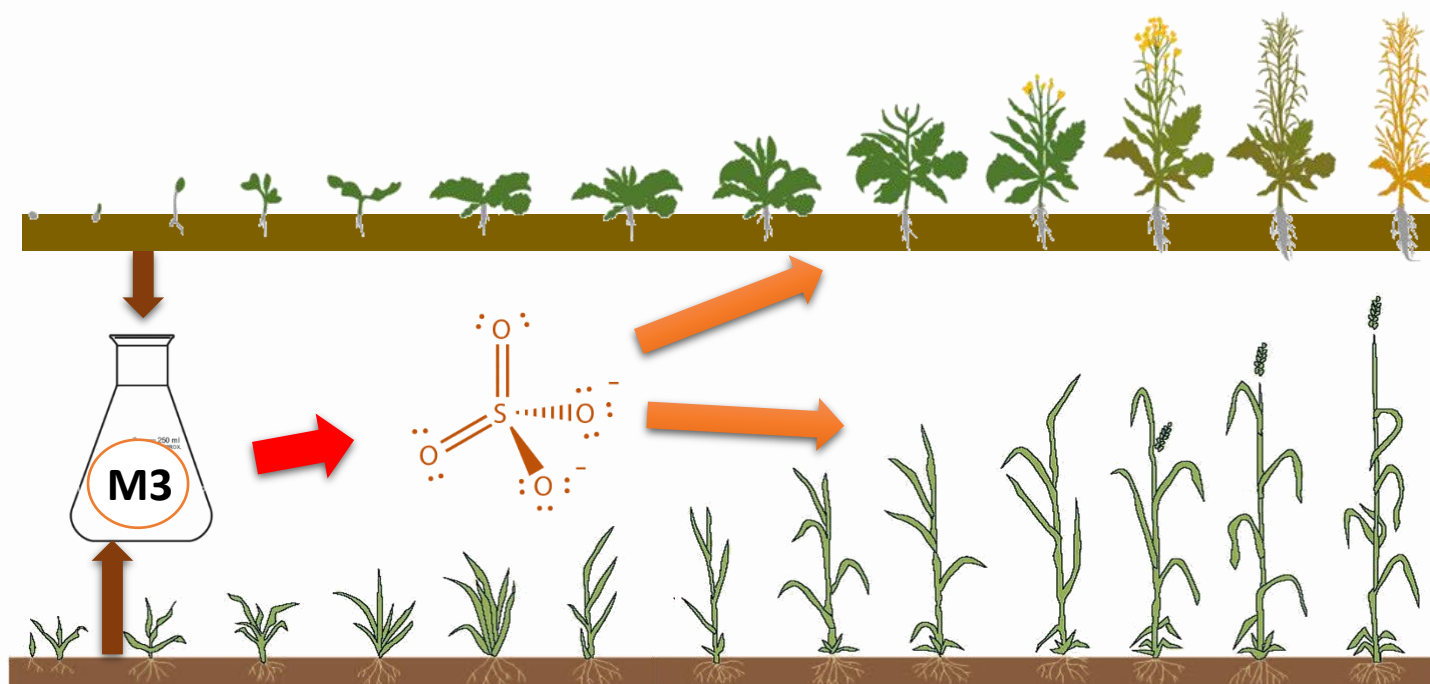


Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3

Certifikovaná metodika

Martin Kulhánek, Jiří Balík, Ondřej Sedlář, Jiří Zbíral,
Michaela Smatanová, Pavel Suran



Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení výzkumného projektu
NAZV č. **QJ 1530171**

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ V BRNĚ



Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3 **CERTIFIKOVANÁ METODIKA**

Martin Kulhánek
Jiří Balík
Ondřej Sedlář
Jiří Zbíral
Michaela Smatanová
Pavel Suran

Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení výzkumného
projektu NAZV č. QJ 1530171

Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

(Osvědčení č.j. 62354/2018-MZe-17221 o uznání certifikované metodiky)

Dedikace: Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu NAZV č. QJ 1530171 „Rozšíření využitelnosti a aktualizace kategorií pro stanovení obsahu přístupných makro a mikroživin v půdě v rámci zajištění trvale udržitelné úrodnosti a produkční schopnosti zemědělských půd“

Kolektiv autorů:

Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.¹

Prof. Ing. Jiří Balík, CSc., dr. h. c. et dr. h.c.¹

Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.¹

RNDr. Jiří Zbíral, Ph.D.²

Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.²

Ing. Pavel Suran¹

¹Česká zemědělská univerzita v Praze

²Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně

Oponenti metodiky:

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství ČR, odbor rostlinných komodit
Doc., Ing. Pavel Ryant, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Děkan agronomické fakulty

Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3

Martin Kulháněk a kol., vydání první, 2018,

Vydavatelství: Česká zemědělská univerzita v Praze, Tisk PowerPrint s.r.o., Brandejsovo nám.
1219/1, 165 00 Praha 6 – Suchbát, www.powerprint.cz

© Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, FAPPZ

165 21 Praha 6 – Suchbát, <http://www.af.czu.cz>

ISBN 978-80-213-2893-8

Obsah:

1. Cíle Metodiky	1
2. Vlastní popis metodiky.....	1
3. Srovnání „novosti postupů“	1
4. Popis uplatnění metodiky	2
5. Úvod	2
6. Možnosti využití analýz půd a rostlin	3
6.1. Potenciál metody Mehlich 3 pro stanovení přístupné síry v půdě	4
6.1.1. Srovnání výsledků Mehlich 3 s ostatními metodami pro stanovení S	5
6.1.2. Srovnání výsledků Mehlich 3 s obsahy S v rostlinách a jejími odběry	10
6.1.2.1. Vegetační testy	13
6.1.2.2. Hodnocení odběrů v provozních podmínkách.....	16
6.2. Předběžný návrh kritérií pro hodnocení obsahu S v půdách pomocí metody Mehlich 3...21	
7. Aktuální obsahy síry v půdách ČR stanovené metodou Mehlich 3	22
7.1. Obsahy síry v půdě hodnocené v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd....22	
7.2. Obsahy přístupné síry v půdě hodnocené v bazálním monitoringu půd.....	23
7.3. Změny obsahu přístupné síry v dlouhodobých pokusech	25
8. Shrnutí výsledků a závěry pro praxi.....	27
9. Ekonomické přínosy využití výsledků této metodiky	29
10. Seznam publikací, které předcházely metodice	30
11. Použitá literatura	31

1. Cíle Metodiky

Cílem této metodiky je seznámit odbornou i vědeckou veřejnost s možnostmi a omezeními při stanovení rostlinám přístupné síry v půdě pomocí extrakčního činidla Mehlich 3. Uváděná doporučení vycházejí z výsledků řešení projektu NAZV č. QJ 1530171.

