

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Využití vyluhovacího činidla Mehlich 3 k hodnocení
obsahu síry v půdě přijatelné ozimou řepkou**

Bakalářská práce

Autor: Daniel Klíma

Obor studia: Rostlinná produkce

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

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití vyluhovacího činidla Mehlich 3 k hodnocení obsahu síry v půdě přijatelné ozimou řepkou" 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 18. 04. 2019

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Ondřejovi Sedlářovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a za cenné rady, které mi v průběhu vypracovávání poskytl. Poděkování patří také Technologické agentuře České republiky, jelikož bakalářská práce byla vypracována za podpory projektu TJ01000454.

Využití vyluhovacího činidla Mehlich 3 k hodnocení obsahu síry v půdě přijatelné ozimou řepkou

Souhrn

Ozimá řepka (*Brassica napus L. var. napus*) je nejpěstovanější olejninou v České republice s výměrou 393 tis. ha z celkové osevní plochy 2 461 tis. ha. Jde o velice důležitou plodinu i z ekonomického hlediska. Lze ji pěstovat ve všech výrobních oblastech, zejména v bramborářské a řepařské oblasti, s výjimkou ekonomicky méně vhodných oblastí jako je Povoltaví, Polabí, úvaly moravských řek, oblasti krušnohorského dešťového stínu a v lokalitách kukuřičné výrobní oblasti.

Síra je jedním z makroprvků, který je pro řepku důležitý z hlediska výnosu semene. Primárním ukazatelem kvality je olejnatost sklizeného semene. Ale také obsah síry má vliv na obsažené glukosinoláty, které pomáhají při obraně proti škůdcům a patogenům. Proto je důležité od doby, kdy poklesly emise oxidů síry do atmosféry, dbát i na hnojení sírou.

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu vyluhovacího činidla Mehlich 3 k hodnocení obsahu síry v půdě přijatelného ozimou řepkou. Vzorky půd a rostlinného materiálu byly odebrány z jedenácti okresů v České republice. Pro vyhodnocení byly odebrány vzorky nadzemní biomasy ve dvou vývojových fázích: začátek prodlužovacího růstu (BBCH 30) a na začátku kvetení řepky (BBCH 61), současně byl odebrán vzorek půdy z hloubky 30 cm.

Z výsledků bylo posouzeno, že nejlepší vliv na použití extrakčního činidla Mehlich 3 bylo jeho použití na nealkalických půdách. Z důvodů, že obsah síry v rostlině z obou odběrů, ale i k poměru N/S v porovnání s půdní sírou činidlem Mehlich 3 nejsilněji a vyrovnaně koreluje. U druhé hypotézy se předpokládalo, že poměr N/S v nadzemní biomase je výhodnější parametr hodnocení výživného stavu ozimé řepky sírou než obsah síry v nadzemní biomase. To bylo potvrzeno pouze při využití stanovení přijatelné půdní síry vodným výluhem.

Klíčová slova: dusík, hnojení sírou, Mehlich 3, ozimá řepka, síra

Use of the Mehlich 3 Extractant for Evaluating Soil Sulphur Content Available for Winter Rape

Summary

Winter rape (*Brassica napus L. var. Napus*) is the most grown oil plant in the Czech Republic with an area of 393 thousand. ha from the total sowing area of 2 461 thous. ha. It is a very important agronomic crop, and in recent years it has also been considered an important crop from the economic point of view. It can be grown in all production areas, especially in the potato and beet regions, with the exception of economically less suitable areas such as Povoltaví, Polabí, valleys of Moravian rivers, the areas of the rain shadow of Krušné Hory and the corn production areas.

Sulfur is one of the macroelements that is important for rape seed yield. The primary indicator of the quality is the oiliness of the harvested seed. However, the sulfur content also affects the glucosinolates contained in it, which help to protect against pests and pathogens. Therefore, sulfur fertilization has been important since sulfur oxide emissions have fallen into the atmosphere.

The aim of this thesis was to assess the influence of Mehlich 3 leaching agent on the evaluation of sulfur content in soil acceptable by winter rape. The samples of soil and plant material were taken from eleven districts in the Czech Republic. Above-ground biomass samples were taken for evaluation in two developmental phases: at the start of extension growth (BBCH 30) and at the beginning of flowering of rapeseed (BBCH 61), and at the same time, a soil sample was taken from the soil in the depth of 30 cm.

It was assessed from the results that the best effect on the use of Mehlich 3 extractant was its use on non-alkaline soils. It is because the sulfur content of the plant from both sampling and N/S ratio is the strongest and evenly correlated with the Mehlich 3 reagent. In the second hypothesis, it was assumed that the N/S ratio in the above-ground biomass is a more favorable parameter for assessing the winter rape nutrient status than the sulfur level in the above-ground biomass. This was confirmed only when using the aqueous sulfur infusion.

Keywords: nitrogen, sulfur fertilization, Mehlich 3, winter rape, sulfur

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce.....	10
2.1	Hypotézy	10
3	Literární rešerše.....	11
3.1	Charakteristika ozimé řepky.....	11
3.2	Hnojení řepky sírou.....	14
3.3	Hnojiva s obsahem síry	17
3.4	Síra v půdě a rostlinách	19
3.5	Mehlich 3.....	22
4	Metodika.....	23
5	Výsledky	24
5.1	Sledovaná korelace na všech půdách.....	24
5.2	Sledovaná korelace na alkalických půdách.....	28
5.3	Sledovaná korelace na nealkalických půdách.....	32
6	Diskuze.....	36
7	Závěr	39
8	Literatura.....	40

1 Úvod

Řepkou ozimou se zabýváme z důvodu, že se jedná o velice významnou ekonomickou zemědělskou komoditu posledních let, která z tržního hlediska patří k jedné z nejdůležitějších plodin pro české zemědělce. Uplatnění má nejen v potravinářství a krmivářství, ale slouží také jako zdroj obnovitelné energie. Přičemž i z hlediska agrotechnického má výborné vlastnosti, jelikož patří mezi zlepšující plodiny, které mají pozitivní vliv na strukturu půdy. Zemědělské podniky i soukromý zemědělci využívají řepku jako přerušovač obilných sledů, i z toho důvodu, že zlepšuje výnos semene. Díky těmto faktorům význam řepky vzrostl a vyšší zastoupení v osevních postupech, přičemž optimální rotace je dle Baranyka & Fábryho (2007) jednou za 6 až 7 let.

V minulosti nebyla věnována patřičná pozornost na hnojení řepky sírou, jelikož doplňování síry probíhalo pomocí atmosférických depozic. Z následku odsiřování tepelných elektráren docházelo ke snížení emisí oxidu siřičitého, a to se začalo negativně projevovat na zemědělských plodinách. A z toho důvodu je stanovení obsahu síry, v porovnání s ostatními makroprvky, nová problematika.

V této bakalářské práci hodnotíme sílu korelace mezi jednotlivými vzorky řepky ozimé v porovnání s půdní sírou stanovenou v extrakčním činidle Mehlich 3 a ve vodném výluhu. A také byl zjišťován optimální obsah v půdě v závislosti optimálních hodnot v nadzemní částech ozimé řepky.

Odebrané vzorky jsme hodnotili na obsah síry ze začátku prodlužovacího růstu a na začátku kvetení s půdní sírou za použití výše zmíněném extrakčním činidle a ve vodném výluhu. Vzorky byly porovnávány i ke vztahu hodnoty pH na alkalických, nealkalických a na všech půdách.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je ověřit možnost uplatnění extrakčního činidla Mehlich 3 pro hodnocení obsahu síry v půdě dostupné ozimé řepce a definovat její optimální obsah v půdě za použití tohoto činidla.

2.1 Hypotézy

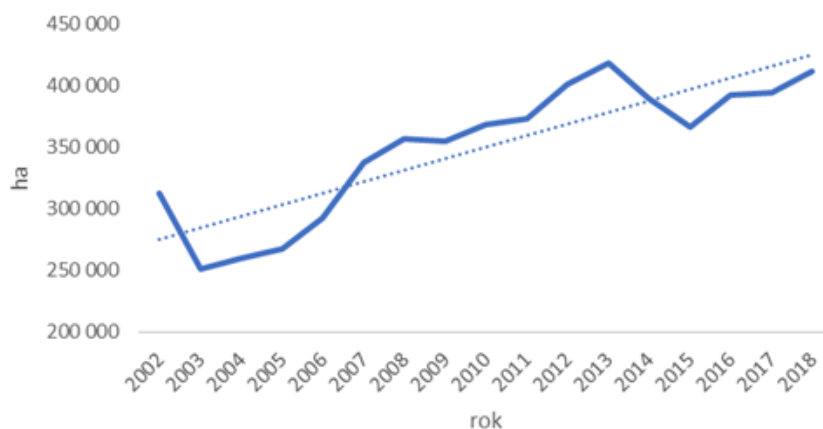
- Výluh Mehlich 3 je spolehlivá metoda pro stanovení přijatelného obsahu síry při pěstování ozimé řepky.
- Poměr N/S v nadzemní biomase je výhodnější parametr hodnocení výživného stavu ozimé řepky sírou než obsah síry v nadzemní biomase.

3 Literární rešerše

3.1 Charakteristika ozimé řepky

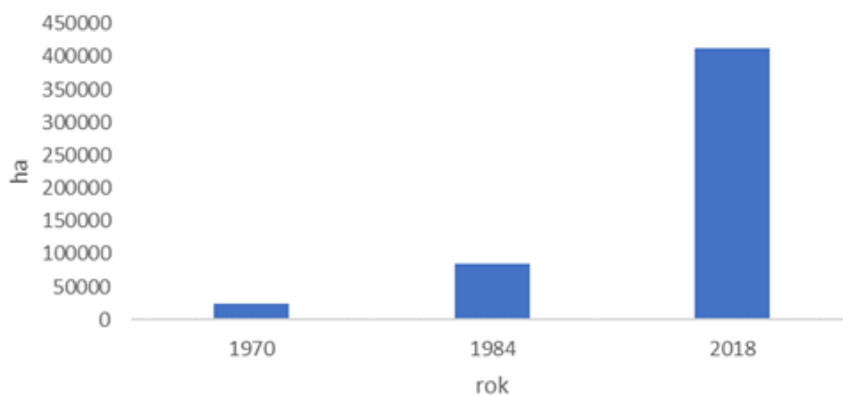
Řepka olejná (*Brassica napus L. var. napus*) je druhou nejvýznamnější pěstovanou olejninou ve světě (Baranyk & Fábry et al. 2007). Jak vyplývá z grafu 1. v České republice patří řepka mezi nejrozšířenější olejninu s výměrou 393 tis. ha z celkové sklizňové plochy olejnin 470,2 tis. ha (Liška 2018). Z tržního hlediska patří k jedné z nejdůležitějších plodin, jelikož semeno řepky je na trhu velmi cenou a žádanou komoditou. Mimo jiné velmi výrazně přispívá k vytvoření kladného ekonomického výsledku a má stabilizační funkci zemědělského podniku (Baranyk & Fábry et al. 2007).

Graf. č. 1: Vývoj osevních ploch řepky v České republice (Český statistický úřad 2018)



Pěstební areál řepky zasahuje do celé oblasti mírného pásma a částečně i do subtropického (Baranyk et al. 2010). Lze ji úspěšně pěstovat v nížinách až do nadmořských výšek cca 700 m. Ve větší míře se začala pěstovat od 19. století a k nárůstu ploch v Evropě dochází po roce 1970, kdy do praxe nastupují „0“ odrůdy řepky s minimálním obsahem kyseliny erukové (Bečka 2007). Jak můžeme pozorovat v grafu 2., tak v roce 1984 se zvýšilo zastoupení řepky v osevním postupu, a to díky tomu, že se na území dnešní České republiky začala pěstovat odrůda „00“ nižším obsahem kyseliny erukové, než „0“ odrůdy, maximálně 2 %, s velmi sníženým obsahem glukosinolátů (Malina 2013).

Graf. č. 2: Porovnání osevní plochy řepky v letech 1970, 1984 a 2018 na území České republiky (Český statistický úřad 2018)



Glukosinoláty jsou rostlinné metabolity bohaté na síru, které pomáhají při obraně proti škůdcům a patogenům (Falk et al. 2007). Síra obsažená v glukosinolátech odpovídá 1 až 2 % z celkového množství síry v rostlině, ale obsah glukosinolátů závisí na odrůdě (Ryant & Hřivna 2011). Na obsahu glukosinolátů mají vliv i faktory prostředí a prokazatelný vliv má hnojení sírou. Hnojení sírou vede ke zvýšení obsahu glukosinolátů na lokalitách deficitní sírou než na pozemcích, které jsou sírou dobře zásobeny (Ryant & Hřivna 2011). Glukosinoláty u koncových uživatelů jsou považovány za antinutriční látky (Matula 2007), ale také patří mezi látky zabraňující rakovině a biologické fumiganty (Falk et al. 2007).

Primárním kvalitativním ukazatelem sklizeného semene je jeho olejnatost, která je pomocí síry zvýšena (Ryant & Hřivna 2011). Ahmad et al. (2007) popisuje, že obsah oleje byl podstatně vyšší při zvyšující koncentraci síry do 20 kg/ha a vyšší dávka neměla významný vliv na obsah oleje v řepce. Naopak Subhani et al. (2003) uvádí, že obsah oleje je úměrný k síře, která je pro rostliny k dispozici. Rehman et al. (2013); Ahmad et al. (2011); Malarz et al. (2011) uvádějí, že nejpříznivější dávka síry pro zvýšení obsahu oleje je 40 kg S/ha resp. 60 kg S/ha, ale Walker a Booth (2003) tvrdí, že obsah oleje není závislý na obsahu síry. To bylo potvrzeno v experimentu Varényiová et al. (2017), která pozorovala určitý nárůst olejnatosti, ale statisticky významný rozdíl nebyl pozorován (Varényiová et al. 2017). Zvyšování olejnatosti je spojováno s nárůstem acetyl-CoA karboxylázy, jejíž syntézu síra podporuje (Fazli et al. 2005). Obsah tuku může být snižován při vyšších dávkách dusíku, což může být dostatečným příjmem síry eliminováno (Richter & Hřivna 2001). Z důvodu zlepšení kvality odrůd je řepkový olej schopný konkurovat svou kvalitou v porovnání s olejem slunečnicovým, olivovým anebo i palmovým.

