlinné hmotě, zejména v druhém roce po aplikaci.

Sádrovec

Pro překonání nedostatku síry se jeví sádrovec jako nejlevnější a široce dostupný zdroj pro optimalizaci hladiny síry v půdě (Rashmi et al. 2018). V minulosti se v Čechách podle Duchoně (1948) k řepce hnojilo sádrou. Sádrovec je středně rozpustný zdroj základních rostlinných živin jako je vápník a síra. Dále také zlepšuje fyzikální a chemické vlastnosti půd, snižuje erozní ztráty půdy a zvýšenou koncentraci živin (zejména fosforu) v povrchových vodách (Rashmi et al. 2018).

Sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) je přirozeně se vyskytující hornina, těžená zejména v Rádžastánu. Sádrovec v kvalitě, odpovídající agrotechnickým požadavkům, obsahuje 13 % síry, přítomné ve formě rostlinám snadno přístupných síranů (The Sulphur Institute 2022).

V minulosti byl využíván zejména pro zlepšení vlastností silně zásaditých půd. S postupem času ale byla objevena jeho schopnost být poměrně levným zdrojem síry, potřebné zejména pro růst olejnatých semen (Sangar 2003).

Dle zdroje Canola Encyclopedia je poměrně výraznou nevýhodou sádrovce coby hnojiva jeho značný obsah nečistot, kvůli kterým je jeho aplikace v mnoha státech či oblastech světa zakázána či omezena. Sádrovec je navíc rozpustný jen částečně, což dále snižuje jeho využitelnost coby přímého zdroje síranů. Jednou z výhod je jeho obsah vápníku, díky jemuž představuje možný způsob, jak napomoci zlepšení půdní struktury, zejména v půdách náchylných na tvorbu povrchových krust (Canola Council of Canada 2021).

Alternativou k znečištěnému sádrovci je využití energosádrovce. Jedná se o vedlejší produkt odsíření spalin metodou mokré vápencové vypírky. Hlavní složkou je dihydrát síranu vápenatého, a proto se energosádrovec využívá jako náhrada přírodního sádrovce (ČEZ Energetické produkty 2009).

Síran draselný

Síran draselný patří mezi takzvaná potašová hnojiva. Obsahuje 42-44 % draslíku (ve formě 50-53 % K_2O) a 17 % síry. Jeho výroba je možná prostřednictvím různých metod v závislosti na výchozím materiálu. Většina K_2SO_4 je získávána přímo z potašových solí nebo solanek. Přibližně 25 % světové produkce pochází z reakce mezi chloridem draselným a kyselinou sírovou. Přesto, že je síran draselný poměrně drahým hnojivem (zejména ve srovnání s chloridem draselným), zůstává oblíbeným hnojivem pro náročnější plodiny typu brambor a tabáku, které jsou citlivější na chlor (The Sulphur Institute 2022).

Síran amonný

Síran amonný se vyskytuje v několika formách, z nichž nejčastěji je využíván typ se značením 16-20-0-14S. Obsahuje přibližně 40 % dihydrogenfosforečnanu amonného 60 % síranu amonného. Další využívané formy mají označení 13-39-0-20S, 19-9-0-20S a 23-20-0-7S, která obsahuje rovněž menší množství močoviny. Síran amonný je možno vyrábět více způsoby, například kombinací kyseliny sírové a fosforečné s amoniakem. Přímá aplikace

nejčastěji formy 16-20-0-14S, je využívána zejména pro luštěniny. Dále je možné ji využít pro meziřádkové hnojení řepky a některých obilnin. Je rovněž často součástí kombinovaných hnojiv (The Sulphur Institute 2022).

Canola Council of Canada (2016) doporučuje použití síranu amonného (označení 21-0-0-24) pro jarní aplikaci, případně pro aplikaci během růstu, je-li nutné neodkladně pokrýt zvýšený nedostatek síry v půdě. Variantou síranu amonného je pro toto použití i kapalný thiosulfát amonný. Dále je doporučeno aplikovat síran amonný mimo řádek, neboť přísun síry není nutný pro brzké vzcházení. Aplikace síranu amonného do řádku může vést ke zbytečnému riziku chorob vzcházejících rostlin, pokud už byl aplikován dihydrogenfosforečan amonný (Amofos).

Síran hořečnatý

Síran hořečnatý je se svým obsahem 13 % síry a 9,8 % hořčíku omezeně využitelný coby zdroj hořčíku v kapalných hnojivech a roztocích, aplikovaných na list. Spolu s aplikací hořčíku je tak přidáno i nezanedbatelné množství síry (The Sulphur Institute 2022).

Dle zdroje Canola Encyclopedia je síran hořečnatý kvůli své vyšší ceně častěji využíván pro hnojení tabáku, ovoce a trávníků; jeho využitelnost a efektivita pro hnojení řepky by nicméně měla být srovnatelná se síranem amonným (Canola Council of Canada 2021).

Výzkum Dash & Ghosh (2012) prokázal, že v případě využití síranu hořečnatého coby hnojiva ozimé řepky je možné dosáhnout lepších produkčních výsledků než při použití sádrovce, a to zejména v tropických oblastech a na půdách obecně chudých z hlediska obsahu síry.

Elementární síra

Canola Council of Canada (2016) nedoporučuje aplikaci elementární síry, je-li nutné rychle doplnit nedostatek v půdě. Elementární síra (0-0-0-90 nebo 0-0-0-95) může být aplikována na podzim v rámci programu na obnovení půdních zásob živin, ale je třeba počítat s faktem, že potrvá minimálně dva až tři roky, než bude celý dodaný objem přeměněn ve využitelnou síranovou formu skrze oxidaci bakteriemi. Možným řešením tohoto problému je aplikace produktu typu S15 (kombinované NPS hnojivo), v němž je obsah síry rozdělen mezi síranovou a elementární síru. Je-li S15 aplikován na jaře, až 50 % elementární síry nebude rostlinami v tomto roce využito, ale může pomoci doplnit dlouhodobé zásoby síry v půdě.

Podle Canola Encyclopedia v případě, že je nutné aplikovat síru v elementární formě, je nejlépe takto učinit skrze povrchovou aplikaci granulí, které tak budou vystaveny vlivu deště, mrazu či sněhu, a následně zpracováním půdy budou promíchány v horní vrstvě půdy. Právě kvůli pozitivnímu vlivu zimních podmínek na rozklad hnojiva je vhodné elementární síru aplikovat nejpozději na podzim před setím řepky. V některých případech je tuto aplikaci nutno provést minimálně dva roky před setím. Výzkum totiž prokázal, že nejvyšší obsah dostupné síry pro rostliny se v půdě vyskytuje dva až čtyři roky po aplikaci elementární síry. Nicméně i tak nelze výsledky srovnávat s příjmem po aplikaci lépe využitelných sulfátových hnojiv, zejména po jejich aplikaci v jarním období. Stupeň a efektivita konverze elementární síry na sírany se odvíjí od rozsahu rozprostření při aplikaci, velikosti částic a velikosti a variabilitě

bakteriální populace v dané půdě. Běžně se elementární síra pro potřeby hnojení produkuje ve formě granulí, které usnadňují distribuci, skladování i aplikaci, a které navíc obsahují tisíce jednotlivých částic síry. Velké množství drobných částecek představuje usnadnění aktivity bakterií. Zajímavý je vliv předchozí aplikace elementární síry na hnojeném pozemku – bylo prokázáno, že v půdě, na kterou byla elementární síra již dříve aplikována, dochází k potřebné oxidaci na sírany mnohem rychleji, nejspíše díky rozvoji žádoucích bakterií (Canola Council of Canada 2021). Po aplikaci elementární síry na silně zásaditou půdu dojde k oxidaci této síry. Vzniká kyselina sírová, která vede k výraznému poklesu půdního pH (Mengel & Kirkby 2001). Dochází i k snížení obsahu organického uhlíku a mikrobiální hmoty. Zaznamenány byly i negativní účinky na půdní enzymy, účastníci se transformací živin (Canola Council of Canada 2021).