2. Vlastní popis metodiky

Mnoho studií potvrzuje výrazný úbytek rostlinám přístupné síry v půdě v posledních desetiletích. Hnojení sírou se tak z dříve poměrně nepotřebné (nezáměrné) záležitosti stává aktuálním problémem. Zejména z důvodu, že problematika síry byla ještě v nedávné době řešena jen extenzivně, chybí v zemědělské praxi údaje o obsahu rostlinám skutečně přístupné síry v půdě a potřebě hnojení S. V ČR je pro stanovení obsahu přístupných živin (P, K, Ca a Mg) v půdě používáno činidlo Mehlich 3. Jeho výhodou je univerzálnost a relativně jednoduché provedení. Využití optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem pro měření obsahu živin ve výluhu se již stává běžnou rutinou, a tak se nabízí mj. i možnost rozšíření využitelnosti metody Mehlich 3 i pro stanovení obsahu síry v půdě. Tato metodika je rozdělena do pěti hlavních částí: 1) srovnání výsledků Mehlich 3 s běžně používanými metodami pro stanovení přístupné S v půdě, 2) vztah výsledků Mehlich 3 s obsahem S v nadzemní hmotě vybraných rostlin, 3) využití indexů S a jejich srovnání s výsledky metody Mehlich 3, 4) zásobenost půd ČR přístupnou sírou stanovenou metodou Mehlich 3 a kritéria pro její hodnocení 5) návrhy kategorií zásobenosti půd sírou na základě výsledků metody Mehlich 3.

3. Srovnání „novosti postupů“

Metodika vychází z výsledků řešení projektu NAZV QJ 1530171. Zde byly obsahy S stanoveny v široké škále půdních druhů a typů České republiky. Novost této metodiky spočívá především v návrhu přepočtů obsahů přístupné síry z běžně používaných metod na obsahy S v Mehlich 3 včetně uvedení spolehlivosti. Dále je zde nově popsáno srovnání obsahů

síry v půdě s obsahy S v hlavních pěstovaných plodinách. V neposlední řadě je hodnocena zásobenost půd ČR sírou včetně návrhu kategorií.

4. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena zemědělcům, zemědělským poradcům, vlastníkům zemědělské půdy a orgánům státní správy.

5. Úvod

Fakt, že v půdách v posledních desetiletích výrazně poklesly obsahy přístupné síry, je rozebírán již v mnoha studiích. Proto se zde není třeba zabírat tímto tématem dopodrobna. Hlavní příčiny tohoto poklesu jsou ve stručnosti následující: 1) Pokles vstupů S v atmosférických depozicích, 2) Pěstování moderních odrůd s vyššími výnosy, a s tím spojenými vyššími nároky na síru, 3) Menší míra použití hnojiv, kde je S „balastní“ látkou (jednoduchý superfosfát).

Zatímco se obsah organické síry v půdách mění jen pozvolna, obsah minerální (zejména přístupné) S už se často vyskytuje na hranici nedostatku pro běžně pěstované plodiny. V době, kdy se v půdě vyskytovalo dostatečné (často až nadbytečné) množství přístupné síry, nebyla logicky věnována pozornost jejímu stanovení. Posloupnost řešení problematiky nedostatku S v půdách je tak přibližně následující: 1) výrazný pokles obsahu přístupné S v půdách a první projevy nedostatku S u rostlin (v ČR okolo roku 1995), 2) hledání vhodných metod pro stanovení obsahu přístupné síry v půdě, popřípadě v rostlinách a srovnání výsledků v ČR a v zahraničí, 3) konkrétní návrhy pro hnojení sírou a 4) optimalizace hnojení S v zemědělské praxi. Je nutno zmínit, že při tvorbě této metodiky se nacházíme mezi druhým a čtvrtým zmíněným bodem. Existuje ještě stále mnoho nezodpovězených otázek ohledně vhodné metody pro stanovení přístupné S, avšak současné výsledky je už možno částečně využít pro tvorbu přibližných kritérií zásobenosti a optimalizaci hnojení sírou.

Jako jedna z možných metod pro stanovení obsahu síry v půdě je uváděna metoda Mehlich 3. Nesporné výhody tohoto postupu spočívají v univerzálnosti (možnosti stanovení

makro- i mikroprvků), relativní jednoduchosti provedení a běžném použití v ČR (ÚKZÚZ) i v zahraničí. Naproti tomu je však nutné uvést i otázky spojené s nevýhodami tohoto postupu: Jaké množství rostlinám přístupných živin činidlo opravdu stanoví? Jak ovlivní extrakční účinnost neutralizace činidla na karbonátových půdách? Jak přesná jsou uváděná kritéria zásobenosti živinami vzhledem k potřebě hnojení?

Výsledky metody Mehlich 3 byly donedávna technikou omezeny pouze na stanovení P, K, Ca a Mg. Většina modernějších laboratoří však již v současnosti disponuje optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem, která za srovnatelných nákladů umožňuje i paralelní stanovení S a mikroprvků. Proto se nabízí otázka rozšíření využitelnosti metody o stanovení síry. Na tuto otázku se budeme alespoň částečně snažit odpovědět v předložené metodice pro praxi.

6. Možnosti využití analýz půd a rostlin

Za přístupnou síru v půdě je považována především síra v půdním roztoku, vyskytující se v síranové formě (SO_4^{2-}). Dalším snadno dostupným zdrojem je však zpravidla i síra adsorbovaná na povrchu půdních částic. Mezi touto frakcí S a půdním roztokem se udržuje rovnováha. Adsorbovaná síra tak snadno přechází do půdního roztoku, ale i naopak. Tyto dvě nejdostupnější formy síry představují jen velmi malý podíl z celkové S, nepřesahující zpravidla 2 %. Větší část síry v půdě (organická a okludovaná) je rostlinám dostupná jen obtížně. Přesto je nutné s ní počítat z dlouhodobého hlediska.