Dvounulové odrůdy také otevřeli cestu k využití řepky ke krmivářským účelům (Baranyk & Fábry et al. 2007).

V České republice se řepka rozšířila do většiny pěstebních oblastí, zejména je soustředěná v bramborářské a řepařské výrobní oblasti. Z agronomického a ekonomického hlediska se považuje za méně vhodné pěstovat řepku v oblasti krušnohorského dešťového stínu, úvaly moravských řek, Polabí, dolní Povltaví a veškeré další lokality v kukuřičné výrobní oblasti (Bečka et al. 2007).

Řepka je vynikající předplodina a zanechává pole v dobrém kulturním stavu, to je dáno vysokou dodávkou organické hmoty. Také patří mezi žádané přerušovače obilných sledů (Vašák et al. 2000). Vysoké zastoupení řepky v osevním postupu jako předplodiny je vítáno, ale z jejího vysokého zastoupení v osevním postupu vznikají fytopatologické problémy. K infekci dochází přes půdní prostředí – hlízenka (*Sclerotinia*) a vřetenatka (*Verticilium*), tak i z okolních honů, jelikož často sousedí nové porosty se starými řepkovišti, čímž dochází k migraci škůdců a náletu spor původců chorob (Baranyk et al. 2010).

Dalším problémem s růstem podílu v osevních postupech se z řepky stává významná zaplevující plodina. V půdě si semena uchovávají dlouhou klíčivost až 21 let, a proto se doporučuje při první vlně klíčení řepky pole po sklizni nepodmítat, ale před výsevem následující plodiny zaorat kolem poloviny září. Následující vlnu vyklíčených rostlin zničí mraz nebo jarní příprava půdy (Bečka et al. 2007).

Ve spotřebě živin se řepka řadí mezi vysoce náročné plodiny. Dle Bečka et al. (2007) asi 2 až 3krát náročnější než obilniny. Pro výnos 4 t semene odebere nadzemní biomasou z jednoho hektaru toto množství živin: 208–236 kg dusíku (N), 160–200 kg draslíku (K), 120–152 kg vápníku (Ca), 44–72 kg fosforu (P), 16–24 kg hořčíku (Mg) a 48–64 kg síry (S). Značný podíl odebraných živin a jejich návratnost opadem listů a zaorávkou řepkové slámy do půdy je uvedena v tabulce 1.

Tab. č. 1: Návratnost živin do půdy posklizňovými zbytky včetně odpadů listů v průběhu celé vegetace (za předpokladu, že je z pole odvezen jen výnos semene).

Živina	N	P	K	Ca	Mg	S
% návratnost	30–45	20–45	75–88	83–88	45–55	70–78

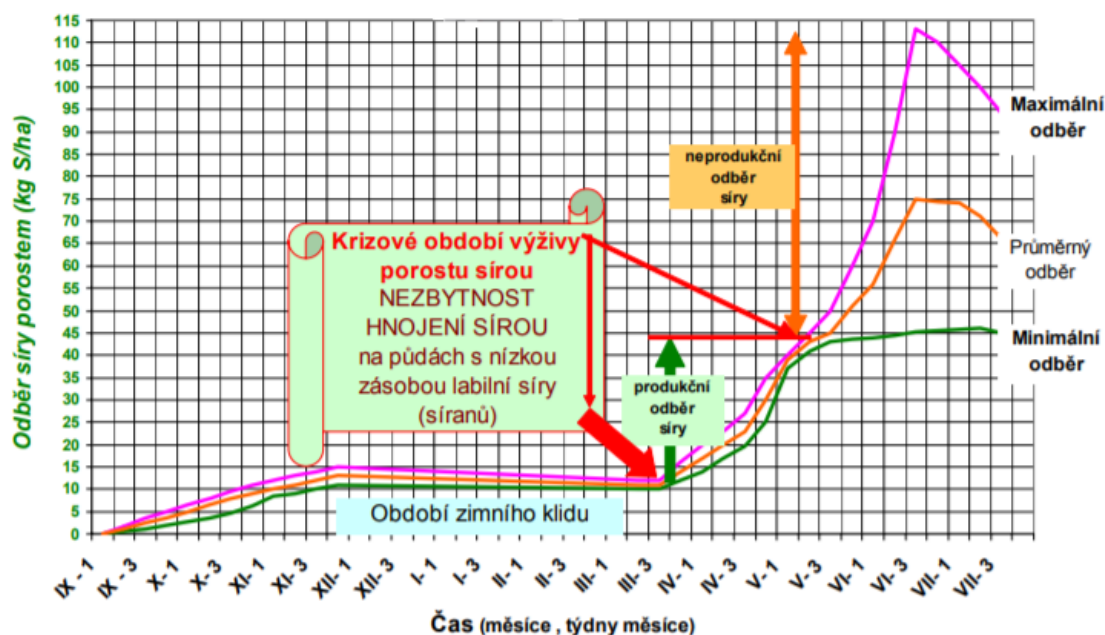
Vzhledem k tomu, že řepka navrácí značné množství organické hmoty zpět do půdy, tak patří mezi plodiny přispívajícím ke kladné bilanci organické hmoty. Dle Vašák et al. (2000) se do půdy dostane 10–15 t sušiny z listů, kořenů, slámy a z výdrolu dalších 10–20 t zelené biomasy s 10–15 % sušiny. Tato hmota nahrazuje 40–60 t hnoje (Baranyk & Fábry et al. 2007).

3.2 Hnojení řepky sírou

Řepka patří mezi plodiny, které jsou na výživu sírou náročné, ale na druhé straně má schopnost uvolňovat síru z méně přístupných forem v půdě. Enzymatická aktivita arylsulfatázy mobilizuje síru i z organických sloučenin. A vzhledem k vylučování H^+ iontu dokáže řepka rozpouštět i chemicky sorbovanou síru (Fábry & Baranyk et al. 2007).

Řepka potřebuje k zajištění dobrého výnosu semene odebrat z porostu během vegetace 70–90 kg S/ha, přičemž největší nároky na hnojení sírou, které dle Matula (2007) můžeme pozorovat na výsledcích studia odběrových křivek síry na grafu 3, jsou v prvním měsíci jarního růstu. V této době potřebuje řepka přijmout přibližně 30–40 kg S/ha (Vašák et al. 2000). Fábry & Baranyk et al. (2007) doporučují k jarnímu hnojení síru v dávce 20–30 kg S/ha, které lze aplikovat společně s dusíkatým hnojivem.

Graf č. 3: Odběr síry porostem ozimé řepky během vegetace (Matula 2007)



Doplňování síranů z mineralizace organické hmoty na jaře je prakticky bezvýznamná (Vašák et al. 2000), jelikož hlavní podíl síry je v půdě vázán právě do organické hmoty (Kulhánek et al. 2011). Aplikace dusíkatých hnojiv ještě snižuje mobilizaci půdní síry a ve značném počtu zvyšuje imobilizaci síranů (Vašák et al. 2000).

Nedostatek síry a její deficit v půdě snižuje účinnost aplikovaného dusíku (Fismes et al. 2000). Tento dusík, který se nevyužije k tvorbě výnosu semen se stává nadměrnou ekologickou zátěží životního prostředí. Především vzniká riziko možnosti kontaminace vod nitráty (Matula 2007), ke kontaminaci vod může také vést nadměrné používání dusíkatých hnojiv (Balík et al. 2012).

Poměr N/S v nadzemní biomase je univerzálním kritériem diagnostiky rostlin méně závislé na fenofázi rostliny (Matula 2011). Na druhou stranu však, nízký poměr N/S může svědčit o dostatečném přísunu síry i přesto, že obsah N a S v půdě je nedostatečný. Naopak vysoký poměr N/S může být způsoben nadbytkem dusíku i přesto, že se v půdě nachází dostatečný obsah síry (Sumner 1978). Myšlenka diagnostiky vychází z toho, že hlavní funkcí síry je účast v plnohodnotných bílkovinách. Uvádí se, že na 36-34 atomů dusíku připadá v bílkovinách 1 atom síry. Otázkou tohoto diagnostického stavu je realizace, jelikož realizace v metabolizovaných produktech je analyticky náročná. Zjednodušení stanovení celkového obsahu N a S selhává z důvodu proměnlivého obsahu nemetabolizované síry v rostlinách v průběhu vegetace (Matula 2011).

Nedostatek síry se projevuje omezením syntézy bílkovin a dochází ke snížení aktivity enzymů – např. nitrátoreduktázy. Vizualní projev nedostatku je žloutnutí listů, redukci počtu a délky větví, velikost květů (Baranyk & Fábry et al. 2007) a jejich barvy, které můžeme pozorovat na Obr. 1 (Matula 2007).



Obr. č. 1: Porovnání květenství řepky bez a s příznaky deficitu síry (nalevo) (Matula 2007).

Zmíněné vizuální projevy nedostatku indikují hluboký stupeň disproporce, který těžko lze korigovat hnojením. V podstatě se jedná o cennou informaci, kterou můžeme využít při následném pěstování plodiny na daném pozemku. Také se mohou zaměnit se symptomy ostatních živin např. dusíku, proto nejlepší indikační plodinou deficitu síry je řepka (Matula 2007).

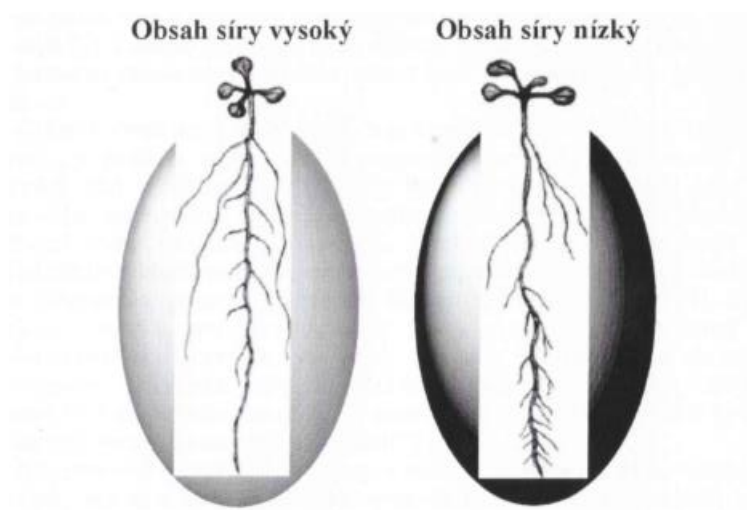


Obr. č. 2: Porost ozimé řepky v časném podzimu s příznaky deficitu síry, které jsou často zaměňovány s nedostatečnou výživou dusíkem (Matula



2007). Obr. č. 3: Symptomy S-deficitu před zimním klidem (Matula 2007).

Tvorba generativních orgánů a kvalita semen je také výrazněji postižena deficitem síry (Abrol & Ahmad 2003). V kořenech rostlin nedostatek vede ke zvýšené koncentraci auxinu a důsledkem toho se laterální kořeny tvoří blíže kořenové špičce a ve větší hustotě než u rostlin s dostatkem síry (viz. Obr. 4) (López-Bucio et al. 2003). Nedostatek vede k celkovému omezení růstu a zejména sníženému poměru kořenových výhonků (Varényiová et al. 2017).



Obr. č. 4: Vliv obsahu síry v půdě na tvorbu laterálních kořenů rostliny (López-Bucio et al. 2003).

Nedostatek síry je také dáván do souvislosti s vyšším výskytem chorob, především houbových, ale i škůdců. Opodstatnění to má z hlediska metabolismu rostlin a omezení tvorby specifických látek a obranného systému. Lze uvažovat i do jisté míry o zvýšeném infekčním tlaku některých chorob z důvodu sníženého obsahu SO₂ v ovzduší (Vaněk et al. 2016). Ačkoli hnojení sírou neposkytuje celkovou ochranu proti významným chorobám, významně snižuje jejich závažnost (Skwierawska 2016).

3.3 Hnojiva s obsahem síry

Problematika výživy plodin sírou je relativně nová v porovnání s ostatními živinami. Například cílené hnojení fosforem a dusíkem je prokazatelně doloženo už od 18. století a nástup průmyslové výroby těchto hnojiv nastal na přelomu 19. – 20. století. Z důvodu odsíření elektráren byly diagnostikovány první deficity síry později. V ČR začaly první pokusy s průmyslovou výrobou hnojiv s obsahem síry až po roce 2000 (Valenta 2011).

Hnojiva se sírou jsou zpravidla aplikována do půdy, mohou však být aplikována i mimokořenovou výživou (Kulhánek et al. 2013), která se může spojit v pozdním období s ošetřením porostu (Hřivna et al. 2015). Síranová forma síry aplikovaná foliárně se do listů dostává rychle a následně z velké části jsou sírany zachyceny ve vakuolách a z menší části jsou používány na tvorbu výnosu (Kulhánek et al. 2013). Rozhodující roli v příjmu aplikovaných živin zde hraje anatomicko-morfologická stavba listů, tloušťka kutikuly, stáří listů i rostliny. Také úroveň hydratace kutikuly je významný pro prostupnost živin (Hřivna et al. 2015).