Ostatní hnojiva obsahující síru

Zdrojem síry pro rostlinu mohou být i hnojiva obalená v síře. Hnojivo ošetřené sádrou je často využíváno zejména v případech, kdy je cílová půda na síru absolutně chudá. Dávky se pohybují v rozmezí 10-50 kg S/ha. (Mengel & Kirkby 2001).

Síra může být do půdy také navracena spolu se statkovými hnojivy, komposty, posklizňovými zbytky či zeleným hnojením. Značné množství síry odebrané plodinami může být navraceno do půdy ve svých reziduích a u některých plodin je takto recyklováno až 85 % síry z nadzemních částí rostlin. Obsah síry ve stájových hnojivech může značně kolísat. U chlévského hnoje se pohybuje kolem 0,9 až 1,2 kg síry na tunu a u kejdy od 0,4 do 0,5 kg síry na tunu (Ryant 2008).

Podle Markvarta et al. (2001) lze alternativně použít produkty sanace chemické těžby uranu, při jejichž zpracování vzniká dusíkatosírné hnojivo.

4 Metodika

Odebírání vzorků nadzemní biomasy probíhalo na polních provozech v letech 2015 až 2020 v okresech Benešov, Beroun, Domažlice, Hradec Králové, Kutná Hora, Litoměřice, Louny, Mělník, Mladá Boleslav, Nymburk, Pelhřimov, Přerov, Rokycany, Rychnov nad Kněžnou, Ústí nad Orlicí, Vsetín a Znojmo. Vzorky nadzemní biomasy byly odebrány na výšku strniště cca 3 cm. Rostlinné vzorky byly poté vysušeny při teplotě 45 °C. Odběr vzorků probíhal začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 30-32) a na začátku kvetení řepky (BBCH 61-65). Celkem bylo odebráno 59 vzorků při prvních odběrech a 84 vzorků při druhých odběrech.

Chemické analýzy

Rostlinný materiál byl mineralizován rozkladem na suché cestě (Mader & Čurdová 1997): navážka 0,500 g rostlinného materiálu byla na topné desce zahřívána po dobu 4 hodin při počáteční teplotě 160 °C. Poté byly kádinky přesunuty do muflové pece s počáteční teplotou 350 °C a konečnou teplotou 500 °C. Ke vzorku byl následně přidán 1 ml HNO₃ s následnou jednou hodinou odpařování při teplotě 120 °C. Vzorek je pomocí 1,5% HNO₃ převeden v ultrazvukové lázni do roztoku.

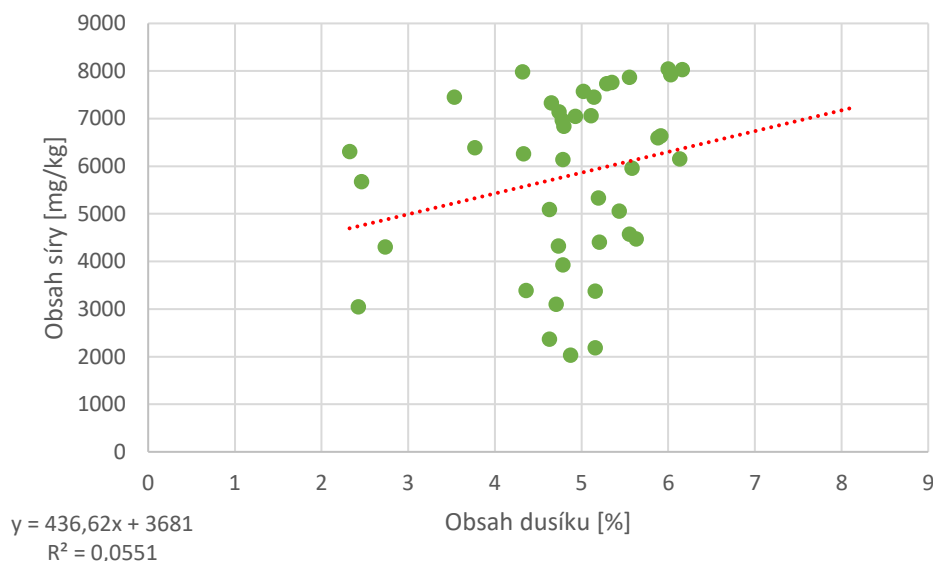
Obsah živin v rostlinách byl stanoven optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA). Draslík byl stanoven atomovou absorpční spektrometrií (AAS, Varian 280 FS, Austrálie).

K stanovení celkového obsahu dusíku v rostlinné biomase byl použit rozklad na mokré cestě za pomoci kyseliny sírové (1:20 w/v) katalyzovaný práškovým selenem. Obsah celkového dusíku v nadzemní biomase byl stanoven metodou podle Kjeldahla na přístroji Vapodest 50S (Gerhardt, Spolková republika Německo). Rostlinný materiál určený k analýzám byl homogenizován laboratorním střížným mlýnem SM100 (Retsch, Spolková republika Německo).