Existuje řada extrakčních postupů, které jsou uváděny jako vhodné pro stanovení přístupné síry. Jedná se zpravidla o vodný výluh (Walker a Doomenbal, 1972) nebo roztoky slabých solí, jako např. CaCl_2 , LiCl nebo NaCl (Tabatabai, 1982; Saalbach a Aigner, 1987). Avšak Matula (1999, 2001) konstatuje, že významným nedostatkem 0,01 M CaCl_2 je možnost tvorby nerozpustných solí v průběhu extrakce a tím také stanovení nižších hodnot. Autor zdůrazňuje chybu stanovení zejména při nízkých obsazích síry v půdě. V těchto sděleních získal také těsné korelace s odběrem S rostlinami při použití půdní pasty.

Pro kombinovanou extrakci rozpustného a adsorbovaného SO_4^{2-} bylo doporučeno několik extraktantů: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (Barrow, 1967), NaHCO_3 (Kilmer a Neary, 1960) a octan amonný (Bardsley a Lancaster, 1960). Dále byly doporučeny roztoky obsahující fosfor ve formě

KH_2PO_4 (Ensminger, 1954) nebo $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ (Fox et al., 1964). Oba roztoky obsahují dost fosfátů k výměně většiny adsorbované síry a množství adsorbovaného SO_4^{2-} extrahovaného $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ se může pohybovat od < 1 až do několika tisíc mg/kg půdy.

Další hojně využívanou analýzou je frakcionace minerální síry. Tou je možné stanovit zvlášť podíl síry v půdním roztoku a podíl adsorbované síry. Jejich součtem je pak možné získat informaci o podílu přístupné síry v půdě (Shan et al., 1997, Förster et al., 2012). Tato frakcionace je (včetně třetího kroku pro stanovení okludované S) podrobně popsána v metodice pro praxi Kulhánek et al. (2013).

6.1. Potenciál metody Mehlich 3 pro stanovení přístupné síry v půdě

Metoda Mehlich 3 je v ČR již od roku 1999 využívána pro stanovení přístupného P, K, Ca a Mg. V současné době je otázkou možnost využití této metody pro stanovení dalších živin, popřípadě i rizikových prvků. Tato metodika je zaměřena především na otázku přístupné síry. Jednou z možností jak zjistit potenciál metody Mehlich 3 pro stanovení přístupné S je porovnat získané výsledky s metodami, které byly již za tímto účelem ověřeny (např. Shan et al., 1997).

Mehlich 3 je považován za jedno z nejsilnějších extrakčních činidel pro stanovení přístupných živin. Proto je zde riziko, že bude stanoven i určitý podíl nepřístupné síry. Proto je důležité i srovnání výsledků s naměřenými obsahy zejména organické síry.

Zřejmě nejdůležitější je však sledování odezvy samotných rostlin, to znamená porovnání výsledků půdních rozborů s rozborů rostlin, včetně zahrnutí různých indexů beroucích v potaz i další faktory ovlivňující příjem S. Všechny tyto části jsou řešeny v následujících kapitolách.

6.1.1. Srovnání výsledků Mehlich 3 s ostatními metodami pro stanovení S

Za tímto účelem bylo analyzováno 98 půdních vzorků z různých stanovišť. Ta byla zvolena jednak, aby reprezentovala širokou škálu obsahů S a jednak různé půdní druhy a typy vyskytující se v ČR. Základní charakteristiky stanovišť jsou uvedeny v tabulce 1. Tyto vzorky byly analyzovány metodami pro stanovení následujících frakcí síry:

- Síra v půdním roztoku (S_{H_2O})
- Adsorbovaná síra stanovená 0,032 mol/l NaH_2PO_4 (S_{ads})
- Rostlinám přístupná síra $S_{př}$ – vypočtena jako součet $S_{H_2O} + S_{ads}$
- Síra stanovená v 1 mol/l HCl (S_{HCl})
- Síra redukovatelná kyselinou iodovodíkovou (S_{HI})
- Celková síra (S_{tot})
- Estersulfátová síra (S_{es}) – vypočtena jako rozdíl $S_{HI} - S_{př}$.
- Organická síra ($S_{org.}$) – vypočtena jako $S_{tot} - (S_{př} + S_{HCl})$
- Síra stanovená extrakcí Mehlich 3 (S_{M3})

Popis stanovení S_{H_2O} , S_{ads} , S_{HCl} a S_{HI} je podrobně popsán v metodice Kulhánek et al. (2013), dostupné volně mj. na odkazu <http://metodiky.agrobiologie.cz/PDF/KAVR/VYUZITI-ANALYZ-FRAKCI-MINERALNI-SIRY-V-PUDE-K-OPTIMALIZACI-HNOJENI.pdf>. Proto zde nejsou detailněji popisovány. Celkový obsah S byl analyzován v jemnozemi po extrakci koncentrovanými kyselinami (dusičná, chlorovodíková a jodovodíková 8:5:2 ml). Suspenze byla podrobena mikrovlnné digesci při 210 °C po dobu 33 minut. Všechny výluhy byly měřeny optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES).