Na trhu je v současnosti nabízeno nepřehledné množství hnojiv obsahující síru. Celosvětově jsou nejpoužívanější hnojiva: síran amonný, síran draselný, síran hořečnatý, elementární síra. Síra se v těchto hnojivech vyskytuje jako elementární síra, síran nebo sulfid.

Kapalná **elementární síra** musí být před samotnou adsorpcí listy tato forma nejdříve oxidována na sírany. Jedná se o pomalý proces, a tak dochází k pozvolnějšímu zásobení listů a nedochází k přílišné kumulaci v cytosolu síranů a jejich následné kumulaci ve vakuolách jako je to například u aplikaci hořké soli (Kulhánek et al. 2013). Výhodou tohoto typu hnojiva je jeho vysoký obsah síry, běžně dosahuje kolem 50 %. Tento typ hnojiva není příliš rozšířený, jelikož limitujícími faktory jsou jeho špatné fyzikální vlastnosti, které způsobují sedimentaci v obalech a ucpávání trysek aplikátorů. Jelikož je elementární síra ve vodě nerozpustná, je důležité i u granulované elementární síry mikronizace na správnou velikost (Valenta 2011), protože čím jsou částice elementární síry menší, tak rychleji dochází k její oxidaci.

Rychlost oxidace však záleží i na dalších faktorech jako je např. pH, kontakt hnojiva s půdou (Kulhánek et al. 2013), úroveň biologické oxidace sirnými bakteriemi rodu *Thiobacillus* (Valenta 2011) a stupeň aerace půdy. Hnojivo je doporučováno na alkalických půdách, kde dochází ke snížení pH půdy a tím uvolnění vázaného vápníku ve fosforečnanech, a pro rostliny zpřístupní P. Výhodou elementární síry jsou menší náklady na manipulaci a transport vycházející z vysokého obsahu síry v hnojivu (Kulhánek et al. 2013), obsah může dosahovat až 90 %, což řadí toto hnojivo mezi nejkonzentrovanejší. I přes jeho vysokou koncentraci není v České republice příliš rozšířeno, a to z důvodu nižší vodorozpustnosti, která je řadí spíše mezi zásobní hnojiva. Tato nízká rychlost uvolňování je dána klimatickými podmínkami v České republice (Valenta 2011).

Síran amonný (SA) je dusíkaté hnojivo (20-21 % N), které je významným zdrojem síry. Při aplikaci 100 kg síranu amonného se dodá i 22-23 kg síry ve formě síranu SO_4^{2-} . Síran amonný se nesmí používat na kyselých půdách, jelikož by kyselost půdy ještě zvyšoval a mohlo by dojít k aktivizaci toxické koncentrace hliníku a popřípadě i manganu (Matula 2007). Vhodné je okyselující účinek neutralizovat pravidelným vápněním. Z agronomického hlediska je důležité, aby bylo hnojivo rovnoměrně rozmetáno po pozemku. Rovnoměrná aplikace u síranu amonného je problematická, jelikož se často vyskytuje ve formě podlouhlých krystalů (Vaněk et al. 2016), avšak použití přímé aplikace SA vzrostla s jeho finální úpravou – granulace. Granulačním pojivem je přídavek 14 % ledku vápenatého. Granulovaný síran amonný po přidání pojiva obsahuje 1,4 % nitrátového dusíku a kolem 2,5 % Ca, což způsobuje příznivý vliv na počáteční růstovou fázi růstu rostlin (Kulhánek et al. 2013). Možné ztráty dusíku těkáním čpavku (NH_3) je vyloučena povrchová aplikace na alkalických půdách (Matula 2007), ale také i na ostatních půdách především za teplých a suchých dnů. K zabránění ztrátám dusíku mohou pomoci srážky anebo zapravení hnojiva do půdy (Vaněk et al. 2016).

Síran draselný (SD) je draselné hnojivo, které obsahuje přibližně 16 % síry (Matula 2007). Základní složkou je K_2SO_4 a dodává se v práškové a granulované formě s obsahem 41 % draslíku (Kunzová 2010). Síran draselný je mj. výborným hnojivem k rostlinám, které nesnášejí chlór z draselných solí, kamexu anebo kainitu (Kulhánek et al. 2013). Nejvhodnější doba použití síranu draselného je při předseťové nebo předsadbové přípravě půdy a hnojivo lze aplikovat na všech půdách. Problém nastává tehdy pokud je nevhodně skladován, jelikož snadno navlhne a pak je obtížná jeho následná aplikace (Vaněk et al. 2016).

Kieserit neboli **síran hořečnatý** obsahuje 19-21 % síry (Matula 2007), 14-15 % hořčíku (Kulhánek et al. 2013) a maximálně 3 % chlóru. Dodává se v krystalické nebo granulované formě (Vaněk et al. 2016). Jedná se o hnojivo vhodné na území České republiky, kde jsou běžné nedostatečné zásoby hořčíku (Kulhánek et al. 2013) a je především určeno k základnímu hnojení, avšak může se používat i během vegetace. (Vaněk et al. 2016). Síran hořečnatý je hnojivo vhodné do středních až těžších půd s vyšším pH (Kulhánek et al. 2013). Na lehkých půdách, kde je vysoké riziko vyplavení aplikujeme u jařin zásadně až při předseťové přípravě půdy (Vaněk et al. 2016).

Hořká sůl ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) obsahuje 11-12,5 % síry (Matula 2007) a 10 % hořčíku, hořečnaté hnojivo s podobnými vlastnostmi jako zmíněný kieserit. Jedná se o heptahydrát síranu hořečnatého a díky tomu se jedná o hnojivo velmi dobře rozpustné ve vodě (Kulhánek et al. 2013). Pro svou výbornou rozpustnost se především využívá k mimokořenové výživě rostlin a používá se koncentrace maximálně 4 kg hořké soli na 100 kg vody. Dle Matula (2007) se může používat maximální koncentrace do 5 %. Hnojivo je vhodné téměř ke všem plodinám, ale při vyšších teplotách nebo při nízké vzdušné vlhkosti je vhodnější použít nižší koncentraci, aby nedošlo k poškození rostlin. V případě vysokého deficitu hořčíku lze aplikaci během vegetačního období až 3krát opakovat v intervalu 10 až 14 dní (Vaněk et al. 2016).

3.4 Síra v půdě a rostlinách

Síra patří mezi prvky s největším zastoupením na Zemi a největší zastoupení síry se nachází v litosféře ($24,3 \cdot 10^{18}$ kg) a v hydrosféře ($1,3 \cdot 10^{18}$ kg). Z celkové síry v půdě je ($2,6 \cdot 10^{14}$ kg) vázáno v půdní organické hmotě a množství síry v rostlinách je odhadováno na $7,6 \cdot 10^{11}$ kg. V atmosféře se nachází nejméně síry ($1,3 \cdot 10^{18}$ kg) (Stevenson & Cole 1999).

I přesto, že síra patří k makroelementům ve výživě rostlin, tak v současné době dochází k poklesu jejího obsahu v půdě (Balík et al. 2009). Hlavní příčinou nedostatku síry v půdách je pokles atmosférických depozic. Vstup čisté síry do půdy v roce 1990 činil přibližně 120 kg/ha. V důsledku odsíření tepelných elektráren jsou vstupy síry do půdy mezi lety 2008–2009 přibližně 8x nižší než před devatenácti lety (Kulhánek et al. 2013). Například v Polsku, kdy emise z atmosférických depozic klesly o 48 % se na rostlinách náročnějších na síru začínaly objevovat příznaky deficitu tohoto prvku (Filipek-Mazur et al. 2001). Dalšími příčinami poklesu v půdě je nedostatečné používání sirných hnojiv a pěstování odrůd s vyššími výnosy, a s tím spojené vyšší nároky na síru (Kulhánek et al. 2018).

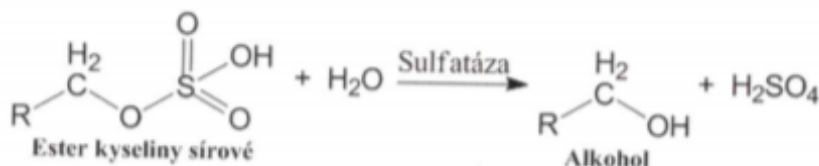
Do nedávna nebyly na porostech v České republice pozorovány výrazné deficity obsahu síry, neboť přívod síry do půdy byly již dříve zmíněné atmosférické depozice. Významným zdrojem síry bylo také hnojení fosforem, které se v minulosti více využívalo, aniž by se hnojení sírou zvažovalo pomocí jednoduchých superfosfátů (Matula 2007).

Celkový obsah síry v půdě se pohybuje mezi 0,1 % - 0,001 % a hlavní její podíl je vázán v půdní organické hmotě. Organický podíl se nachází v rozmezí 90 % - 95 % (Kulhánek et al. 2011), přičemž síra vázaná v organické hmotě je pro rostliny nepřijatelná (Matula 2007). Na humózních půdách můžeme pozorovat vyšší obsah síry, než na půdách lehčích s nízkým obsahem humusových látek (Fecenko et al. 2001). Podíl (1-3 %) se nachází i v biomase mikrobů, který patří mezi nejdynamičtější část organické sloučeniny v půdě, které se významně podílejí na výživě rostlin (Vaněk et al. 2016) Organická síra je rozřazena do dvou kategorií, a to, zda je vázaná na uhlíkový skelet organických sloučenin nebo nepřímo přes kyslík, dusík či síru. Síra, která je nepřímo vázaná na uhlík se lépe zapojuje do biologických transformací v půdě (Matula 2007).

Přístupná síra pro rostliny, která se nachází v půdním roztoku se vyskytuje v síranové formě (SO_4^{2-}) (Kulhánek et al. 2018), představující přibližně asi jedno procento z celkového obsahu síry (Kulhánek et al. 2011). Dalším zdrojem je síra adsorbovaná na povrchu půdních částic a částečně i síra okludovaná zejména v síranech vápenatých a hořečnatých. Adsorbovaná síra přechází snadno do půdního roztoku, ale i naopak a mezi frakcí S a půdním roztokem se udržuje rovnovážný stav (Kulhánek et al. 2018). Obsah síry, který se v ornici nachází se nejčastěji pohybuje v rozmezí 85-250 mg S/kg. Zastoupení celkového obsahu síry k obsahu dusíku a uhlíku jsou vyjádřeny poměrem N/C/S v následném rozpětí 8-13/78-126/0,5-1,5. Velká část síry je součástí organické půdní hmoty, která je pro rostliny nepřístupná. Touto charakteristikou se v mnoha aspektech podobá dusíku (Matula 2007).

Síra se v půdě nachází ve formě anorganické a organické. Organicky vázaná síra, která je charakterizovaná jako hlavní zásoba síry v půdě, je ve většině půd zastoupená více než anorganická síra (Kulhánek et al. 2013). Síra vázaná v organických sloučeninách nemůže být využita rostlinami. Nedříve se musí přeměnit na volnou síranovou formu, která je jako jediná přístupná pro rostliny (Tlustoš et al. 2001). Anorganická síra je hlavním přístupným zdrojem pro rostliny a tvoří většinou přibližně 10 % - 20 % z celkového obsahu síry v půdě (Kulhánek et al. 2013). Organickou síru lze rozdělit do dvou skupin: **Vázaná síra na organické sloučeniny v oxidované formě** – jako jsou glukosinoláty, polysacharidy a estery s lipidy. Tato forma organické síry tvoří značnou část celkového obsahu vázané síry v půdě a

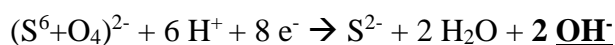
je snadno uvolňovaná při mineralizaci. Při uvolnění SO_4^{2-} z esterů mají vliv enzymy (sulfatázy) různých typů s vysokou specifickou ke zbytku organické molekuly. Mineralizace probíhá dle schématu (Vaněk et al. 2016):



Vázaná síra na organické sloučeniny v redukované formě – aminokyseliny, jako je metionin a cystein, které jsou součástí bílkovin, a síra je v nich vázaná přes uhlík. Mineralizace je složitější a probíhá v těchto krocích: rozložení složitějších látek na aminokyseliny, následné odštěpení sulfanu a jeho postupná oxidace na síran (Vaněk et al. 2016).

Obsah celkové síry v rostlinách se nachází v rozmezí 0,1 % - 0,5 % v sušině. Jelikož řepka produkuje více bílkovin, silic a pryskyřic, tak patří s jetelovinami, brukvovitou zeleninou a chmelem k rostlinám s nejvyššími nároky na síru.

Pro příjem síry rostlinami je rozhodující anorganická forma, především síranový aniont SO_4^{2-} (Kulhánek et al. 2011) a její příjem je minimálně ovlivněn ostatními živinami. Výrazná deprese fosforu v nadzemní hmotě rostlin nastává tehdy, pokud aplikujeme sírany (v síranu amonném a vápenatém) do půdy. Rostlina může přijímat síru kořeny ve formě aminokyselin (methioninu a cysteinu), ale jejich obsah v půdě je velice malý. Využití přijatelného síranu předpokládá biochemickou redukci, před jejím zapojováním do organických látek. Projevem redukce síranu v rostlině je také alkalický efekt, který můžeme pozorovat i při utilizaci nitrátů (Matula 2007).