5 Výsledky

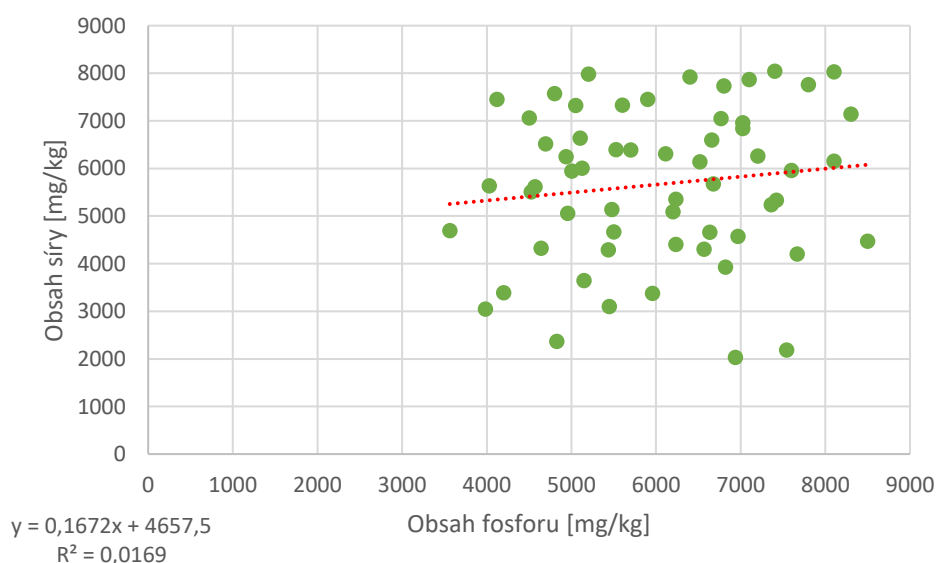
Ve výsledcích byly porovnány hodnoty jednotlivých makroprvků ve vzorcích odebraných z nadzemní biomasy rostlin. V následujících grafech 1-5 je zobrazen vztah obsahu síry v nadzemní biomase s obsahem vybraného makroprvku při prvním odběru vzorků, který probíhal na začátku prodlužovacího růstu (BBCH 30-32).

V grafu 1 můžeme vidět závislost obsahu dusíku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během prvních odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,235$.



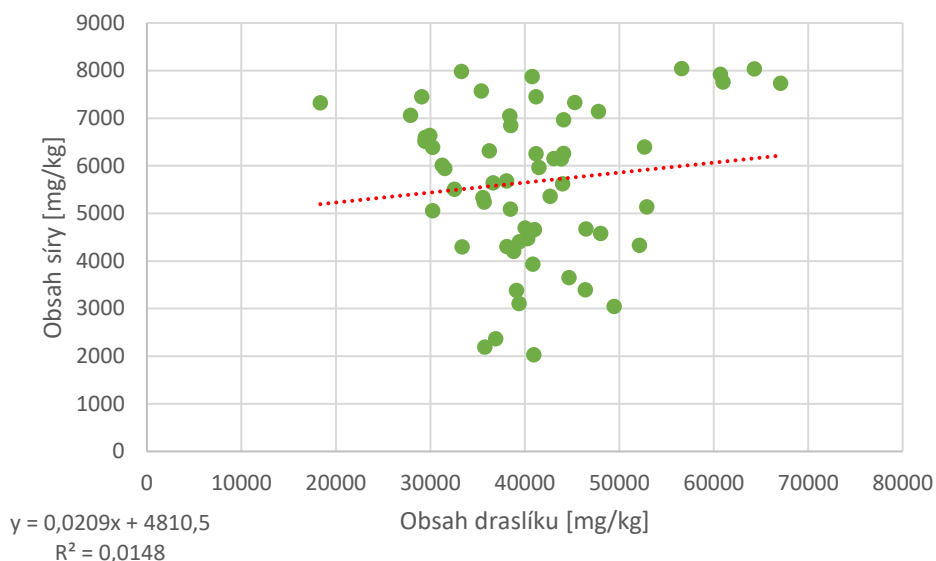
Graf 1 Závislost obsahu dusíku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při prvních odběrech.

V grafu 2 můžeme vidět závislost obsahu fosforu na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během prvních odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je velmi slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,130$.



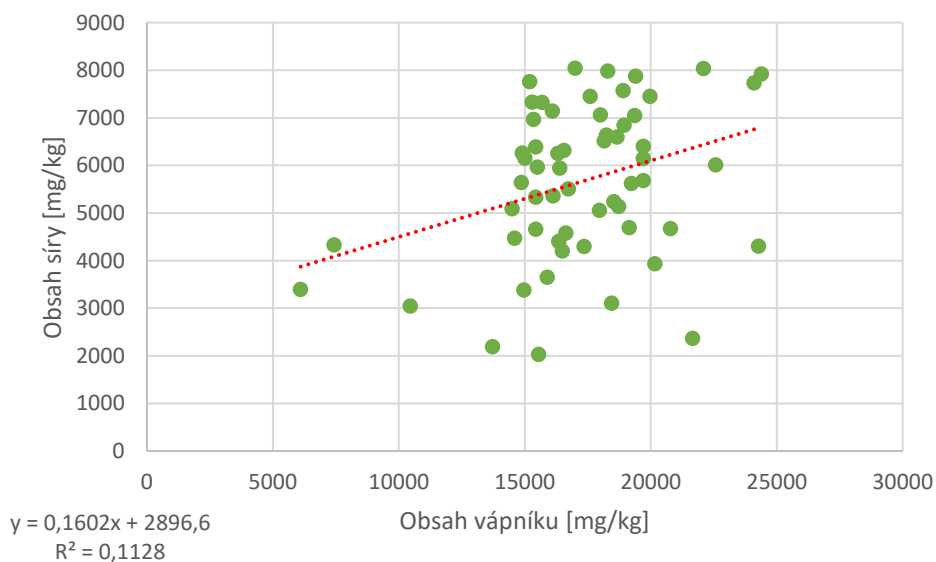
Graf 2 Závislost obsahu fosforu na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při prvních odběrech.

V grafu 3 můžeme vidět závislost obsahu draslíku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během prvních odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je velmi slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,122$.



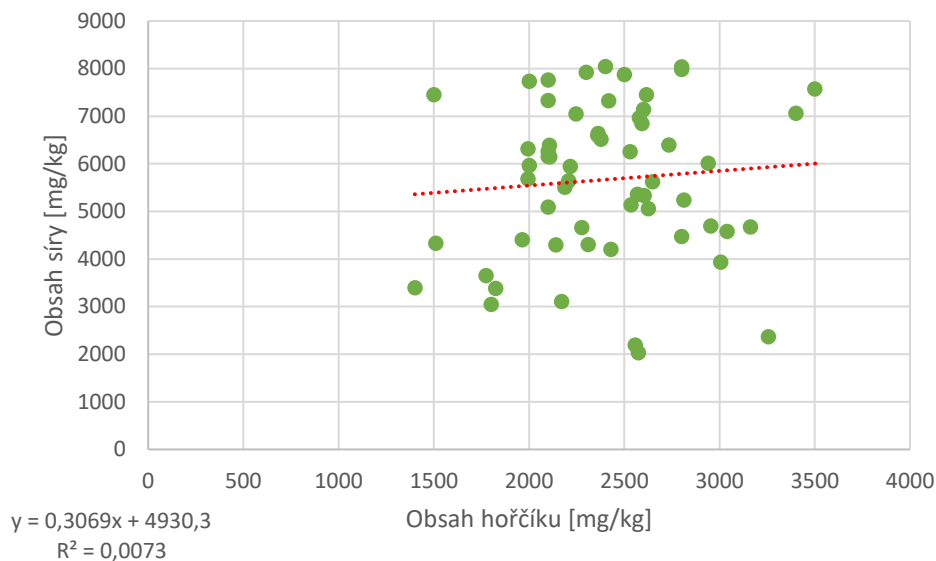
Graf 3 Závislost obsahu draslíku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při prvních odběrech.

V grafu 4 můžeme vidět závislost obsahu vápníku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během prvních odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,336$.