Tabulka 1.: Základní charakteristiky použitých půd

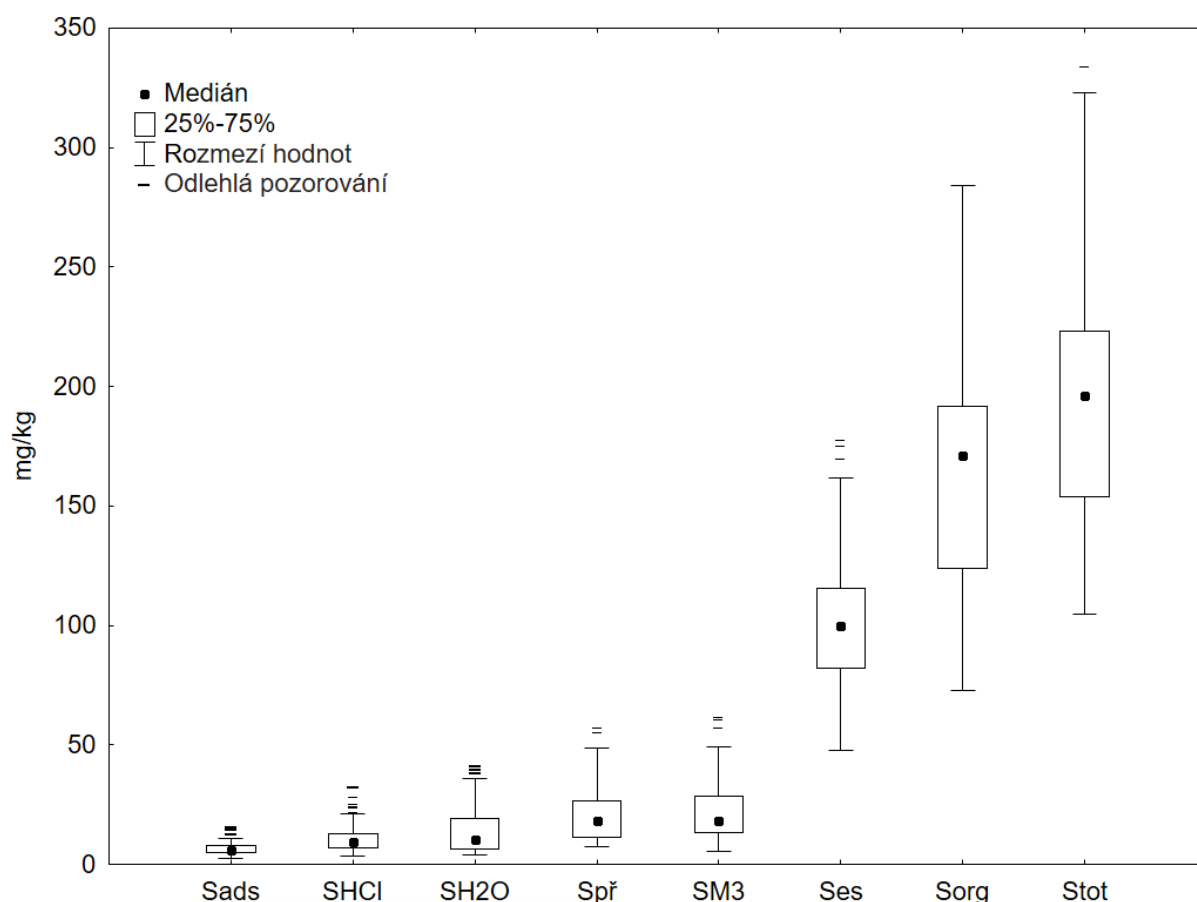
č.	n*	Půdní typ	Nadm. výška m n. m.	Roční průměr		Půdní textura (v %)					N _{tot} (%)	C _{org} (%)	pH **
				teplota (°C)	srážky (mm/m ²)	<0,001	0,001- 0,01	0,01- 0,05	0,05- 0,25	0,25-2 mm			
1	6	Luvizem arenická	345	7.1	798	10,5	17,8	56,1	13,8	1,80	0,08	0,99	5,7
2	12	Luvizem haplická	265	8.2	574	4,36	21,3	60,0	5,20	13,5	0,11	0,98	5,9
3	6	Kambizem oglejená	472	7.4	573	6,70	13,7	16,6	18,8	44,0	0,12	0,80	5,8
4	14	Kambizem haplická	525	7.0	665	5,84	24,0	25,4	9,40	41,2	0,09	1,24	5,1
5	6	Fluvizem glejová	425	7.5	535	18,1	20,7	38,5	14,1	8,70	0,12	1,03	6,1
6	6	Kambizem dystrická	645	6.1	605	5,90	16,6	20,5	25,6	21,4	0,14	1,09	5,7
7	6	Luvizem haplická	460	7.6	606	10,8	16,9	16,1	19,3	37,0	0,14	0,88	7,1
8	6	Kambizem mezobazická	505	7.7	632	7,90	17,8	24,5	20,9	28,9	0,13	0,99	5,5
9	6	Luvizem haplická	196	9.2	551	17,3	14,8	26,4	30,4	11,5	0,12	1,06	6,6
10	6	Albeluvizem haplická	290	8.0	650	10,1	18,0	61,8	8,70	1,50	0,12	0,97	5,9
11	6	Černozem haplická	300	8.4	581	16,2	16,0	40,9	23,9	3,10	0,12	1,34	7,2
12	12	Černozem haplická	286	9.1	495	3,18	17,4	56,6	6,14	19,9	0,12	1,11	7,4
13	6	Černozem haplická	247	8.3	454	21,7	16,5	26,6	24,0	11,2	0,17	1,53	6,4

* počet půdních vzorků z dané lokality (půdy odebrány z různých variant hnojení a v různých letech)

** pH bylo stanoveno v 0,01 mol/l CaCl₂

Popisné charakteristiky naměřených hodnot jsou uvedeny v grafu 1. Mediány získaných hodnot lze seřadit v pořadí $S_{ads} < S_{HCl} < S_{H_2O} < S_{př.} < S_{M3} < S_{es} < S_{org} < S_{tot}$. Zajímavým výsledkem je především poměrně nízký obsah síry stanovený metodou Mehlich 3. Ten je prakticky shodný s obsahem přístupné síry. **Medián činil v případě $S_{př}$ 18,0 a v případě S_{M3} 18,2 mg S/kg. To ukazuje na fakt, že v případě síry není Mehlich 3 tak silným extraktantem jako v případě ostatních makroprvků.**

Graf 1.: Popisné charakteristiky obsahů jednotlivých forem síry v půdách (n = 98)



Ověření, zda jsou roztokem Mehlich 3 stanoveny i některé nepřístupné podíly S bylo dále prováděno korelační a regresní analýzou. Výsledky korelační analýzy jsou uvedeny v tabulce 2. Ke zpřesnění části výsledků jsou zde zařazeny i obsahy S ve vzorcích odebraných z zemědělských provozů v letech 2015 – 2017, jejichž popisné charakteristiky jsou uvedeny v kapitole 6.1.2. Zde byl kromě S_{M3} stanoven rovněž obsah S_{H_2O} , S_{ads} a $S_{př.}$. Proto je počet hodnocených vzorků v případě těchto proměnných 258. Zde stojí za zdůraznění především velmi těsné vztahy mezi metodou Mehlich 3, adsorbovanou, vodou extrahovatelnou a

celkovou přístupnou sírou. Hodnoty korelačních koeficientů přesáhly v uvedených případech téměř vždy hodnotu $r = 0,8$. Z toho jednoznačně vyplývá, že metoda Mehlich 3 vykazuje podobné výsledkové trendy s metodami uváděnými v literatuře jako vhodnými pro stanovení přístupné S. Jak již bylo zmíněno, důležité je rovněž srovnání výsledků metody Mehlich 3 s obtížně přístupnými frakcemi půdní S. Zde byly zjištěny neprůkazné vztahy mezi S_{M3} a estersulfátovou sírou a rovněž nižší průkaznost mezi S_{M3} a organickou sírou. Nižší významnost byla rovněž zjištěna u vztahu S_{M3} a S_{HCl} . Extrakce síry 1 mol/l HCl je primárně určena pro stanovení okludované síry. To však platí v případě měření výluhů iontovou chromatografií. V případě měření ICP OES je nutno vzít v úvahu, že může být měřen i signifikantní podíl organické S, a to zejména v půdách s obsahem $CaCO_3$ nižším než 1 %. Do této kategorie náležela i většina půd z našeho souboru vzorků (79 %). Lze tak předpokládat, že nižší hodnota korelačního koeficientu u vztahu S_{M3} a S_{HCl} je ovlivněna právě přítomností organického podílu S naměřeného v S_{HCl} . Vysoce průkazný vztah S_{M3} a S_{tot} byl pravděpodobně způsoben tím, že do S_{tot} spadají i přístupné frakce S, se kterými metoda Mehlich 3 koreluje velmi úzce.