V kořenech přijatý síran je vzestupně transportován xylémem do nadzemních částí rostlin v minerální formě. Jen malý podíl SO_4^{2-} se redukuje v kořenech. Síra je transportována především do mladých listů a meristému rostliny (Vaněk et al. 2007). Opačný transport živiny je velmi pomalý a využití znova přijaté síry ze starších listů v mladších je omezen (Matula 2007). Oxid siřičitý z atmosféry, který vstupuje do rostliny průduchy dokáže pokrýt jen určitou část své potřeby síry (Pavlíková et al. 2011). Rostlina dokáže využívat přibližně 30 % z celkové potřeby přijatelné síry z ovzduší pomocí SO_2 . Při malé koncentraci SO_2 v ovzduší

a také nedostatku SO_4^{2-} v půdě působí příznivě a využití je na vyšší úrovni. Od koncentrace 1,0 – 1,5 mg SO_2 v 1 m^3 vznikají v pletivech listů ionty HSO_3^- a SO_3^{2-} , které brzdí fosforylaci. K poškození rostlin dochází i pomocí dalších složek emisí, které se do ovzduší dostávají, může k poškození dojít i při nižší koncentraci (Vaněk et al. 2001).

3.5 Mehlich 3

Extrakční činidlo bylo pojmenované po doktorovi Adolfu Mehlichovi, který v roce 1978 zavedl činidlo známé jako Mehlich 2. Činidlo se stalo velice populární a o čtyři roky později přišla modifikace v podobě činidla Mehlich 3 (Trávník et al. 1999).

Jako úspěšná modifikace metody Mehlich 2 se stala metoda Mehlich 3 jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení přístupných živin v půdě (Trávník 2001). Metoda Mehlich 3 je v současnosti považována za jedno z nejsilnějších extrakčních činidel (Kulhánek et al. 2018), které je možné v České republice používat od roku 1999 pro stanovení přijatelných forem fosforu (P), draslíku (K), hořčíku (Mg) a vápníku (Ca) (Zbiral 2016). Extrakční roztok označený jako Mehlich 3 je složen z 0,2 M kyseliny octové (CH_3COOH), 0,25 M dusičnanu amonného (NH_4NO_3), 0,015 M fluoridu amonného (NH_4F), 0,013 M kyseliny dusičné (HNO_3) a 0,001 M kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA) (Mehlich 1984)

V současnosti se nabízí možnost využít metodu Mehlich 3 i pro stanovení obsahu síry (S). Výhodou metody Mehlich 3 je jeho univerzálnost a jednoduché provedení pomocí optické spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem pro zjišťování hodnot obsahu živin z výluhu (Kulhánek et al. 2018).

4 Metodika

Odběr půdních a rostlinných vzorků byl prováděn v letech 2015 až 2017 u ozimé řepky z polních provozů nacházejících se v okresech Mělník, Rokycany, Nymburk, Litoměřice, Žatec, Hradec Králové, Přerov, Ústí nad Orlicí, Rakovník, Mladá Boleslav, Znojmo a Pelhřimov. Jednalo se o regiony s mírně teplými až velmi teplými klimatickými podmínkami. Přesná poloha odběrových míst byla zaměřena navigací GPS.

Pro vyhodnocení výsledků bylo využito odběrů nadzemní biomasy začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 30) a na začátku kvetení řepky (BBCH 61). Vzorky půdy byly odebírány do hloubky 30 cm. Obsah živin v orniční vrstvě půdy byl stanoven ve výluhu Mehlich 3 (Mehlich 1984) a ve vodném výluhu při vyluhovacím poměru vždy 1:10 w/v. Odlišná byla doba třepání půdních výluhů: 10 minut v případě činidla Mehlich 3 (Zbiral 2000) a 60 minut pro vodný výluh (Kowalenko 2008). Rostlinná nadzemní biomasa byla zmineralizována metodou suchého rozkladu (Mader & Čurdová 1997), pro stanovení celkového obsahu dusíku v rostlinné biomase byl použit rozklad na mokré cestě v prostředí kyseliny sírové (1:20 w/v) katalyzovaným práškovým selenem. Měření bylo provedeno optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies, USA). Celkový obsah dusíku v nadzemní biomase řepky ozimé byl stanoven metodou podle Kjeldaha na přístroji Vapodest 50s (Gerhardt, Spolková republika Německo).

Obsah organického uhlíku v půdě byl stanoven kolorimetricky dle Sims a Haby (1971): k 1 g půdního vzorku bylo přidáno 10 ml dichromanu draselného, 10 ml koncentrované kyseliny sírové a doplněno destilovanou vodou do objemu 100 ml. Stanovení bylo provedeno na přístroji Lambda 25 (Perkin Elmer, USA) při vlnové délce 600 nm.

Půdní reakce byla stanovena jako výměnné pH v 0,01 mol/l roztoku CaCl_2 (1:2,5 w/v), doba třepání 60 minut.

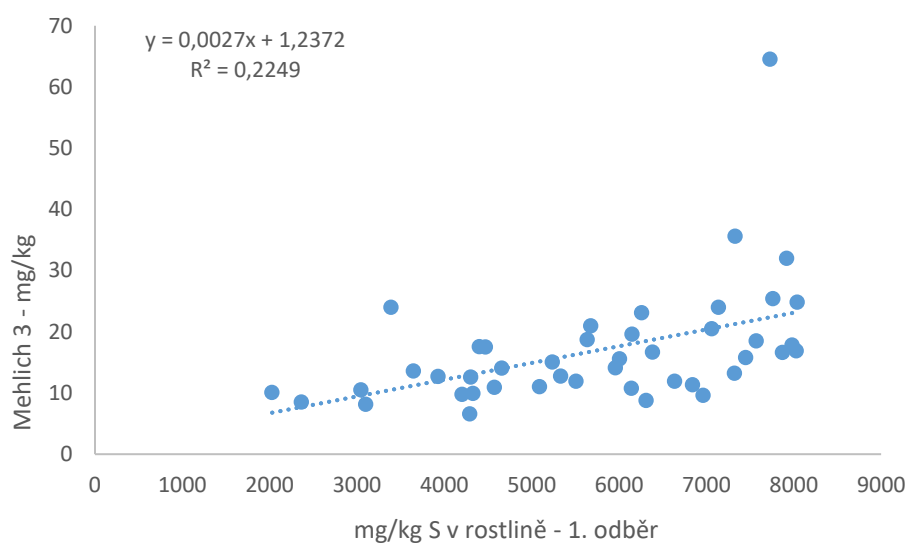
Výživný stav rostlin byl vyjádřen hmotnostním poměrem obsahu N/S (Blake-Kalff et al. 2000) v nadzemní biomase řepky (Yan et al. 2015). Rostlinný materiál určený k analýzám byl homogenizován laboratorním střížným mlýnem SM100 (Retsch, Spolková republika Německo). Výsledky byly vyhodnocovány pomocí regresních rovnic v programu Microsoft Office Excel.

5 Výsledky

5.1 Sledovaná korelace na všech půdách

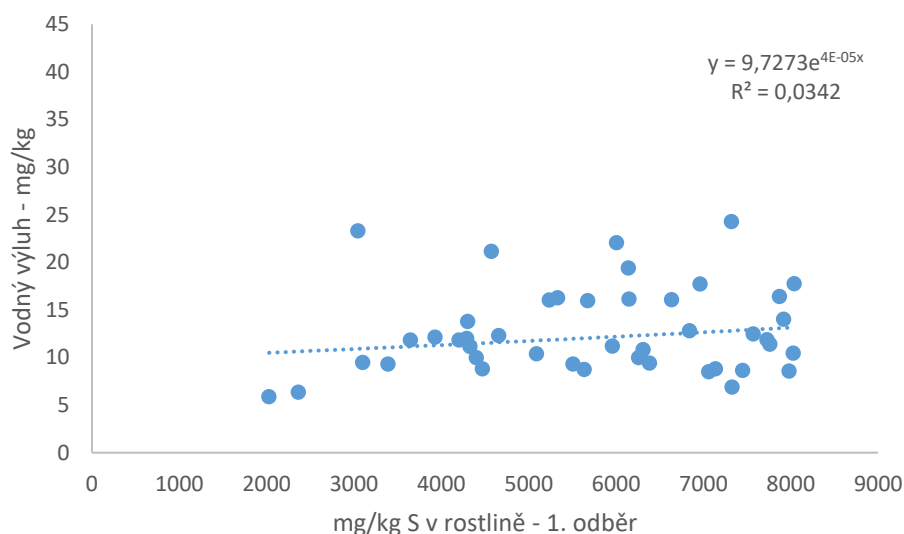
Graf č. 1:

V grafu č. 1 je sledována korelace mezi obsahem S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou Mehlichem na všech sledovaných půdách. Můžeme pozorovat pozitivní korelaci s korelačním koeficientem $r = 0,606$, přičemž síla korelace je silná.



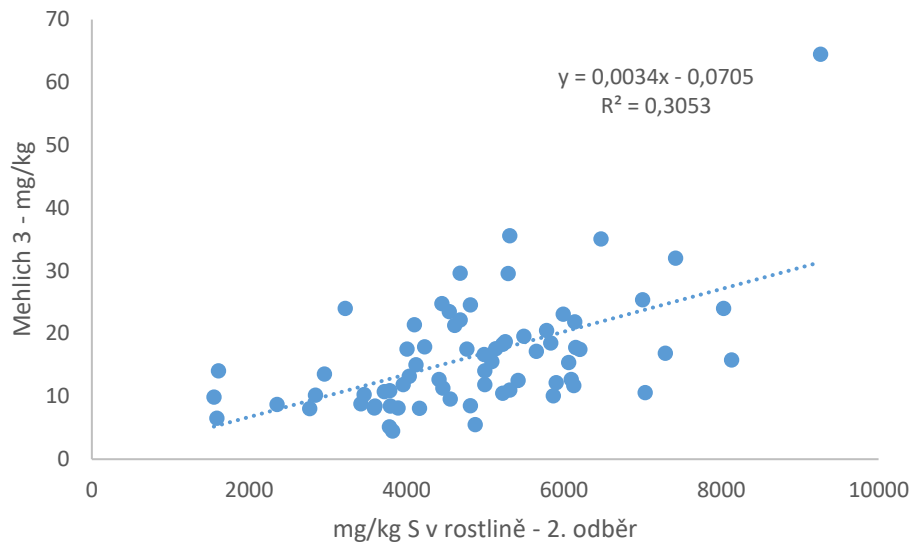
Graf č. 2:

V grafu č. 2 sledujeme velmi slabou sílu korelace, kdy je sledovaný obsah síry v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou ve vodě na všech půdách. Pozitivní korelace s korelačním koeficientem $r = 0,185$.



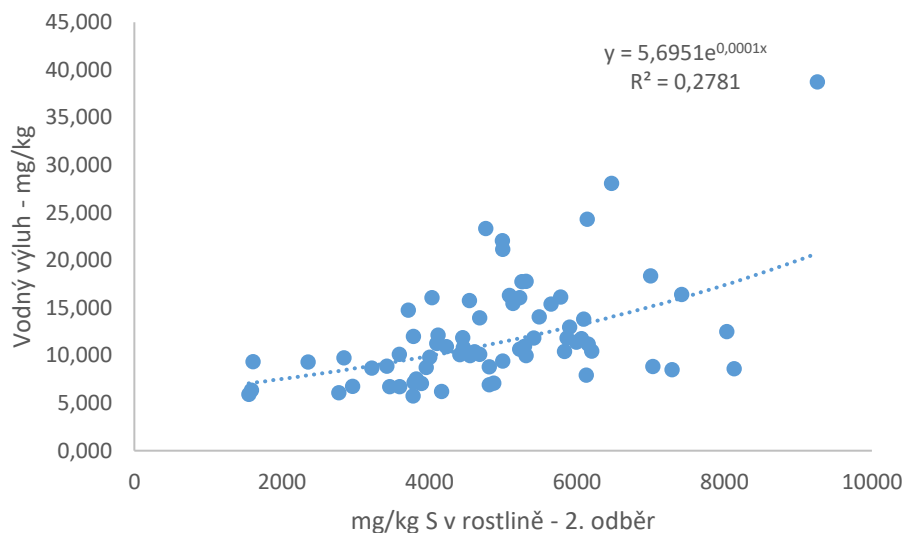
Graf č. 3:

Obsah síry v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou Mehlichem na všech půdách jsme zaznamenali v grafu č. 3. Pozitivní korelace s korelačním koeficientem $r = 0,553$ způsobuje mírnou sílu korelace.



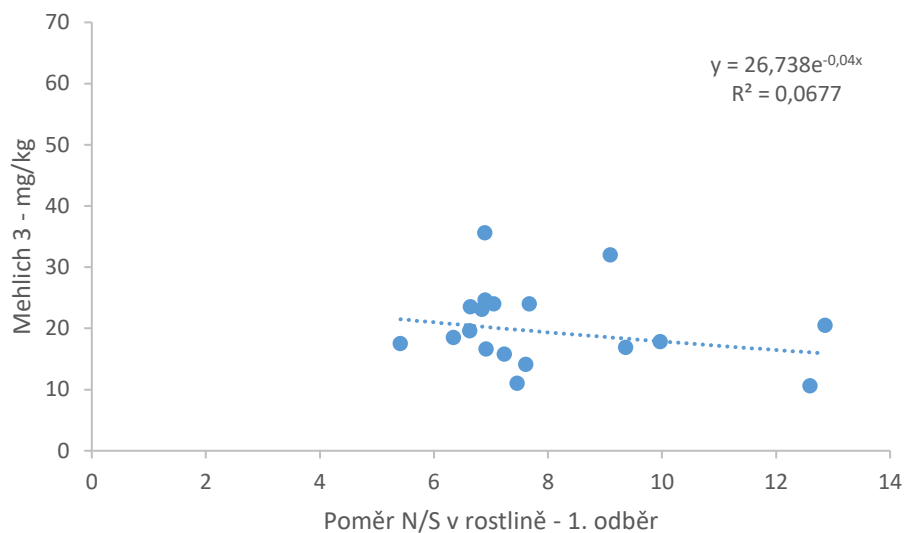
Graf č. 4:

Mírná síla korelace je patrná v grafu č. 4, kde byl sledovaný obsah síry v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou ve vodě na všech půdách. Jedná se o pozitivní korelaci s korelačním koeficientem $r = 0,527$.