Graf 4 Závislost obsahu vápníku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při prvních odběrech.

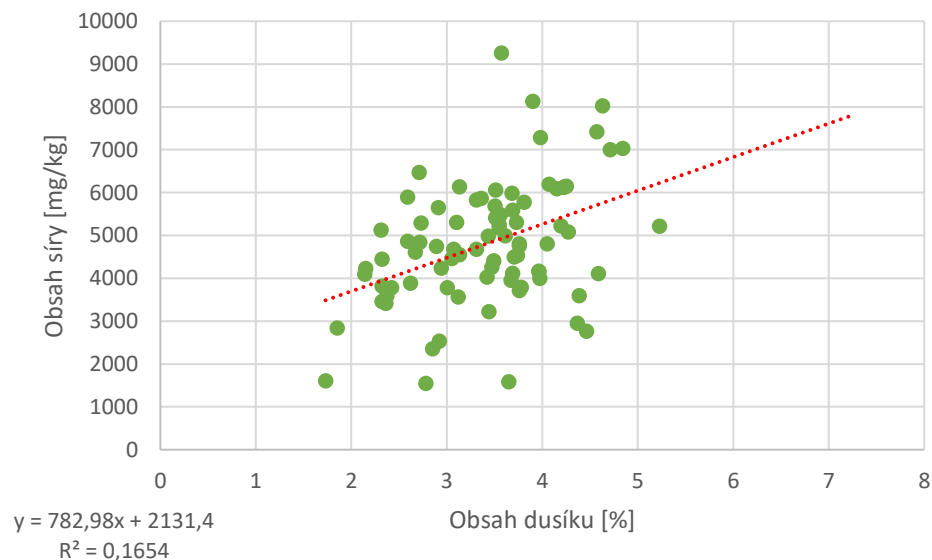
V grafu 5 můžeme vidět závislost obsahu hořčíku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během prvních odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je velmi slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,085$.



Graf 5 Závislost obsahu hořčíku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při prvních odběrech.

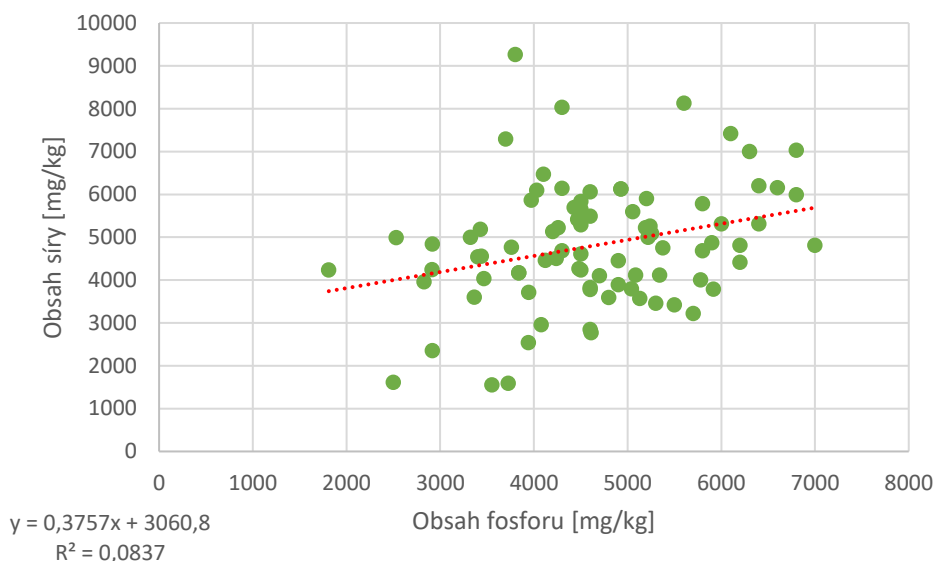
V následujících grafech 6-10 je zobrazen vztah obsahu síry v nadzemní biomase s obsahem vybraného makroprvku při druhém odběru vzorků, který probíhal na začátku kvetení (BBCH 61-65).

V grafu 6 můžeme vidět závislost obsahu dusíku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během druhých odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je střední, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,407$.



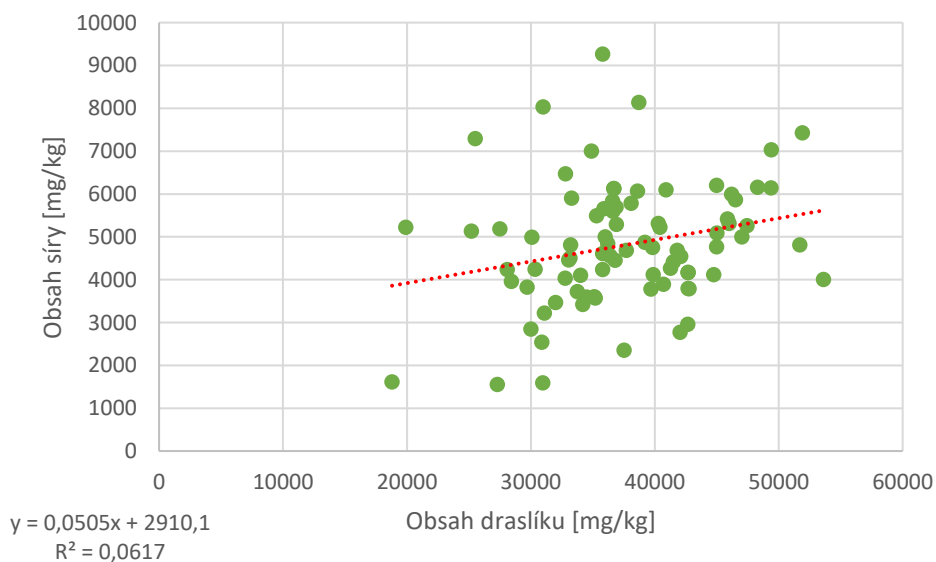
Graf 6 Závislost obsahu dusíku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při druhých odběrech.

V grafu 7 můžeme vidět závislost obsahu fosforu na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během druhých odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,289$.



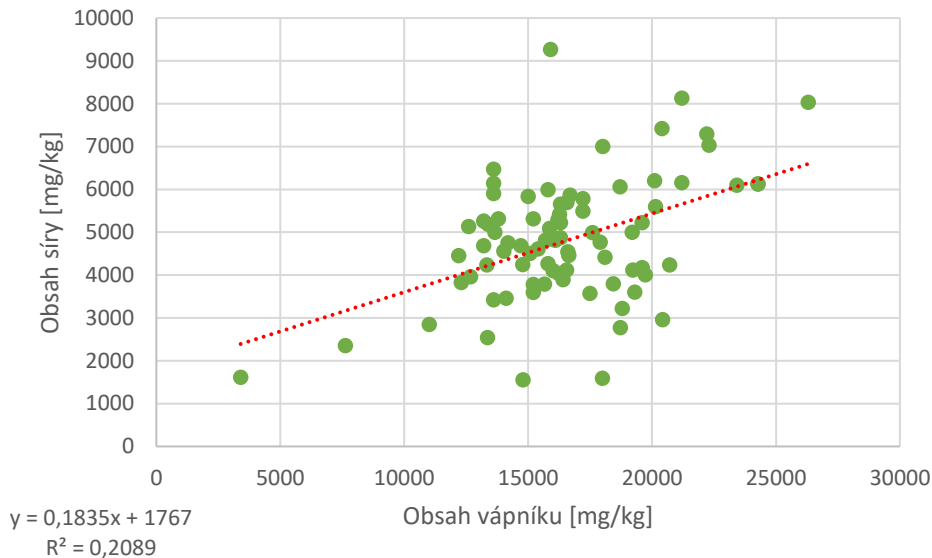
Graf 7 Závislost obsahu fosforu na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při druhých odběrech.