Tabulka 2.: Korelační analýza jednotlivých frakcí síry (Pearsonův koeficient; $n = 98$, pro S_{H_2O} , S_{ads} , $S_{př}$ a S_{M3} $n=258$)

	S_{H_2O}	S_{ads}	$S_{př}$	S_{HCl}	S_{M3}	S_{org}	S_{es}
S_{ads}	0,704***						
$S_{př}$	0,989***	0,802***					
S_{HCl}	0,274**	0,297**	0,288**				
S_{M3}	0,871***	0,706***	0,881***	0,391**			
S_{org}	0,248*	0,066	0,217*	0,406***	0,349**		
S_{es}	0,076	-0,099	0,040	0,413***	0,112	0,761***	
S_{tot}	0,436***	0,255*	0,411***	0,515***	0,517***	0,975***	0,728***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; korelační koeficienty $> 0,80$ jsou zvýrazněny červeně

Výsledky metody Mehlich 3 byly s ostatními metodami porovnávány rovněž pomocí regresní analýzy (lineární, exponenciální, logaritmická, polynomická, mocninná). Jako nejvhodnější se téměř vždy jevila lineární regrese, a proto jsou její výsledky uvedeny v tabulce 3. Za nejpodstatnější pro tuto metodiku lze považovat vztah S_{M3} a $S_{př}$, kde byla zaznamenána velmi těsná vzájemná závislost. Regresní analýza tak potvrdila výsledky korelační analýzy, to znamená těsné vztahy mezi S_{M3} a přístupnými frakcemi síry a naopak prakticky neprůkazné vztahy mezi S_{M3} a organickými frakcemi S.

Tabulka 3.: Výsledky regresního vztahu výsledků Mehlich 3 (y) a ostatních metod (Pearsonův koeficient; n = 98, pro S_{H_2O} , S_{ads} , $S_{př}$ a S_{M3} n=258)

	a*	b*	R ^{2**}		a*	b*	R ^{2**}
$S_{M3}:S_{H_2O}$	1,243	4,632	0,758	$S_{M3}:S_{es}$	0,043	16,94	0,013
$S_{M3}:S_{př}$	1,072	0,020	0,783	$S_{M3}:S_{org}$	0,081	7,782	0,122
$S_{M3}:S_{ads}$	4,158	- 4,777	0,501	$S_{M3}:S_{tot}$	0,106	0,083	0,267
$S_{M3}:S_{HCl}$	0,827	12,43	0,153				

* Parametry lineární regrese $y = ax + b$; ** regresní koeficient

Vzhledem k tomu, že vztahy mezi hodnotami S_{M3} a všemi přístupnými frakcemi S v půdě byly velmi těsné, je z nich možné s vysokou spolehlivostí vyvodit následující přepočtové rovnice (n = 258):

- **$S_{M3} = 1,243 * S_{H_2O} + 4,632$ (spolehlivost 76 %)**
- **$S_{M3} = 4,158 * S_{ads} - 4,777$ (spolehlivost 50 %)**
- **$S_{M3} = 1,072 * S_{př} + 0,020$ (spolehlivost 78 %)**

Vyjde-li tedy například obsah síry v půdě stanovený vodným výluhem (poměr suché jemnozeme a vody 1:10) 8 mg S/kg, lze dosazením do první rovnice získat vztah $S_{M3} = 1,243 * 8 + 4,632$ a po dopočtu výsledek $S_{M3} = 15 \text{ mg S/kg}$. Pravděpodobnost, že výsledek bude ležet přímo na regresní přímce (tj. že je přepočet zcela přesný) je zde přitom 78 %. Hodnotu 8 mg S/kg ve vodném výluhu zároveň uvádí Marschner (2012) jako hraniční pro nízký obsah síry v půdě. To po přepočtu na S_{M3} znamená, že **vyjde-li obsah síry v půdě stanovený vyluhovadlem Mehlich 3 nižší než 15 mg/kg, nabývá hnojení S na významu**. Z těchto údajů se částečně vycházelo i při návrhu kritérií pro hodnocení obsahu S v půdě. Podobně lze opačným postupem dopočítat i hodnoty S_{H_2O} na základě výsledku S_{M3} .

Shrnutí kapitoly 6.1.1.

Na základě srovnání obsahů síry v půdě naměřených metodou Mehlich 3 s ostatními frakcemi S v půdě lze usuzovat, že metoda Mehlich 3 je vhodná pro stanovení rostlinám

přístupné S minimálně do té míry, jako některé za tímto účelem běžně používané a ověřené metody.