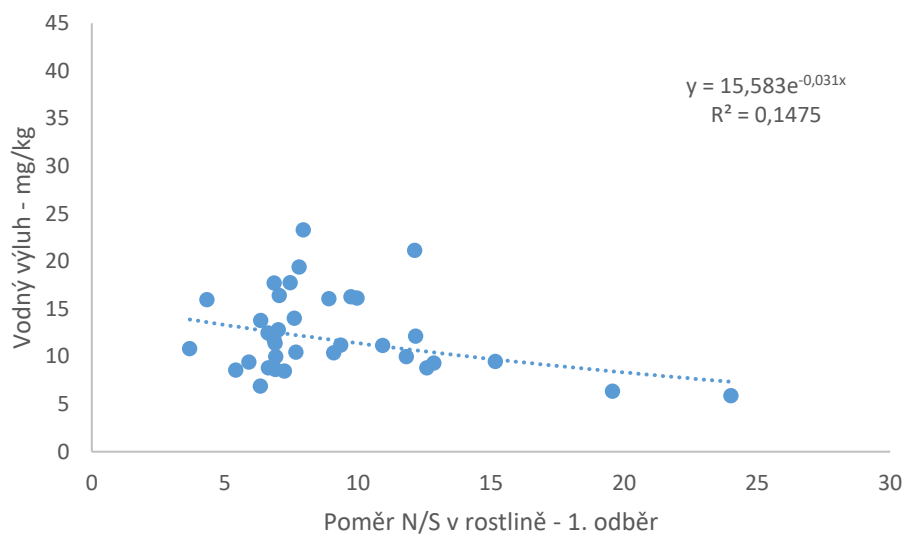
Graf č. 5:

V grafu. č. 5 je sledována korelace mezi poměrem N/S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou Mehlichem na všech půdách. Sledujeme slabou negativní korelaci s korelačním koeficientem $r = -0,260$.



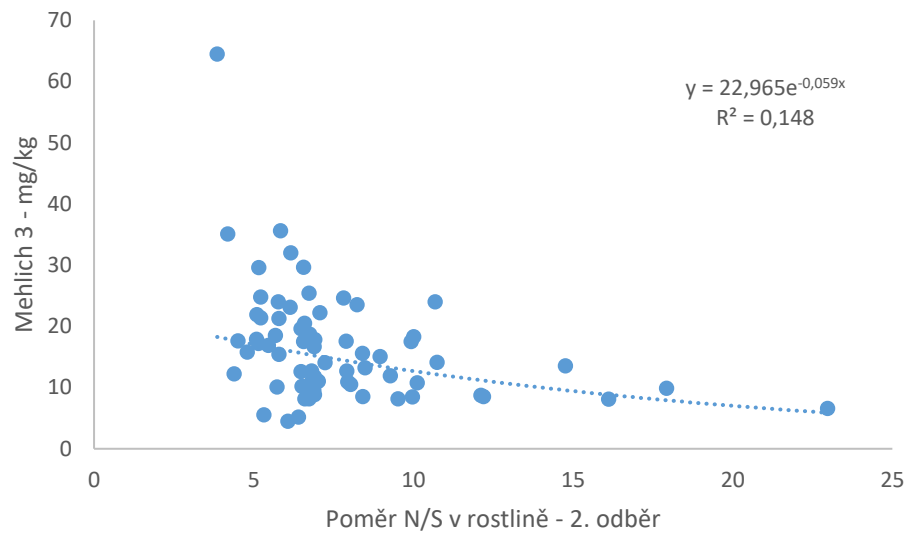
Graf č. 6:

Porovnání poměru N/S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na všech půdách můžeme sledovat v grafu č. 6. Jedná se o negativní korelaci s korelačním koeficientem $r = -0,384$, přičemž se jedná téměř o mírnou sílu korelace.



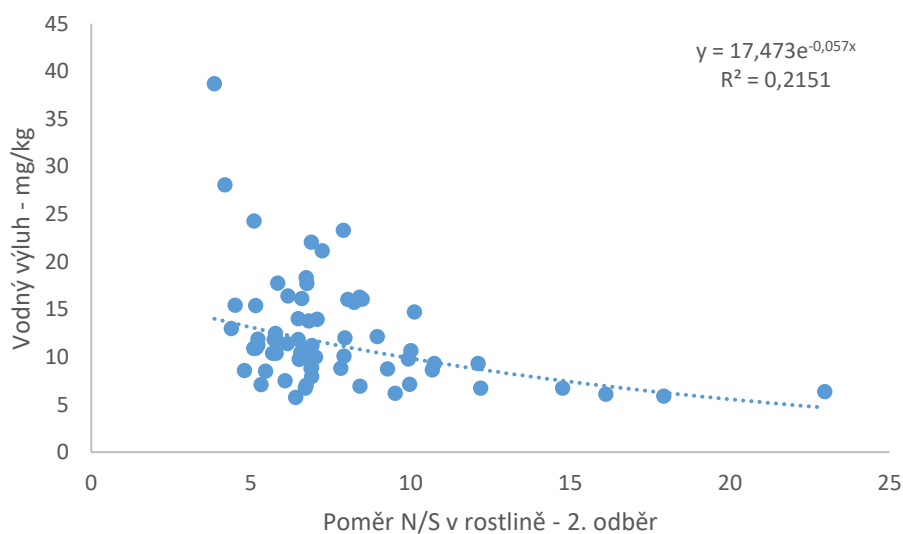
Graf č. 7:

Téměř mírnou sílu korelace můžeme pozorovat v grafu č. 7 mezi poměrem N/S v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou v Mehlichu na všech půdách. Jedná se o negativní korelaci s korelačním koeficientem $r = -0,385$.



Graf č. 8:

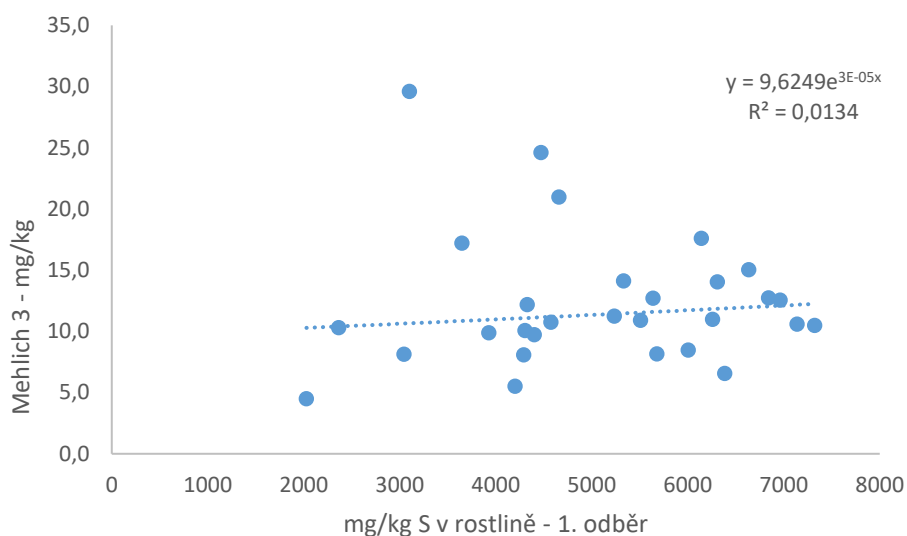
Graf č. 8 ukazuje, že mezi poměrem N/S v rostlině při druhém odběru a sírou stanovenou ve vodném výluhu na všech půdách je mírná negativní korelace s korelačním koeficientem $r = -0,464$.



5.2 Sledovaná korelace na alkalických půdách

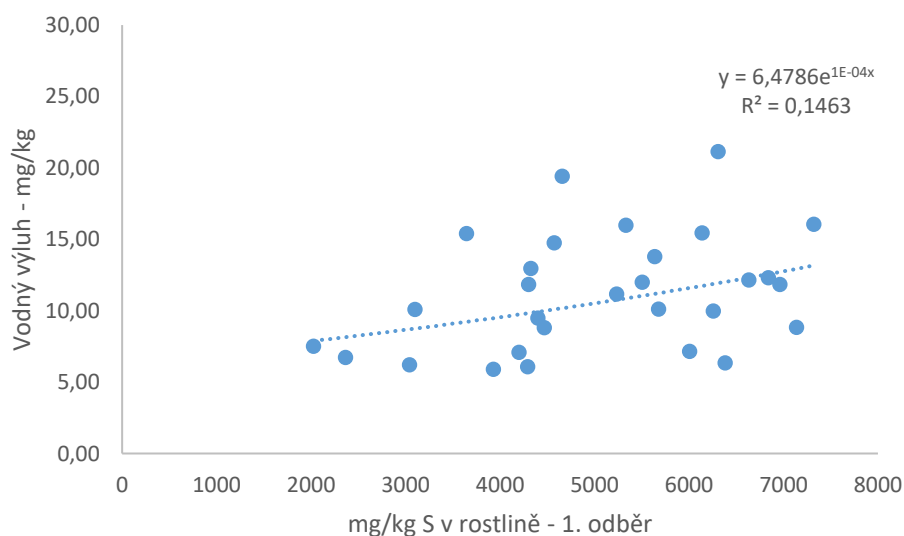
Graf č. 9:

Velmi slabá míra korelace byla zjištěná u obsahu síry v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou Mehlichem na alkalických půdách ($\text{pH} > 6,99$). Pomocí grafu č. 9 byla zjištěna mírná pozitivní korelace s korelačním koeficientem $r = 0,116$.



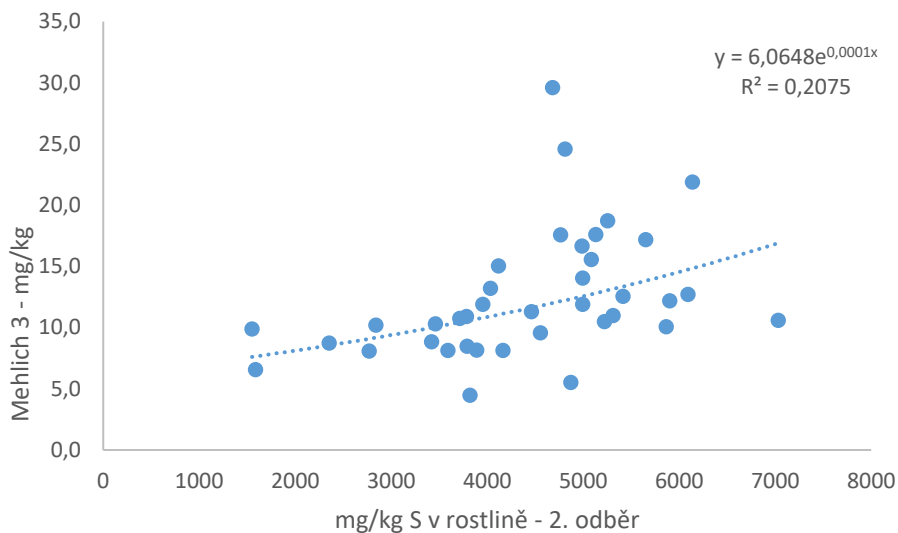
Graf č. 10:

V grafu č. 10 je sledována korelace mezi obsahem S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na alkalických půdách ($\text{pH} > 6,99$). Jedná se o pozitivní slabou až téměř mírnou míru korelace s korelačním koeficientem $r = 0,383$.



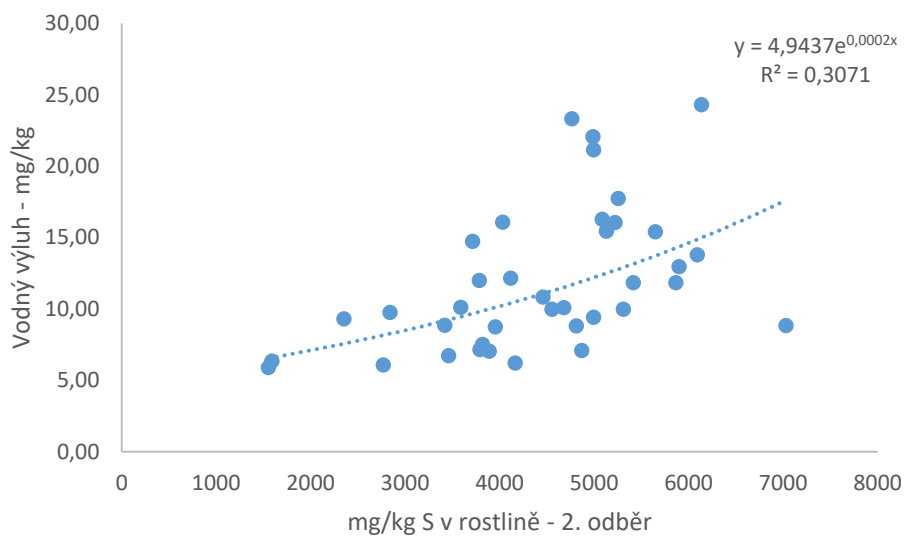
Graf č. 11:

V grafu č. 11 jsme zaznamenali mírnou sílu korelace s korelačním koeficientem $r = 0,554$, přičemž se jedná o pozitivní korelaci. Sledovaný byl obsah síry v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou Mehlichem na alkalických půdách ($\text{pH} > 6,99$).