V grafu 8 můžeme vidět závislost obsahu draslíku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během druhých odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,248$.



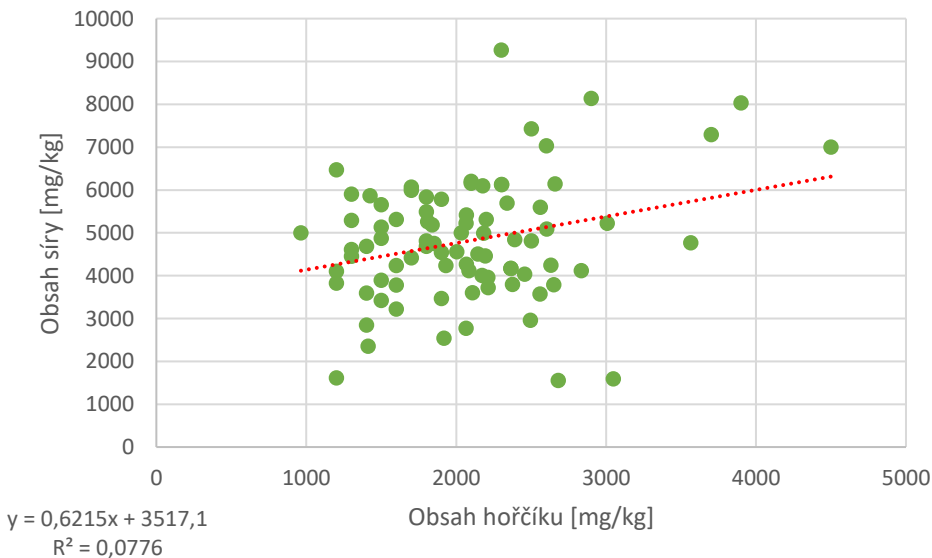
Graf 8 Závislost obsahu draslíku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při druhých odběrech.

V grafu 9 můžeme vidět závislost obsahu vápníku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během druhých odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je střední, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,457$.



Graf 9 Závislost obsahu vápníku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při druhých odběrech.

V grafu 10 můžeme vidět závislost obsahu hořčíku na obsahu síry v rostlinné nadzemní biomase ozimé řepky během druhých odběrů vzorků. Je zde patrná rostoucí lineární funkce. Korelace je slabá, protože výsledek korelačního koeficientu je $r = 0,279$.



Graf 10 Závislost obsahu hořčíku na obsahu síry v rostlinné biomase ozimé řepky při druhých odběrech.

6 Diskuze

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu výše obsahu síry v nadzemní biomase rostlin ozimé řepky na výši obsahu ostatních makroprvků. Korelační závislost byla sledována z jednotlivých odebraných vzorků, které byly odebírány z polních provozů v letech 2015 až 2020. Hodnoty byly zpracovány do bodových grafů a dále byla použita lineární prognóza jako spojnice trendu grafu.

Získané výsledky analýz odebíraných vzorků byly porovnány s referencí v dostupné literatuře v následující tabulce 2.

Tabulka 2 Porovnání průměrných analyzovaných hodnot odebraných vzorků s literaturou.

Hodnocený prvek	Průměrné hodnoty při 1. odběru	Průměrné hodnoty při 2. odběru	Reference	Autor
N [%]	4,82	3,42	3,2	Orlovius 2003
			4,2	Richter et al. 2005
P [mg/kg]	6 036	4 634	4 000	Orlovius 2003
			3 000-5 000	Bolland 1997
K [mg/kg]	40 894	37 629	25 000	Orlovius 2003
			30 000	Richter et al. 2005
Ca [mg/kg]	17 291	16 622	4 000-15 000*	Vaněk et al. 2016
			16 000	Richter et al. 2005
Mg [mg/kg]	2 400	2 097	1 500	Richter et al. 2005
S [mg/kg]	5 666	4 808	5 500**	Matula 2007
			5 000	Orlovius 2003

*Obsah Ca v rostlinách závisí na fázi a druhu rostliny.

**Kritická hodnota 3 500-3 000 mg S/kg (Matula 2007 et Ryant 2020 et Haneklaus et al. 2008).

Průměrné hodnoty obsahu síry v rostlině při prvních odběrech činily 5 666 mg S/kg sušiny a při druhých odběrech byla tato hodnota 4 808 mg S/kg sušiny. Při srovnání těchto výsledků s hodnotami, které uvádí dostupná literatura, lze říci, že při prvních odběrech byla hodnota síry adekvátní. Matula (2007) uvádí, že průměrný obsah síry v rostlině je 5 500 mg S/kg a Orlovius (2003) uvádí 5 000 mg S/kg. Tyto hodnoty jsou tedy vyšší než hodnoty při druhých odběrech a to znamená, že obsah síry v rostlině je nižší než v uvedených zdrojích. Jako velmi kritickou hodnotu obsahu síry v rostlině uvádějí Matula (2007), Ryant (2020) a Haneklaus et al. (2008) 3 000-3 500 mg S/kg sušiny.

Při prvních odběrech se pod hodnotu 3 500 mg S/kg sušiny dostalo 7 vzorků, přičemž nejnižší hodnota byla 2 028 mg S/kg sušiny. Při druhých odběrech se pod kritickou hodnotu 3 500 mg S/kg dostalo 9 vzorků a nejnižší hodnota byla 1 550 mg S/kg sušiny. Nad průměrnou hodnotu 5 000 mg S/kg sušiny se při prvních odběrech dostalo 42 vzorků a při druhých 33

vzorků. Nejvyšší hodnota při prvních odběrech byla 8 040 mg S/kg sušiny a při druhých odběrech 9 260 mg S/kg sušiny.