6.1.2. Srovnání výsledků Mehlich 3 s obsahy S v rostlinách a jejími odběry

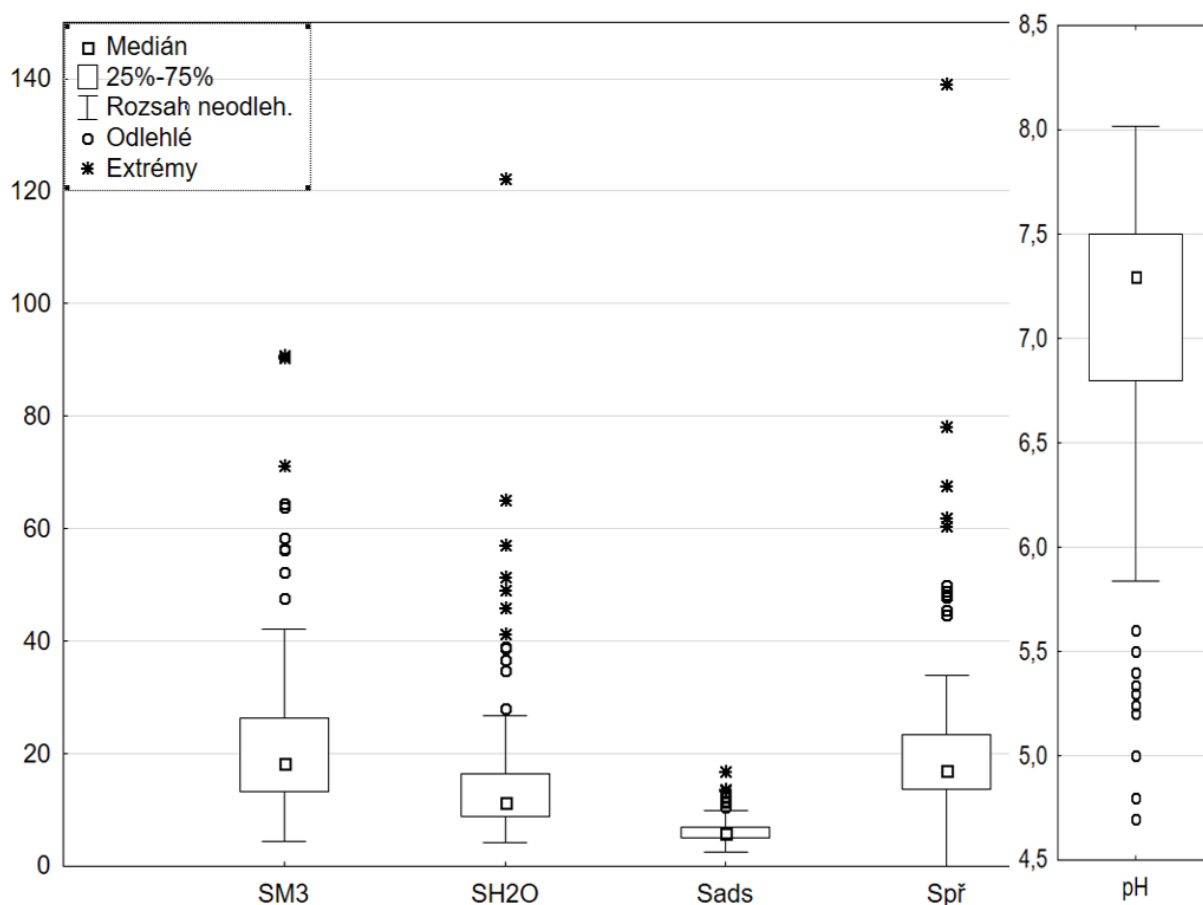
Přestože výsledky z předchozí kapitoly vypadají velmi pozitivně, je nutné uvést, že se jedná pouze o srovnání půdních extrakcí. Mnohem vyšší vypovídací schopnost z hlediska skutečné přístupnosti S má však srovnání výsledků z půdních analýz s rozbory rostlin. Proto byly za účelem sledování těchto vztahů odebírány půdní a rostlinné vzorky z různých pozemků v České republice (BPEJ uvedeny v tabulce 4.). S půdními vzorky pak byly pro doplnění ještě založeny vegetační testy.

Tabulka 4.: Seznam BPEJ lokalit odběru vzorků

č.	BPEJ	č.	BPEJ	č.	BPEJ
1	0.01.00	25	2.08.10	49	3.10.10
2	0.01.10	26	2.10.00	50	3.11.00
3	0.05.01	27	2.13.00	51	3.13.00
4	0.06.10	28	2.16.02	52	3.14.00
5	0.08.00	29	2.17.00	53	3.19.01
6	0.22.10	30	2.19.01	54	3.19.11
7	1.00.00	31	2.21.10	55	3.19.14
8	1.01.00	32	2.22.10	56	3.20.01
9	1.01.10	33	2.23.13	57	3.20.02
10	1.04.01	34	2.25.00	58	3.20.11
11	1.05.01	35	2.31.11	59	3.21.10
12	1.05.11	36	2.63.00	60	3.22.12
13	1.06.00	37	3.01.00	61	3.30.11
14	1.06.02	38	3.02.00	62	3.42.00
15	1.07.00	39	3.02.10	63	3.45.01
16	1.10.00	40	3.03.00	64	3.52.01
17	1.20.01	41	3.05.01	65	3.60.00
18	1.22.12	42	3.05.11	66	3.61.00
19	1.22.13	43	3.06.00	67	4.19.14
20	1.28.04	44	3.06.02	68	4.20.11
21	1.37.16	45	3.07.00	69	5.08.10
22	1.56.00	46	3.07.10	70	5.10.00
23	1.61.00	47	3.08.40	71	5.58.00
24	2.05.01	48	3.10.00	72	8.10.00

Vzorky rostlin a půdy byly odebrány z půdních bloků zahrnutých do pravidelných odběrů pro Agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP), a to v letech 2015 - 2017. Na zájmových odběrových plochách byla pěstována v roce odběru pšenice ozimá, řepka ozimá nebo kukuřice. Cílem bylo získat vzorky z široké škály půdních druhů a typů. Obsahy sledovaných frakcí síry s hodnotou pH jsou uvedeny v grafu 2. Některé vzorky byly odebrány z pozemků se stejnou BPEJ. Z důvodu větší přehlednosti tabulky 4. jsou zde tyto kódy uvedeny jen jednou. Odběrové pozemky byly vytipovány Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským v Brně (ÚKZÚZ).

Graf 2.: Popisné charakteristiky odebraných půdních vzorků (n = 141)



Na vytipované ploše byl odebíráán půdní vzorek (0-30 cm) a současně pěstované plodiny - pšenice ozimá, řepka ozimá a kukuřice v níže uvedených vegetačních fázích. Půdní vzorky byly odebírány vždy pouze v první odebírané vegetační fázi.