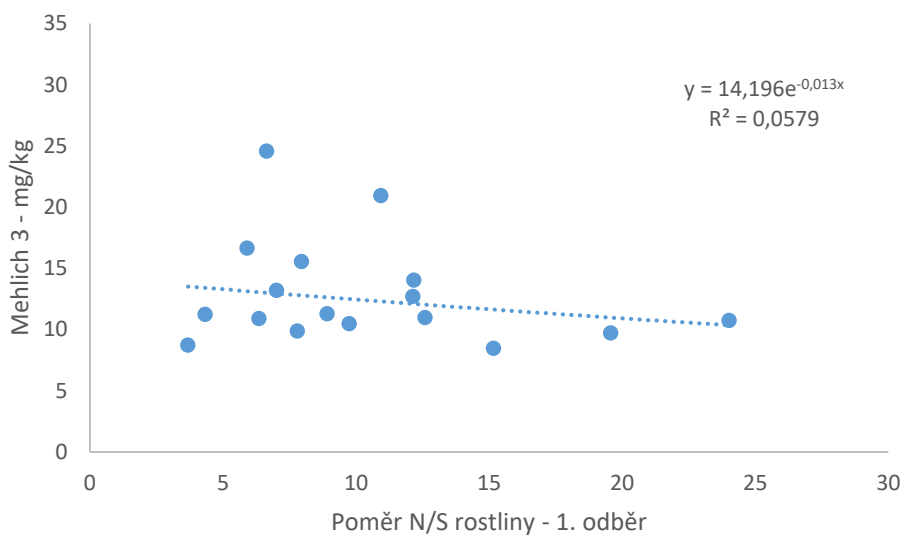
Graf č. 12:

V grafu č. 12 jsme sledovali obsah síry v rostlině při druhém odběru v porovnání s půdní sírou stanovenou na alkalických půdách ($\text{pH} > 6,99$) ve vodném výluhu. Jedná se o pozitivní korelaci s korelačním koeficientem $r = 0,456$, zaznamenali jsme mírnou sílu korelace.



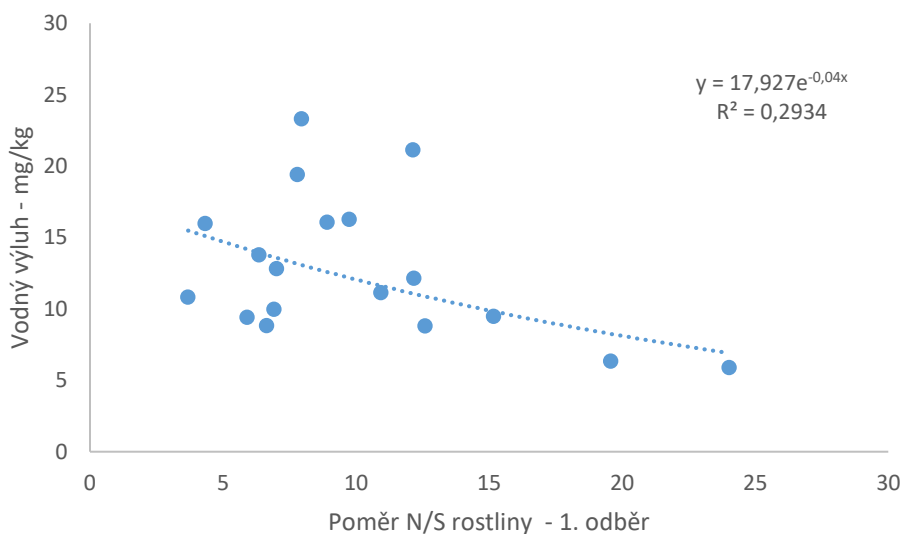
Graf č. 13:

Porovnání poměru N/S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou v Mehlichu na alkalických půdách (pH > 6,99). Na grafu č. 13 můžeme pozorovat slabou sílu negativní korelace s korelačním koeficientem $r = -0,241$.



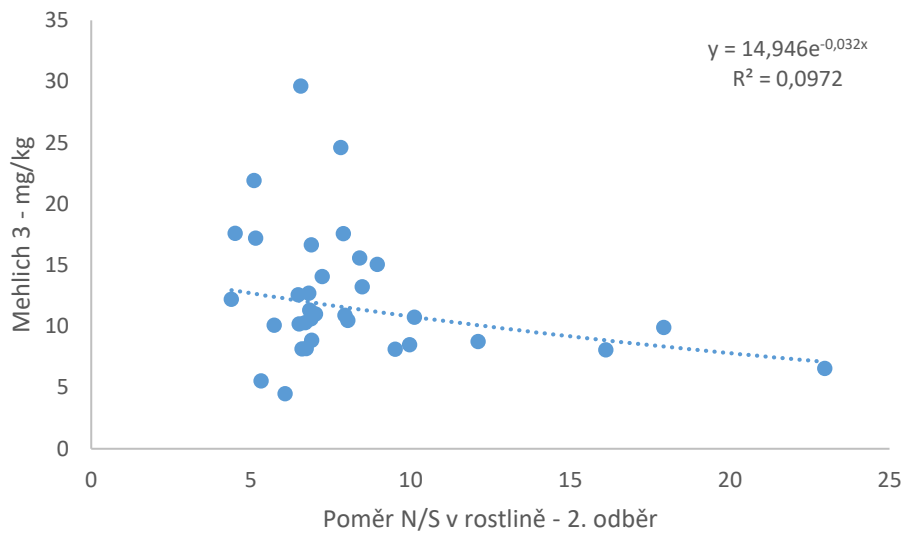
Graf č. 14:

V grafu č. 14 sledujeme poměr N/S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na alkalických půdách (pH > 6,99). Korelační koeficient $r = -0,542$ znamená mírnou sílu korelace, přičemž se jedná o negativní korelaci.



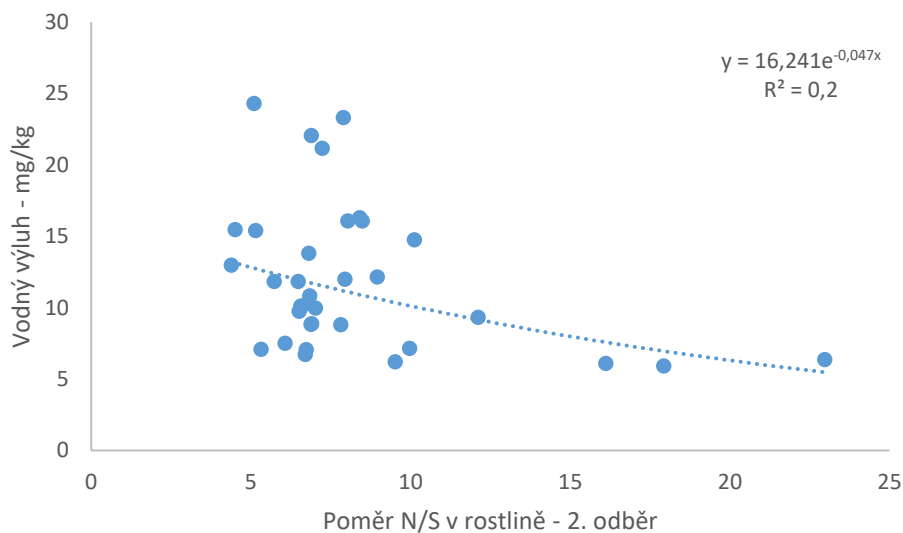
Graf č. 15:

Slabou sílu korelace můžeme pozorovat na grafu č. 15, kde porovnáváme poměr N/S v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou Mehlichem na alkalických půdách. Jedná se o negativní korelaci s korelačním koeficientem $r = -0,312$.



Graf č. 16:

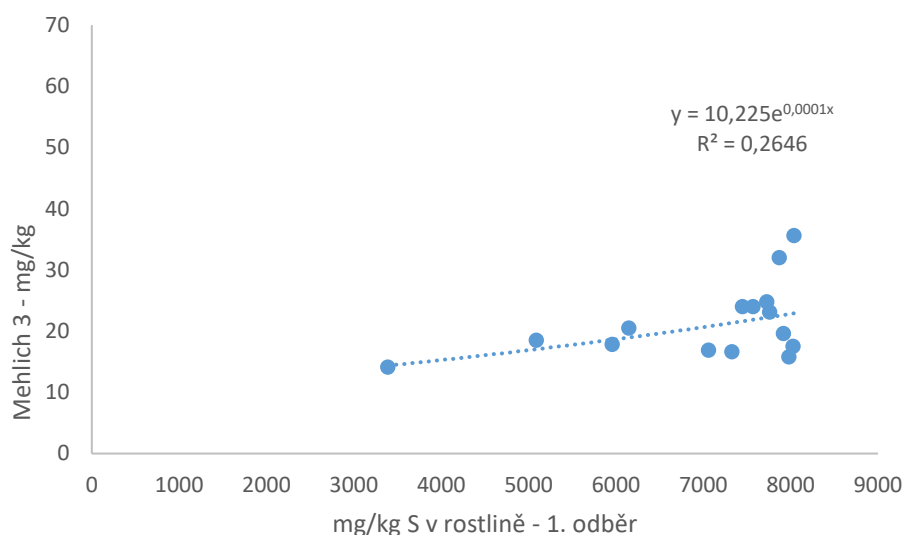
Graf č. 16 zobrazuje negativní korelaci mezi poměrem N/S v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na alkalických půdách ($\text{pH} > 6,99$). Síla korelace je mírná, korelačním koeficient je $r = -0,447$.



5.3 Sledovaná korelace na nealkalických půdách

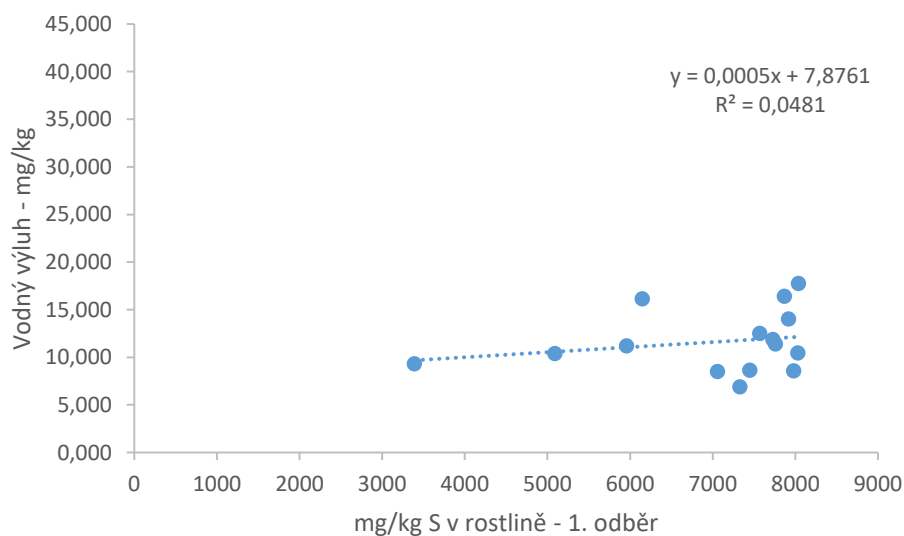
Graf č. 17:

Slabě pozitivní korelaci jsme sledovali u obsahu síry v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou v Mehlichu na nealkalických půdách ($\text{pH} < 7,00$). V grafu č. 17 vyšla mírná síla korelace s korelačním koeficientem $r = 0,514$.



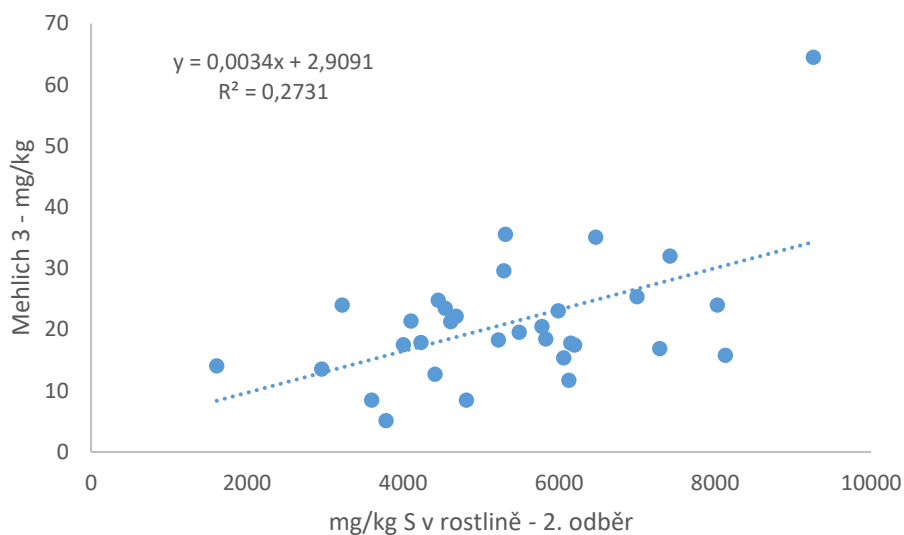
Graf č. 18:

V grafu č. 18 je sledována korelace mezi obsahem síry v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na nealkalických půdách ($\text{pH} < 7,00$). Můžeme pozorovat mírně pozitivní korelaci s korelačním koeficientem $r = 0,219$, přičemž se jedná o slabou korelaci.