Na základě výsledků, které byly popsány v minulé kapitole lze konstatovat, že u vzorků odebraných pro analýzu obsahu **dusíku** při prvních odběrech byla zjištěna slabá korelace a při druhých odběrech střední korelace mezi těmito prvky. Studie Abdallah et al. (2010) uvádí, že krátkodobý nedostatek síry nemá vliv na obsah a příjem dusíku rostlinami ozimé řepky. Práce Fismes et al. (2000) prokázala, že vztah mezi sírou a dusíkem je synergistický, ale při nadměrném obsahu jednoho z prvků je vztah antagonistický. Dle McGrath & Zhao (1996) aplikací 40 kg S/ha a 180-230 kg N/ha lze dosáhnout zvýšeného výnosu semen při pěstování ozimé řepky. Avšak při aplikaci stejné dávky dusíku bez hnojení sírou výnosy výrazně klesají. Vyšší dávky síry dále vedou i ke zvýšení obsahu amoniakálního dusíku v půdě, a to zvláště ve svrchních vrstvách. Nebyly zaznamenány žádné výraznější korelace mezi formou a dávkou podávané síry a jejich vlivem na koncentraci nitrátů. Nicméně byl popsán nárůst obsahu dusičnanového dusíku při hnojení kombinací prvků NPK + S oproti klasickému hnojení NPK (zvláště byla-li síra aplikována v čisté formě) (Skwierawska et al. 2008). Při srovnání získaných výsledků s literaturou byl obsah dusíku v rostlině vyhovující. Orlovius (2003) uvádí hodnotu 3,2 % a Richter et al. (2005) 4,2 %. Při našich analýzách byly hodnoty 4,82 % při prvních odběrech a 3,42 % při druhých odběrech.

Při vyhodnocování obsahu **fosforu** ve vzorcích byla při prvních odběrech zjištěna velmi slabá a při druhých odběrech slabá korelace. V našich výsledcích nebyl zjištěn vztah mezi sírou a fosforem navzdory výsledkům Allahham et al. (2020) který uvádí, že mezi příjmem síry a fosforu rostlinou existuje jistá korelace. V naší studii nebyla tato korelace zaznamenána. Obecně byl obsah fosforu dostačující, a to při prvních odběrech 6 036 mg P/kg sušiny a při druhých 4 634 mg P/kg sušiny, v porovnání s literaturou jsou tyto hodnoty vyšší než reference (Orlovius (2003) 4 000 mg P/kg sušiny a Bolland (1997) 3 000-5 000 mg P/kg sušiny).

Obsah **draslíku** ve vzorcích získaných při prvních odběrech vykazoval ve vztahu k obsahu síry velmi slabou korelaci a při druhých odběrech slabou korelaci. Nebyla zde tedy prokázána korelace. Ve studii provedené Reich et al. (2016), která zkoumala interakce síry a jiných živin v rostlině je uvedeno, že obsah draslíku klesá s klesajícím obsahem síry v nadzemní biomase rostliny, a tudíž je možné tento vztah popsat jako synergistický s pozitivní korelací. Srovnáním našich průměrných výsledků analýz, které při prvních odběrech činily 40 894 mg K/kg sušiny a při druhých odběrech 37 629 mg K/kg sušiny lze říci, že v porovnání s Orlovius (2003), který optimální hodnoty uvádí jako 25 000 mg K/kg sušiny, a Richter et al. (2005), který uvádí 30 000 mg S/kg sušiny, dosahují naše výsledky nadprůměrných hodnot.

Zjištěná hladina **vápníku** ve vzorcích odebraných při prvních odběrech prokázala slabou korelaci s obsahem síry a při druhých odběrech střední korelaci. Byla tedy prokázána jistá korelace mezi vápníkem a sírou. Ve studii, kterou provedli Aulakh & Dev (1978), byla zaznamenána pozitivní interakce mezi vápníkem a sírou. Při porovnání našich výsledků, které při prvních odběrech představovaly obsah 17 291 mg Ca/kg sušiny a při druhých odběrech 16 622 mg Ca/kg sušiny s údaji Richter et al. (2005), který udává 16 000 mg S/kg sušiny, jsou naše výsledky odpovídající.

Analýzou vzorků odebraných pro zjištění korelace **hořčíku** a síry byla při prvních odběrech zjištěna velmi slabá korelace a při druhém odběru slabá korelace. Black (2019) uvádí, že aplikace síry zvyšuje hladinu hořčíku v rostlinné nadzemní biomase. Ale při vysokých

hladinách fosforu v půdě obsah hořčíku v rostlině klesal i přes jeho vysoké zastoupení v půdě. Podle Garcia (2022) může být příjem hořčíku ovlivněn také zinkem a manganem, které svým vysokým obsahem v půdě ovlivňují příjem hořčíku rostlinou. Richter et al. (2005) uvádí, že obsah hořčíku v sušině rostliny je 1 500 mg S/kg. Naše výsledky se při prvních odběrech pohybovaly kolem 2 400 mg Mg/kg sušiny a při druhých odběrech 2 097 mg Mg/kg, hodnoty jsou tedy nadprůměrné.

Studie provedená Reich et al. (2016) uvádí, že interakce síry v nadzemní biomase rostlin nemá zásadní vliv na příjem ostatních živin, ale spíše zde byl zaznamenán efekt zhoršení růstu a změny obsahu sušiny při nedostatku síry. Ve studii provedené Szczepaniak et al. (2017) nejvyšší výnos oleje přinesla řepka hnojená kombinací prvků N, P, K, Mg, S. Skwierawska et al. (2016) uvádí, že při použití síry jako hnojiva se v rostlinné biomase zvýšil celkový obsah fosforu a poklesl obsah draslíku, vápníku a hořčíku. V naší studii se potvrdila pouze jistá korelace mezi hladinami síry a dusíku či vápníku v rostlině. Mezi hladinou síry a obsahem fosforu, draslíku a hořčíku v rostlině nebyla zaznamenána žádná korelace. Možným důvodem odlišných výsledků je fakt, že uvedená studie hodnotila hladiny těchto prvků v biomase rostlin kapusty, jejíž fyziologie a metabolismus minerálů může být mírně odlišný než v případě ozimé řepky.

7 Závěr

V průběhu analýzy byla ve vzorcích mezi obsahem síry a dusíku zaznamenána slabá a střední korelace. Lze tedy potvrdit původní hypotézu, že při zvýšeném obsahu síry je pozorován i zvýšený obsah dusíku.

Další analyzované vzorky vykazovaly rovněž mezi obsahem síry a fosforu velmi slabou a slabou korelaci. Původní hypotéza, že při zvýšení obsahu síry je pozorován i zvýšený obsah fosforu, se nepotvrdila.

Podobný výsledek byl zaznamenán i při rozborech hodnotících vztah obsahu síry a draslíku. Analýzou vzorků, vyhodnocujících závislost mezi obsahem síry a draslíku, jsme zaznamenali velmi slabou a slabou korelaci. Původní hypotéza, že při zvýšení obsahu síry je pozorován snížený obsah draslíku, se nepotvrdila.

Analýza vzorků, hodnotící závislost mezi obsahem síry a vápníku, zaznamenala slabou a střední korelaci. Původní hypotéza, že při zvýšení obsahu síry je pozorován snížený obsah vápníku, se nepotvrdila.

Při analýzách výsledků rozborů vzorků z hlediska obsahu síry a hořčíku byla zaznamenána velmi slabá a slabá korelace. Je tedy možné konstatovat, že původní hypotéza, která tvrdila, že při zvýšení hladiny síry je pozorován i zvýšený obsah hořčíku, se nepotvrdila.