Vegetační fáze odebraných rostlinných vzorků byly následující:

Pšenice ozimá

- BBCH 29-30 (tj. ve fázi konec odnožování – počátek sloupkování)
- BBCH 65-69 (tj. ve fázi konec kvetení)

Řepka ozimá

- BBCH 30-32 (tj. ve fázi počátku dlouhivého růstu)
- BBCH 49-51 (tj. ve fázi počátku kvetení)

Kukuřice

- BBCH 16-18 (tj. při přibližné výšce rostlin 40 cm)

Vzorky půd byly vždy usušeny a přesety přes síto o velikosti ok 5 mm. Část byla použita pro založení vegetačních testů a část prosetá přes 2 mm síto (jemnozeme) byla využita pro další analýzy. Rostliny byly rovněž usušeny a zhomogenizovány. Půdní výluhy Mehlich 3 (včetně stanovení S) a stanovení obsahů vybraných prvků v rostlinách byly realizovány Národní referenční laboratoří ÚKZÚZ v Brně. Na ČZU v Praze byly realizovány ostatní doplňující analýzy a vegetační testy (včetně souvisejících analýz). Přehled analýz využitých v této metodice je následující:

- Rozbory půdy
 - Hodnota pH (0,01 mol/l CaCl_2) (1:10) (ISO 10390).
 - Mehlich 3 (Mehlich 1984) (1:10) – S_{M3}
 - Vodný výluh (1:10) – 1. krok frakcionace (S_{H2O})
 - 0,032 mol/l NaH_2PO_4 (1:10) – 2. krok frakcionace (S_{ads})
- Rozbory rostlin
 - Celkový obsah S v rostlině (mikrovlnný rozklad v HNO_3 a H_2O_2)
 - Výnos sušiny nadzemní hmoty (pouze u vegetačních testů)
 - Odběry S (vypočteny pouze u vegetačních testů)

K hodnocení výsledků byly použity zejména korelační a regresní analýzy. K tomu byly využity programy Excel 2016 (Microsoft, USA) a STATISTICA 13.3 (TIBCO Software, USA)

6.1.2.1. Vegetační testy

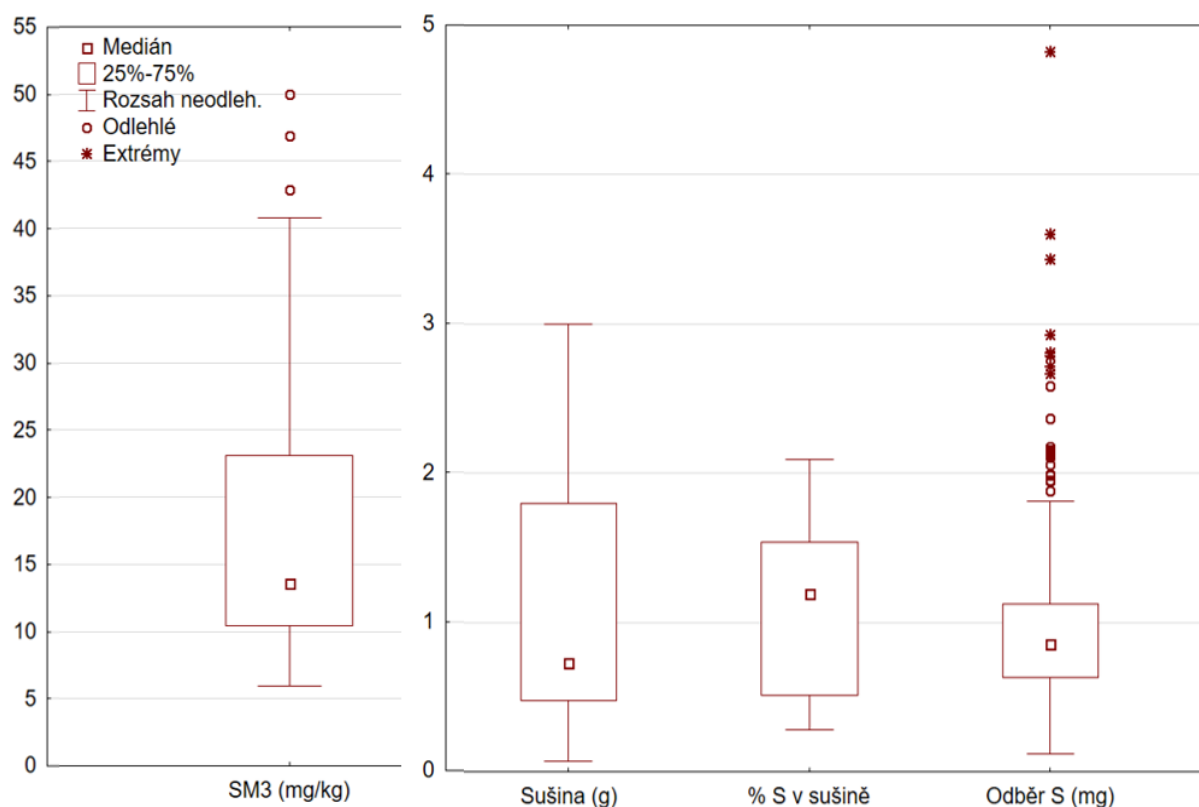
Dva vegetační testy byly založeny v letech 2015 a 2017 z půd odebraných na provozních pozemcích v letech 2015 a 2016. Pokusy probíhaly v klimatickém boxu ČZU. V roce 2015 bylo založeno 168 nádob a 159 nádob v roce 2017. Jako pokusná plodina byla zvolena jarní pšenice (odrůda Chamsin v roce 2015 a Granny v roce 2017). Hmotnost navážené suché zeminy ($\leq 0,5$ mm) činila 500 g. Do nádob, realizovaných ve třech opakováních, byla vždy zaseta 4 zrna pšenice. Vzešlé rostliny byly vyjednoceny na konečný počet dvou jedinců. Zálivkou byl udržován obsah vody v půdě na úrovni $60 \pm 8\%$ vodní kapacity. Po celou dobu pokusu byla udržována teplota v rozmezí 23 ± 3 °C a vzdušná vlhkost $47 \pm 12\%$. Přihnojení bylo provedeno celkem 0,2 g N a 0,2 g K/kg půdy. Dusík byl dodán v roztoku NH_4NO_3 a draslík v roztoku KCl. Nadzemní biomasa rostlin byla sklizena vždy po vymetání klasů (BBCH 59).

Výsledky

Hlavním cílem tohoto pokusu bylo vyhodnotit výsledky metody Mehlich 3 ve vztahu k obsahu síry v nadzemní hmotě pšenice jarní a odběru S touto plodinou vypočteném v mg na nádobu. Popisné charakteristiky obsahů síry v půdě, v rostlině, výnosy sušiny nadzemní hmoty pšenice a odběry S jsou uvedeny v grafu 3.

Vzhledem k tomu, že rozdíly mezi sledovanými ročníky nebyly pro celkové hodnocení podstatné, jsou v grafu uvedeny dohromady hodnoty za oba roky.