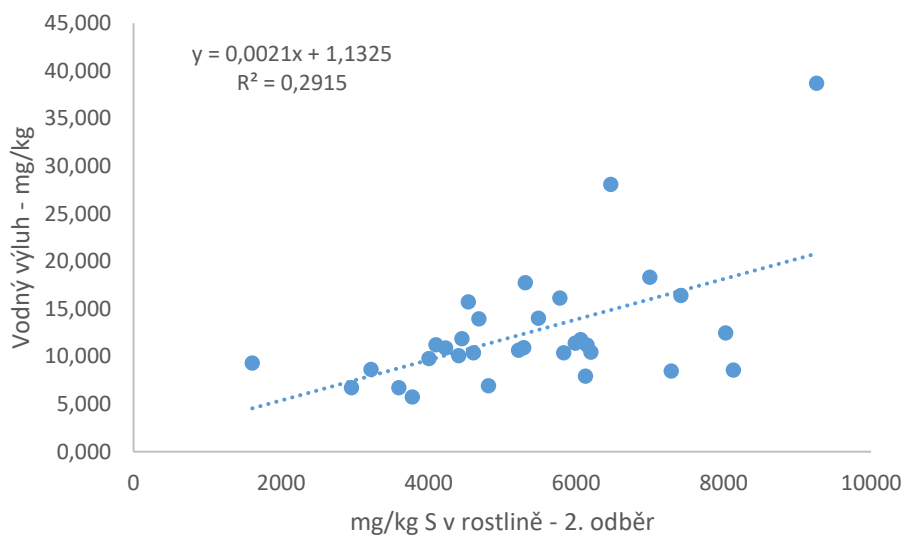
Graf č. 19:

V grafu. č. 19 můžeme sledovat pozitivní korelaci mezi obsahem síry v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou v Mehlichu na nealkalických půdách (pH < 7,00). Výsledkem je korelační koeficient $r = 0,523$ a jedná se o mírnou sílu korelace.



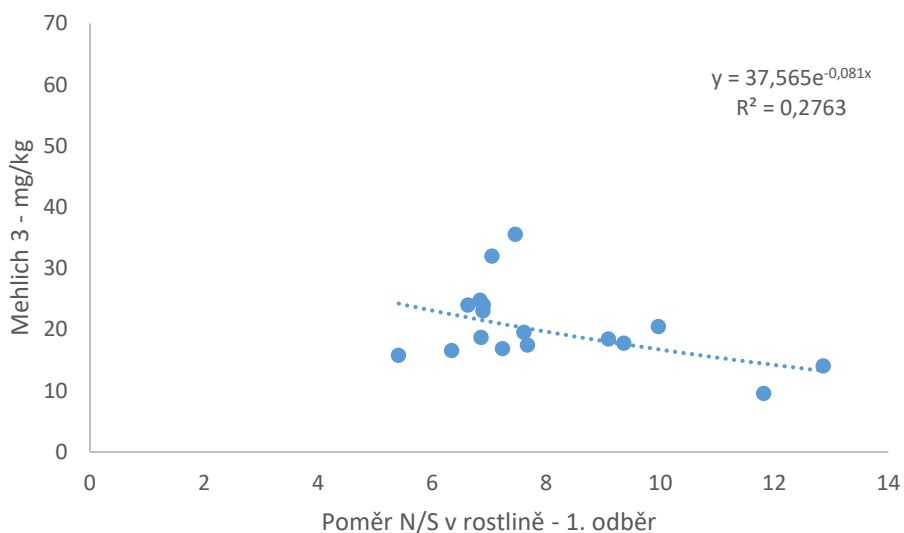
Graf č. 20:

Obsah síry v rostlině při druhém odběru s půdní sírou sledovanou ve výluhu na nealkalických půdách (pH < 7,00) jsme zaznamenali v grafu č. 20. Výsledkem je mírná pozitivní korelace s korelačním koeficientem $r = 0,539$.



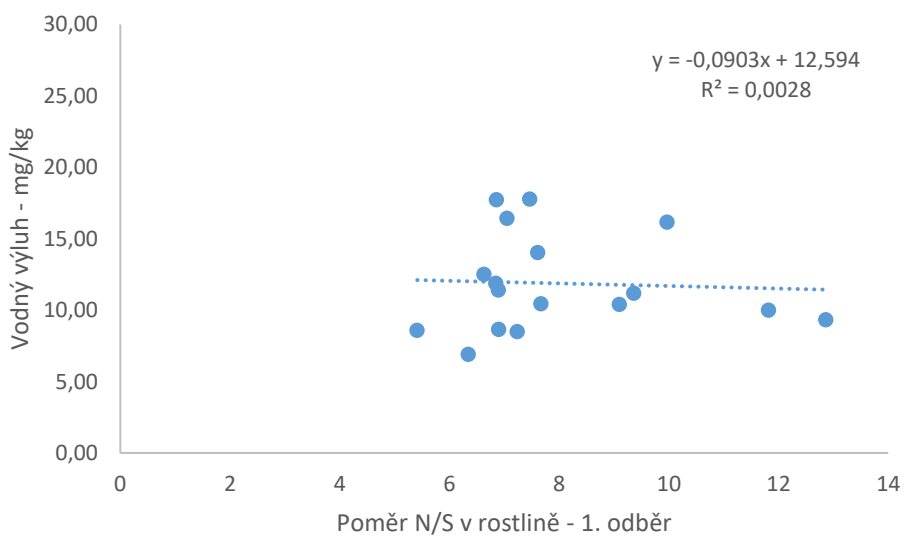
Graf č. 21:

V grafu č. 21 sledujeme mírnou sílu korelace u poměru N/S v rostlině při prvním odběru v porovnání s půdní sírou stanovenou v Mehlichu na nealkalických půdách ($\text{pH} < 7$). Korelační koeficient je $r = -0,526$, přičemž se jedná o negativní korelaci.



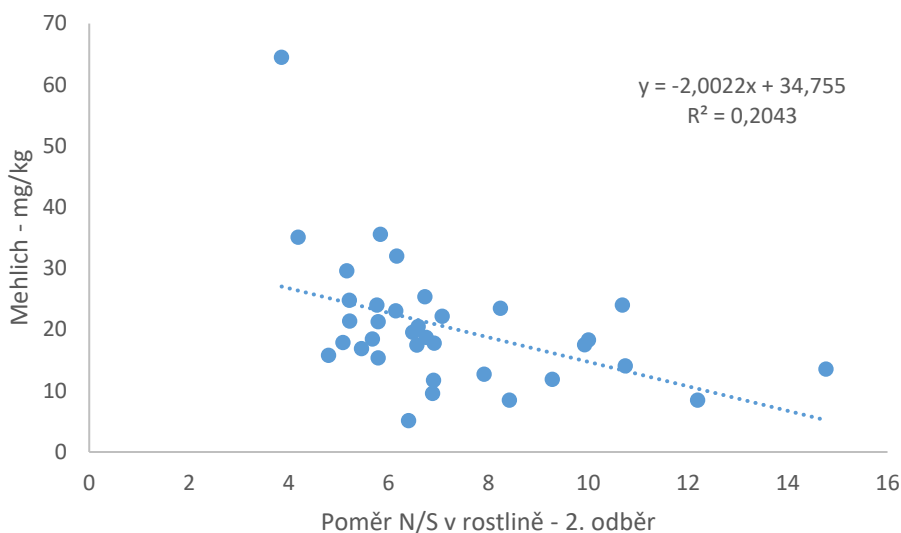
Graf č. 22:

V grafu č. 22 je sledována korelace mezi poměrem N/S v rostlině při prvním odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na nealkalických půdách ($\text{pH} < 7,00$). Jedná se o negativní velmi slabou míru korelace s korelačním koeficientem $r = -0,053$.



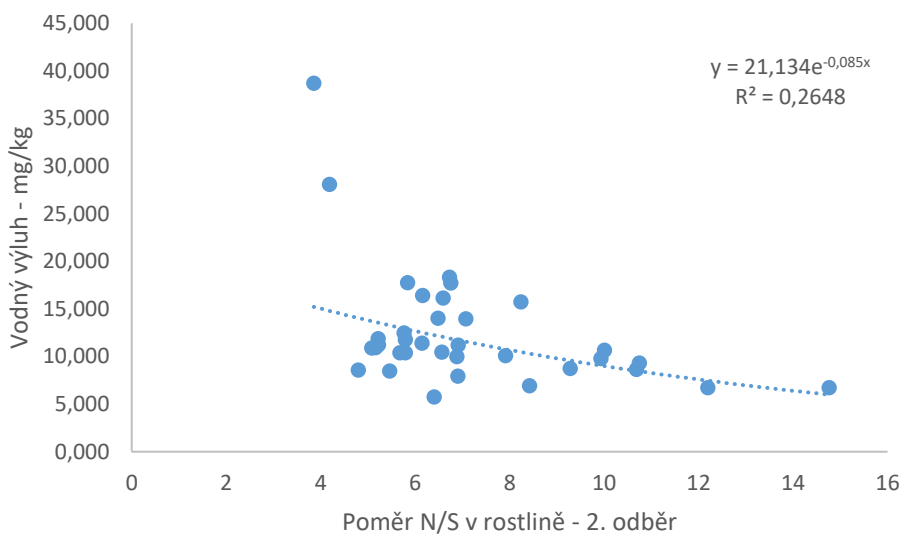
Graf č. 23:

V grafu č. 23 jsme porovnávali poměr N/S v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou na nealkalických půdách ($\text{pH} < 7,00$) v Mehlichu. Jedná se o negativní korelaci s korelačním koeficientem $r = -0,451$, zaznamenali jsme mírnou sílu korelace.



Graf č. 24:

Mírná síla korelace je patrná v grafu č. 24, kde byl porovnávaný poměr N/S v rostlině při druhém odběru s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu na nealkalických půdách ($\text{pH} < 7,00$). Jedná se o negativní korelaci s korelačním koeficientem $r = -0,514$.



6 Diskuze

Korelační vztahy, byly v této bakalářské práci zkoumány mezi jednotlivými ukazateli obsahu síry z odběrů nadzemních částí rostlin a rozborů půdních vzorků, které byly odebírány v letech 2015–2017 z jedenácti okresů České republiky. Rostliny byly odebírány dvakrát během vegetace, přičemž byl zkoumán obsah síry na začátku prodlužovacího růstu a na začátku kvetení, ale také poměr N/S v rostlinné biomase. Obsah přijatelné síry v půdě byl stanoven činidly Mehlich 3 a vodným výluhem. Výsledky jsme také rozdělili na skupinu půd alkalických, nealkalických a na všechny měřené hodnoty pH půd, protože Leggett & Epstein (1956) uvádí, že nejvyšší příjem síranů je při pH 4,0 a při stoupající hodnotě pH schopnost příjmu síry klesá. Průměrné pH na alkalických půdách mezi sledovanými hodnotami je pH 7,32, nealkalické půdy vykazovaly pH 6,1 a průměrné pH na všech půdách je pH 6,63.

Stěžejním zdrojem pro výživu rostlin sírou je anorganická síra, představující přibližně 1 % z celkového obsahu síry, které se nachází v půdním roztoku v síranové formě (SO_4^{2-}) (Kulhánek et al. 2011, Kulhánek et al. 2018). Z metod, které jsme použili, pro stanovení přijatelného obsahu síry v půdě, tak ze všech odebraných půdních vzorků byla průměrná hodnota 16,25 mg/kg u metody Mehlich 3 a průměrná hodnota ve vodném výluhu byla 12,23 mg/kg. Dle Balíka (2007) je uváděna kritická hodnota přístupné síry 13 mg/kg.

Metoda Mehlich 3 byla použita, jelikož stanovení „optimální“ zásoby živin je jedním z nejdůležitějších úkolů výživy rostlin (Trávník et al. 1999). Extrakční postup je oficiální analytickou metodou používané v současné době v rámci systému agrochemického zkoušení zemědělských půd pro stanovení obsahu přístupného P, K, Mg a Ca (Čermák et al. 2017). A právě metoda Mehlich 3, která je dle Kulhánek et al. (2018) už dnes rutinní záležitostí, můžeme pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem využít i pro stanovení přístupné síry v půdě. Jako další metoda pro určení obsahu přijatelné síry v půdě byl použit vodný výluh.

Z vypočítaných Pearsonových korelačních koeficientů byla zjištěna nejsilnější korelace, mezi obsahem síry v rostlině na začátku prodlužovacího růstu a obsahem půdní síry stanovené pomocí extrakčního činidla Mehlich 3 na všech měřených půdách. Přičemž korelace je síla efektu, kterou můžeme slovně popsat pomocí průvodce, který Evans (1996) navrhl pro absolutní hodnotu r . Druhá, resp. třetí nejsilnější míra korelace byla změřena rovněž extrakčním činidlem Mehlich 3 v porovnání s obsahem síry v rostlině při odběru na začátku kvetení. Ovšem z vypočítaných Pearsonových korelačních koeficientů vyplývá, že není žádná závislost mezi obsahem síry v rostlině z odběrů na začátku prodlužovacího růstu a druhého odběru na začátku

kvetení v porovnání půdní síry měřené pomocí Mehlicha 3 a vodného výluhu na všech půdách. Přičemž všechny obsahy síry měřené v rostlině vykazovaly pozitivní korelaci, avšak měřené poměry N/S v rostlině při obou odběrech vzorků vykazovaly vždy korelaci negativní.

Přičemž poměr N/S je univerzálním kritériem hodnocení příjmu síry rostlinou, které je méně závislé na vegetační fázi rostliny, ale i přesto nízký poměr N/S může svědčit o dostatečném obsahu síry, i přesto že obsah dusíku i síry je v půdě nedostatečný (Matula 2011, Sumner 1978). Dle Matuly (2007) znalost poměru N/S v rostlinné biomase může být univerzálnějším kritériem diagnostiky, méně závislým na fenologické fázi rostliny, než obsah síry v rostlinné biomase. Také uvádí, že optimální hodnota poměru N/S je 14,87-15,77:1. Použitím stanovení celkového obsahu síry a dusíku v rostlině selhává především z důvodu proměnlivého obsahu nemetabolizované síry v rostlinách během odlišných fenofází (Matula 2007).