8 Literatura

Abdallah M, Dubousset L, Meuriot F, Etienne P, Avice J C, Ourry A. 2010. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus*. *Journal of Experimental Botany* **61(10)**:2635-2646.

Abdin M Z, Ahmad A, Khan N, Khan I, Jamal A, Iqbal M. 2003. Springer. Dordrecht. Available from https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8_20 (accessed February 2022).

Ahmad G, Jan A, Arif M, Jan M T, Khattak R A. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola under raised conditions. *Journal of Zhejiang University Science* **8(10)**:731-737.

Allahham A, Kanno S, Zhang L, Maruyama-Nakashita A. 2020. Sulfur deficiency increases phosphate accumulation uptake, and transport. *International Journal of Molecular Sciences* **21(8)**:2971.

Aulakh M S, Dev G. 1978. Interaction effect of calcium and sulphur on the growth and nutrient composition of alfalfa. *Plant and Soil* **50**:125-134.

Baranyk P et al. 2005. Řepka olejka v českém zemědělství. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. Praha.

Baranyk P et al. 2007. Řepka-pěstování-využití-ekonomika. Profi Press, s. r. o., Praha.

Baranyk P et al. 2010. Olejniny. Profi Press, s. r. o., Praha.

Barker A V. 2019. Superphosphate. Available from <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/superphosphate> (accessed March 2022).

Beaton J D. 1966. Sulfur requirements of cereals, tree fruits, vegetables, and other crops. *Soil Science* **101**:267-282.

Bečka D, Vašák J, Zukalová H, Mikšík V. 2007. Řepka ozimá pěstitelský rádce. Pro Katedru rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze vydalo vydavatelství Kurent, s.r.o., České Budějovice.

Bernardová M. 2020. Agromanual.cz. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/repka-ozima-slozitost-pestovani-aneb-repka-za-politiky-nemuze> (accessed November 2021).

Black B. 2019. Interaction between the secondary nutrients:calcium, magnesium and sulfur. Available from <https://omexcanada.com/blog/interaction-between-secondary-nutrients-calcium-magnesium-sulfur> (accessed February 2022).

Bolland M D A. 1997. Comparative phosphorus requirement of anola and wheat. *Journal of Plant Nutrition* **20**:813-829.

Brosnan J, Brosnan M. 2006. The sulfur-containing amino acids:an overview. *The Journal of Nutrition* **136(6)**:1636S-1640S.

Canola Council of Canada. 2016. Need to know:Sulphur. Canola Council of Canada. Available from <https://www.canolacouncil.org/canola-watch/2016/04/12/need-to-know-sulphur-s/> (accessed March 2022).

Canola Council of Canada. 2021. Canola Encyclopedia. Canola Council of Canada. Available from <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/fertility/sulphur/#nitrogen-sulphur-ratio> (accessed January 2022).

Canola Council of Canada. 2021. Canola Encyclopedia. Canola Council of Canada. Available from <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/fertility/sulphur/#product-choices> (accessed February 2022).

Castellano S D, Dick R P. 1991. Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soil. *Soil Science Society of America Journal* **54**:114-121.

Ceccotti S P, Morris R J, Messick D L. 1998. A global overview of the sulphur situation:Industry's background, market trends, and commercial aspects of sulphur fertilizers. Available from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-5100-9_6#citeas (accessed February 2022).

Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O, Javor T. 2018. Hnojení ozimé řepky na jaře je důležité, ale také celkem složité. *Agromanual.cz* Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-ozime-repky-na-jare-je-dulezite-ale-take-celkem-slozite> (Accessed March 2022).

Černý J, Kulhánek M, Sedlář O, Balík J, Javor T, Suran P. 2020. Vhodná dávka síry a termín aplikace při jarním hnojení ozimé pšenice. *Agromanual.cz* Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vhodna-davka-siry-a-termin-aplikace-pri-jarnim-hnojeni-ozime-psenice> (Accessed March 2022).

Česká společnost rostlinolékařská. 2013. Metodická příručka integrované ochrany rostlin proti chorobám, škůdcům a plevelům. *Polní plodiny*. Česká společnost rostlinolékařská, Praha.

Český statistický úřad. 2021. www.czso.cz. Available from https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02C&z=G&f=GRAFICKY_OBJEKT&skupId=346&katalog=30840&pvo=ZEM02C&ds=ds562#w= (accessed November 2021).

ČEZ Energetické produkty. 2009. Energosádrovec. ČEZ Energetické produkty, s.r.o. Available from <http://1z-e3xh.257.cz/energosadrovec.html?id=124> (Accessed March 2022).

Dash N R, Ghosh G K. 2012. Efficacy of gypsum and magnesium sulfate as sources of sulfur to rapeseed in lateritic soils. *Journal of Plant Nutrition* **3514(14)**:2156-2166.

Duchoň F. 1948. *Výživa a hnojení kulturních rostlin zemědělských*. ČAZ, Praha.

Eaton S V. 1942. Influence of sulphur deficiency on metabolism of black mustard. *Applied Science Publishers* **104(2)**:21.

Eriksen J, Murphy M D, Schnug E. 1998. The soil sulphur cycle. Available from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-5100-9_2#citeas (accessed February 2022).

- Fábry A et al. 1992. Olejníny. Ministerstvo zemědělství ČR, Havlíčkův Brod.
- Fismes J, Vong P C, Guckert A, Frossard E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape grown on calcareous soil. *European Journal of Agronomy* **12(2)**:127-141.
- Garcia I. 2022. Interactions between nutrients. Cannagardening.com Available from https://www.cannagardening.com/interactions_between_nutrients (accessed April 2022).
- Ghosh G K, Chattopaddhyay S. 2012. Response of rapeseed to various sources and levels of sulphur in red and lateritic soils of West Bengal, India. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* **2(4)**:50-59.
- Habib L, Nasser R, Alloush G. 2018. Response of rapeseed and phosphorus fractionation in an alkaline soil amended with rock phosphate and elemental sulphur. *Journal of the Indian Society of Soil Science* **66(1)**:76.
- Haneklaus S, Bloem E, Schnug E. 2008. History of sulfur deficiency in crops. *Agronomy Monographs* **50(4)**:45-58.
- Jamal A, Monn Y, Abdin M Z. 2010. Sulphur – a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science* **4(7)**:523-529.
- Karamanos R E, Goh T B, Flaten D N. 2007. Nitrogen and sulphur fertilizer management for growing canola on sulphur sufficient soils. *Plant Sciences* **87**:201-210.
- Kawamura M, Moritani H, Esaki Y, Fujita K. 2008. The mechanism of synergism between sulfur and phosphorus – typy EP additives. *ASLE Transactions* **29(4)**:451-456.
- Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. Profí Press, s. r. o., Praha.
- Kowalenko C G. 2008. Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. *Canadian Journal of Soil Science* **88**:733-747.
- Kroutil P, Vašák J. 2007. Řepka ozimá a různé dávky síry. Pages 55-58 in Kolektiv autorů. Prosperující olejníny 2007. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Kulhánek M, Balík J, Černý J. 2011. Úloha síry v rostlinách a její potřeba pro rostliny. Pages 27-31 in Balík et al. editors. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Kulhánek M, Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Kumar V, Singh M. 1980. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions in relation to growth, uptake, and utilization of sulfur in soybean. *Soil Science* **129(5)**:297-304.
- Leggett J E, Epstein E. 1955. Kinetics of sulfate adsorption by barley roots. National Center for Biotechnology Information. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC540765/pdf/plntphys00374-0054.pdf> (accessed January 2022).