V případě odběrů vzorků na půdách s širokým rozpětím pH vyšlo najevo, že nejsilněji koreluje obsah síry odebraný na začátku prodlužovacího růstu v porovnání s půdním obsahem síry stanoveným Mehlichem 3 ($r = 0,606$), ovšem obsah síry v rostlině odebrané na začátku prodlužovacího růstu v porovnání s vodným výluhem na všech porovnávaných půdách, vyšel korelační koeficient $r = 0,185$. Na alkalických půdách nejsilnější korelace byla zaznamenána mezi obsahem síry v rostlině odebrané na začátku kvetení v porovnání s půdní sírou stanovenou v Mehlichu ($r = 0,554$), oproti tomu nejslabší korelace byla pozorovaná při odběru prvního vzorku na začátku prodlužovacího růstu v porovnání s Mehlichem, kdy korelační koeficient byl $r = 0,116$. Poměr N/S na nealkalických půdách vykazoval nejslabší korelaci na začátku prodlužovacího růstu v porovnání s půdní sírou stanovenou ve vodném výluhu ($r = - 0,053$), nejsilněji koreloval obsah síry v rostlině na začátku kvetení s porovnáním ve vodném výluhu s korelačním koeficientem $r = 0,54$.

V druhé části práce jsme se zabývali tím, jakých hodnot by ideálně měl dosahovat obsah síry v půdě v různých činitlech z hlediska optimálního příjmu síry rostlinou. Optimální hodnotu lze charakterizovat jako dobrý obsah síry v půdě, přičemž k udržení vysokých výnosů a kvality produkce je důležité, abychom tento obsah zvyšovali. Dle Bečky et al. (2007) optimální hodnota síry v řepce na začátku prodlužovacího kvetení by měla být 0,45 % = 4500 ppm, a v druhém odběru na začátku kvetení 0,55 % = 5500 ppm. Optimální hodnota poměru N/S by měla dosahovat dle Matuly (2007), 15,32 ppm. Zjištěné výsledky jsem uvedl v tabulce č. 2, kde můžeme sledovat nejvyšší vypovídající hodnotu mezi obsahem síry odebrané v prvním odběru na začátku prodlužovacího růstu v porovnání s extrakčním činitlem Mehlich 3 na všech půdách, z důvodu, že byla zjištěna nejsilnější korelace. I přesto, že nejvíce vypovídající hodnota

byla sledována při odběru začátkem prodlužovacího růstu, tak nejnižší korelace byly zjištěny také při odběru řepky ozimé na začátku prodlužovacího růstu.

Tab. č. 2: Zjištěné výsledky korelace a optimální hodnoty obsahu síry v závislosti na sledovaných parametrech. Seřazené podle nejsilnějšího Pearsonova korelačního koeficientu (r).

parametr	fáze růstu	metoda	půda	r	funkce	opt. hodnota (ppm)
S	BBCH 30	M3	VP	0,606	lineární	13,39
S	BBCH 61	M3	pH > 6,99	0,554	exponenciální	10,51
S	BBCH 61	M3	VP	0,553	lineární	18,63
N/S	BBCH 30	H2O	pH > 6,99	-0,542	exponenciální	9,71
S	BBCH 61	H2O	pH < 7,00	0,54	lineární	12,68
S	BBCH 61	H2O	VP	0,527	exponenciální	9,87
N/S	BBCH 30	M3	pH < 7,00	-0,526	exponenciální	10,86
S	BBCH 61	M3	pH < 7,00	0,523	lineární	21,61
S	BBCH 30	M3	pH < 7,00	0,514	exponenciální	16,04
N/S	BBCH 61	H2O	pH < 7,00	-0,514	exponenciální	5,75
N/S	BBCH 61	H2O	VP	-0,464	exponenciální	7,3
S	BBCH 61	H2O	pH > 6,99	0,456	exponenciální	14,85
N/S	BBCH 61	M3	pH < 7,00	-0,451	lineární	4,08
N/S	BBCH 61	H2O	pH > 6,99	-0,447	exponenciální	7,91
N/S	BBCH 30	M3	VP	-0,385	exponenciální	9,3
N/S	BBCH 30	H2O	VP	-0,384	exponenciální	9,69
S	BBCH 30	H2O	pH > 6,99	0,382	exponenciální	10,16
N/S	BBCH 61	M3	pH > 6,99	-0,312	exponenciální	11,63
N/S	BBCH 30	M3	VP	-0,26	exponenciální	14,49
N/S	BBCH 30	M3	pH > 6,99	-0,241	exponenciální	9,15
S	BBCH 30	H2O	pH < 7,00	0,219	lineární	10,13
S	BBCH 30	H2O	VP	0,185	exponenciální	12,18
S	BBCH 30	M3	pH > 6,99	0,116	exponenciální	12,05
N/S	BBCH 30	H2O	pH < 7,00	-0,053	lineární	11,21

S = obsah síry v rostlině

N/S = poměr dusíku a síry v rostlině

BBCH 30 = začátek prodlužovacího růstu

BBCH 61 = začátek kvetení

M3 = extrakční činidlo Mehlich 3

H2O = vodný výluh

r = Pearsonův korelační koeficient

7 Závěr

- Byla potvrzena hypotéza o tom, že vyluhovací činidlo Mehlich 3 je spolehlivá metoda pro stanovení přijatelného obsahu síry při pěstování ozimé řepky. Byla potvrzena na nealkalických půdách v porovnání s obsahem síry při prvním odběru na začátku prodlužovacího růstu, na začátku kvetení, ale i k poměru N/S, kde bylo z výsledku patrné, že na půdách s $\text{pH} < 7,00$ docházelo k nejvyrovnanějším a vysokým výsledkům korelačního koeficientu.
- Hypotéza, že poměr N/S v nadzemní biomase je výhodnější parametr hodnocení výživného stavu ozimé řepky sírou než obsah síry v nadzemní biomase, byla z části potvrzena v závislosti na použití Mehlich 3 nebo vodného výluhu, jelikož nejlepších korelačních koeficientů dosahoval parametr obsahu síry v rostlině stanoveným extrakčním činidlem Mehlich 3. Oproti tomu porovnání obsahu N/S v nadzemní biomase a použití Mehlich 3, hodnoty mezi sebou vykazovaly nejnižší průměrnou korelaci. Při stanovení přijatelné půdní síry pomocí vodného výluhu je z výsledku zřejmé, že poměr N/S v nadzemní biomase je výhodnější parametr k hodnocení výživného stavu ozimé řepky.

8 Literatura

- Abrol YP, Ahmad A. 2003. Sulphur in Plants. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht.
- Ahmad A, et al. 2007 in Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Ahmad A, et al. 2011 in Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Balík J, Černý J, Kulhánek M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Balík et. al. 2009 in Kulhánek M, Balík J, Černý J. 2011. Změny obsahu a forem síry v půdách. Pages 27-31 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Baranyk P, Fábry A, et al. 2007. Řepka – pěstování – využití – ekonomika. Profi Press, Praha.
- Baranyk P, et. al. 2010. Olejniny. Profi Press, Praha.
- Bečka D, Vašák J, Zukalová H, Mikšík V. 2007. Řepka ozimá – Pěstitelský rádce. Kurent. České Budějovice.
- Blake-Kalff MMA, Harison KR, Hawkesford MJ, Zhao FJ, McGrath SP. 2000. Diagnosing sulfur deficiency in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Soil **225**: 95-107.
- Čermák P, Mühlbachová G, Káš M, Vavera R, Pechová M. 2017. Metodický postup pro stanovení obsahu mikroelementů metodou Mehlich 3 a návrh kritérií hodnocení jejich obsahu v zemědělských půdách. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Český statistický úřad. 2018. Osevní plocha řepky v České republice. Český statistický úřad. Available from www.czso.cz (accessed March 2019).
- Falk LK, Tokuhisa GJ, Gershenzon J. 2007. The Effect of Sulfur Nutrition on Plant Glucosinolate Content: Physiology and Molecular Mechanisms. Max Planck Institute for Chemical Ecology. Jena. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17853357> (accessed March 2019).

- Fazli IS, Abdin MZ, Jamal A, Ahmand S. 2005. Intercative effect of sulphur and nitrogen on lipid accumulation, acetyl-CoA concentration and acetyl-CoA carboxylase activity developing seeds of oilseed crops (*Brassicacampestris* L. and *Erucasativa* Mill.). *Plant Science* **1**: 29-36.
- Fecenko J, Ložek O, Kulich S. 2001. Problematika potreby hnojív s obsahom síry v SR. Pages 71-75 in Vaněk V, Kolář L, Pavlíková D, Tlustoš editors. Racionální použití hnojív zaměřené na problematiku síry v rostlinné výrobě. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Filipek-Mazur B, Mazur K, Labudda J. 2001. Problems of sulphur in plant nutrition and sulphur containing fertilizers on Poland. Pages 76-83 in Vaněk V, Kolář L, Pavlíková D, Tlustoš editors. Racionální použití hnojív zaměřené na problematiku síry v rostlinné výrobě. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Fismes J, Vong PC, Guckert A, Frossard E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napis* L.) grown on a calcereous soil. *European Journal of Agronomy* **12**: 127-141.
- Hřivna L, Nedomová Š, Sapáková E, Říha K, Ševčík V. 2015. Vliv pozdní aplikace mimokořenové výživy na zdravotní stav, výnos a kvalitu semen ozimé řepky. Pages 69-72 in Švachula V, Vach M, Bečka D, editors. Prosperující olejniný 2015. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kowalenko CG. 2008. Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. *Canadian Journal of Soil Science* **88**: 733-747.
- Kulhánek M, Balík J, Sedlár O, Zbiral J, Smatanová M, Suran P. 2018. Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kulhánek M, Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kulhánek M, Balík J, Černý J. 2011. Změny obsahu a forem síry v půdách. Pages 27-31 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojív zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kunzová E. 2010. Výživa rostlin a hnojení draslíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

- Leggett JE, Epstein E. 1956 in Kulhánek M, Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Liška M. 2018. Situační a výhledová zpráva: Olejníny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available from http://eagri.cz/public/web/file/583063/SVZ_Olejny_12_2017.pdf (accessed February 2019).
- Lopéz-Bucio J, et al. 2003 in Pavlíková D, Vaněk V, Pavlík M, Kolář L. 2011. Úloha síry v rostlinách a její potřeba pro rostliny. Pages 21-26 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Mader P, Čurdová E. 1997. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. Chemické listy **91**: 227-236.
- Malarz W, et al. 2011 in Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Malina J. 2013. Přednost řepky: mnohostranné využití. Zemědělec. Available from <https://www.zemedelec.cz/prednost-repky-mnohostranne-vyuziti-2/> (accessed February 2019).
- Matula J. 2011. Diagnostika výživného stavu rostlin sírou. Pages 48-57 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Matula J. 2007. Výživa a hnojení sírou. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. Available from <https://www.vurv.cz/sites/File/Publications/ISBN978-80-87011-15-7.pdf> (accessed February 2019).
- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant, Communications on Soil Science and Plant Analysis. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103628409367568> (accessed April 2019).
- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communications on Soil Science and Plant Analysis **15**: 1409-1416.

- Pavlíková D, Vaněk V, Pavlík M, Kolář L. 2011. Úloha síry v rostlinách a její potřeba pro rostliny. Pages 21-26 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Rehman HU, et al. 2013 in Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Richter R, Hřivna L. 2001. Využití mořidel, fyziologicky aktivních látek a hnojení sírou ke zlepšení výkonnosti a zdravotního stavu řepky ozimé. Ministerstvo zemědělství, Opava.
- Ryant P, Hřivna L. 2011. Vliv síry na kvalitu produkce. Pages 40-47 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Sims JR, Haby VA. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. Soil Science **112**: 137-141.
- Skwierawska M, Benedycka Z, Jankowski K, Skwierawski A. 2016. Sulphur as fertiliser component determining crop yield and quality. Journal of Elementology **2**: 609-623.
- Stevenson FJ, Cole MA. 1996 in Tlustoš P, Pavlíková D, Vaněk V, Habart J. 2011. Síra v životním prostředí. Pages 15-19 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Subhani A, et al. 2003 in Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Sumner ME. 1978. Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. Communications in Soil Science and Plant Analysis **9**: 335-345.
- Tlustoš P, Pavlíková D, Balík J, Száková J. 2001. Koloběh síry v půdě a v prostředí. Pages 20-26 in Vaněk V, Kolář L, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry v rostlinné výrobě. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Trávník K. 2001. Agrochemické zkoušení zemědělských půd. Úroda. Available from <https://www.uroda.cz/agrochemicke-zkouseni-zemedelske-pudy/> (accessed March 2019).

- Trávník K, Zbiral J, Němec P. 1999. Agrochemické zkoušení zemědělských půd – Mehlich III. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, Brno.
- Valenta J. 2011. Sortiment hnojiv se sírou a její zdroje. Pages 58-60 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, Praha.
- Vaněk V, Kolář L, Štípek K, Jakl M. 2001. Úloha síry v rostlinách a její potřeba. Pages: 27-34 in Vaněk V, Kolář L, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry v rostlinné výrobě. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Vašák J, et al. 2000. Řepka. Agrospoj, Praha.
- Walker K, Booth EJ. 2003 in Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis **2**: 555-562.
- Yan W, Zhong Y, Shangguan Z. 2015. The relationships and sensibility of wheat C:N:P stoichiometry and water use efficiency under nitrogen fertilization. Plant, Soil and Environment **61**: 207-207.
- Zbiral J. 2016. Determination of plant-available micronutrients by the Mehlich 3 soil extractant – a proposal of critical values. Plant Soil Environ **62**: 527-531.
- Zbiral J. 2000. Determination of phosphorus in calcareous soil by Mehlich 3, Mehlich 2, CAL and Egner extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis **31**: 3037-3048.