- Leustek T, Saito K. 1999. Sulfate transport and assimilation in plants. *Plant Physiology* **120**:637-643.
- Li Q, Gao Y, Yang A. 2020. Sulphur homeostasis in plants. *International Journal of Molecular Sciences* **21(23)**:8926.
- Mader P, Čurdová E. 1997. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. *Chemické Listy* **91**:227 – 236.
- Markvart M, Jirátová K, Matoušek P, Soukup M. 2001. Možnost využití produktů sanace chemické těžby uranu v zemědělství. Pages 84-88 in Balík et al editors. *Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Matula J. 2007. Výživa a hnojení sírou. Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- McGrath S P, Zhao F J. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape. *The Journal of Agricultural Science* **126(1)**:53-62.
- McNeill A M, Eriksen J, Bergström L, Smith K A, Marstorp H, Kirchmann H, Nilsson I. 2008. Nitrogen and sulphur management:challenges for organic sources in temperate agricultural systems. *Soil Use and Management* **21**:82-93.
- Mehlich A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant – A modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **15**:1409-1416.
- Mengel K, Kirkby E A. 2001. *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Orlovius K. 2003. Fertilizing for high yield and quality oilseed rape. International Potash Institute. Available from <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/No%2016%20Oilseed%20rape.pdf> (accessed January 2021).
- Patel P K, Kadivala V A H, Patel V N. 2019. Role of sulphur in oilseed crops:a review. *Journal of Plant Development Science* **11(3)**:109-114.
- Pavlíková D, Vaněk V, Pavlík M, Kolář L. 2011. Úloha síry v rostlinách a její potřeba pro rostliny. Pages 21-26 in Balík et al. editors. *Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Prokinová E. 2014. *Choroby polních plodin*. Profi Press, s. r. o., Praha.
- Rashmi I, Mina B L, Kumar K, Shakir A, Kumar A, Kala S, Singh R K. 2018. Gypsum-an inexpensive, effective sulphur source with multitude impact on oilseed production and soil quality:A review. *Agricultural Reviews* **39(3)**:218-225.
- Reich M, Shahbaz M, Prajapati D H, Parmar S, Hawkesford M J, De Kok L J. 2016. Interactions of sulfate with other nutrients as revealed by H₂S fumigation of chinese cabbage. *Frontiers in Plant Science* **7(541)**:1-8.

Rietra R P J J, Heinen M, Dimkpa C O, Bindraban P S. 2017. Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **48**:1895-1920.

Richter R et al. 2005. Řepka ozimá. Available from http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/olejniny/repka_ozima.htm (accessed April 2022).

Richter R. 2007. Síra v půdě. Available from http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_s.htm (accessed April 2022).

Ryant P. 2008. Specifika výživy rostlin v systému ekologického zemědělství. Available from https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/vr_v_uz.pdf (Accessed March 2022).

Ryant P. 2020. Síra v půdě a její význam ve výživě rostlin a lidí. Česká technologická platforma pro zemědělství. Available from <https://www.ctpz.cz/vyzkum/sira-v-pude-a-jeji-vyznam-ve-vyzive-rostlin-a-lidi-1094> (accessed April 2022).

Sangar S. 2003. Oilseed and gypsum subsidy. *Economic and Political Weekly* **38(21)**:2020-2022.

Selgen 2022. Řepka ozimá – doporučená agrotechnika. Selgen. Available from <https://selgen.cz/agrotechnicka-doporuceni/repka-ozima-agt/> (accessed April 2022).

Scherer P. 2018. Řepka olejka. *Myslivosť* **3**:32.

Schnug E, Haneklaus S, Murphy D. 1993. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. *Institute of Plant Nutrition and Soil Science* **17**:8-12.

Singh R, Parihar P, Prasad S. 2018. Sulfur and calcium simultaneously regulate photosynthetic performance and nitrogen metabolism status in as – challenged *Brassica juncea*. *Frontiers Plant Science* **9**:772.

Skwierawska M, Benedycka Z, Jankowski K, Skwierawski A. 2016. Sulphur as a fertiliser component determinig crop yield and quality. *Journal of Elementology* **21**:609-623.

Skwierawska M, Zawartka L, Zawadzki B. 2008. The effect of different rates and forms of sulphur applied on changes of soil agrochemical properties. *Plant, Soil and Environment* **54(4)**:171-177.

Suman J, Dwivedi B S, Dwivedi A K, Pandey S K. 2018. Interaction effect of phosphorus and sulphur on yield and quality of soybean in a vertisol. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **7(3)**:152-158.

Szczepaniak W, Grzebisz W, Barłóg P, Przygocka-cyna K. 2017. Mineral composition of winter oilseed rape seeds as a tool for oil yield prognosis. *Journal of Central European Agriculture* **18(1)**:196-213.

Šimek M et al. 2019. Živá půda. Ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, Praha.

Tabatabai M A. 1984. Importance of sulphur in crop production. *Biogeochemistry* **1**:45-62.

The Potash Development Association. 2011. Balanced nutrition shown by nitrogen:sulphur ratios. Potash Development Association. Available from <https://www.pda.org.uk/wp/wp-content/uploads/2015/11/PDA-news2011-11.pdf> (accessed December 2021).

The Sulphur Institute. 2022. Sulphur Fertilizer Types. The Sulphur Institute. Available from <https://www.sulphurinstitute.org/about-sulphur/sulphur-the-fourth-major-plant-nutrient/sulphur-fertilizer-types/fertilizers-containing-sulphate/> (accessed February 2022).

Tlustoš P, Pavlíková D, Vaněk V, Habrat J. 2011. Síra v životním prostředí. Pages 15-20 in Balík et al. editors. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, s. r. o., Praha.

Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, s. r. o., Praha.

Vašák J, Bečka D, Röhl W, Béréš J, Mikšík V. 2016. Vývoj pěstitelských technologií řepky ozimé. Pages 1-5 in Prosperující plodiny. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.

Zbiral J, Čižmárová E, Obdržálková E, Rychlý M, Vilamová V, Srnková J, Žalmanová A. 2016. Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Národní referenční laboratoř, Brno.

Zelený F, Zelená E. 1999. Změna v bilanci síry v rostlinné výrobě České republiky. *Úroda* **3**:23-25.

Zhao F J, Bilsborrow P E, Evans E J, McGrath S P. 1997. Nitrogen to sulphur ratio in rapeseed and in rapeseed protein and its use in diagnosing sulphur deficiency. *Journal of Plant Nutrition* **20**:4-5; 549-558.