Graf 3.: Popisné charakteristiky vegetačních testů (n=327)



Vztahy mezi sledovanými parametry byly rovněž hodnoceny korelační (Pearsonův test) i regresní analýzou. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 5 a 6. Z údajů korelační analýzy vyplývají těsné vztahy mezi obsahy síry stanovenými metodou Mehlich 3 a % S v sušině rostlin. Při stejné hladině významnosti byl průkazný i vztah mezi S_{M3} a odběrem S nadzemní hmotou jarní pšenice. Záporná korelace byla zaznamenána mezi výnosem sušiny a obsahem S v nadzemní hmotě rostlin. To znamená, že se zvyšujícím se výnosem klesá podíl síry v nadzemní biomase. Tento jev lze přičítat zředovacímu efektu.

Jako perspektivní se v současné době jeví využití výpočtů různých indexů zahrnujících především vztahy mezi odběrem S a hmotností sušiny rostlin. Pomocí těchto indexů je možné zjistit aktuální výživný stav rostlin a určit tak s poměrně vysokou spolehlivostí hrozící nedostatek síry. Na doplnění tohoto nedostatku v průběhu sezóny však již je v období vegetace často pozdě, což podtrhuje důležitost sledování vztahů výsledků půdních rozborů právě s těmito indexy. V případě dobrých korelací by tak bylo možno na základě včasných rozborů půdy již preventivně provést opatření v oblasti hnojení S. Za účelem tohoto porovnání byly vyhodnoceny výsledky vegetačních testů popsanych v kapitole 6.1.2.1.

Kritické hodnoty obsahu síry, síranů nebo glutathionu v nadzemní biomase podléhají během růstu významným změnám, což znesnadňuje určení výživného stavu plodin sírou zejména v raných vývojových fázích. Naproti tomu poměr N/S v nadzemní biomase lze považovat za spolehlivý indikátor úrovně příjmu síry plodinami (Blake-Kalff et al. 2000). Scherer (2001) však na druhou stranu upozorňuje na úskalí spojená se dvěma analýzami, které jsou v takovém případě nutné. Vedle zvýšených nákladů je zde také hledisko více příležitostí k vnesení možné chyby. Jistým řešením může být model tzv. zřetřovací křivky obsahu síry v nadzemní biomase vyjádřený např. pro pšenici autory Reussi et al. (2012). Takový model bere v úvahu jen aktuální hmotnost nadzemní biomasy, na jejímž základě je vyjádřen optimální obsah síry v nadzemní biomase, s nímž je poté porovnáván skutečně naměřený obsah S.

Kritická koncentrace síry v nadzemní biomase pšenice (S_c) byla vypočítána dle Reussi et al. (2012) následovně:

$$S_c = 0,37 \text{ DM}^{-0.169}$$

Kde DM je hmotnost sušiny nadzemní biomasy v t/ha. Index výživy rostlin sírou je poté spočítán jako poměr naměřeného obsahu síry (S_r) v nadzemní biomase a S_c :

$$\text{SNI} = S_r/S_c \text{ (Sedlár et al., nepublikováno).}$$

Tabulka 5.: Výsledky korelační analýzy (n=327)

Parametr	S_{M3}	Sušina (g)	S rostlina %	N/S rostlina	odběr S
Sušina (g)	-0,178				
S rostlina %	0,492***	-0,785***			
N/S rostlina	-0,546***	0,555***	-0,868***		
odběr S	0,361***	0,535***	0,026	-0,224***	
SNI	0,547***	-0,659***	0,975***	-0,878***	0,229***

*** statisticky průkazný výsledek při $p \leq 0,001$

Jak vyplývá z Tabulky 5, nejsilnější korelace obsahu síry v roztoku Mehlich 3 byla zaznamenána s poměrem N/S v nadzemní biomase jarní pšenice a dále s indexem výživy rostlin sírou (SNI, sulphur nutrition index) vypočítaným modelem dle Reussi et al. (2012). Výhodou použití poměru N/S v nadzemní biomase jarní pšenice, případně indexu výživy rostlin sírou by měla být jejich stálejší hodnota a minimální vliv zřetřovacího efektu. Regresní závislost poměru N/S v nadzemní biomase jarní pšenice resp. indexu výživy rostlin sírou na obsahu síry

ve výluhu Mehlich 3 byla vyšší v případě hodnocení mocninnou funkcí namísto lineární (viz Tabulka 6). V obou těchto případech se jednalo o silnou závislost.

Tabulka 6.: Výsledky regresního vztahu výsledků Mehlich 3 (y) a ostatních parametrů

Srovnání S_{M3} s:	a^*	b^*	R^{2***}	n
sušina (g)	-3,100	23,555	0,045	192
% S v sušině	99,046	8,730	0,271	192
odběr S (mg)	7,236	13,180	0,123	192
poměr N/S	-0,352	29,261	0,300	170
poměr N/S**	137,560	-0,640	0,433	170
SNI	38,790	5,988	0,329	192
SNI**	34,779	0,589	0,406	192

* Parametry lineární regrese $y=ax + b$, (**v případě N/S a SNI uvedena mocninná regrese – $y = ax^b$); *** regresní koeficient,

Kritická hodnota obsahu síry v nadzemní biomase pšenice během naduřování listové pochvy je dle Westfall et al. (1990) 1500 mg/kg, což dobře souhlasí s výsledky Robson et al. (1995), který uvádí jako minimální obsah S v nadzemní biomase pšenice 1400 mg/kg avšak v nejmladších listech. Pokud tedy hodnotu 1500 mg/kg, tj. 0,15 %, dosadíme do regresní rovnice z Tabulky 6, vyjde 23,6 mg/kg coby optimální hodnota obsahu přijatelné síry ve výluhu Mehlich 3. Pokud do rovnice v Tabulce 6 dosadíme poměr N/S = 13, který jako optimální pro fázi metání vyjádřili autoři Steinfurth et al. (2012), pak nám vyjde optimální hodnota obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 jako 24,7 mg/kg za použití lineárního modelu a 26,6 mg/kg za použití mocninného modelu. Po dosažení hodnoty 0,60 coby optimálního SNI vyjádřeného pro fázi BBCH 51 autory Sedlář et al. (dosud nepublikováno) vyjde hodnota optimálního obsahu síry ve výluhu Mehlich 3 29,3 mg/kg. **Na základě dvouletých výsledků nádobových pokusů s jarní pšenicí lze tedy tvrdit, že optimální obsah síry ve výluhu Mehlich 3 by měl přesahovat hodnotu 24 mg/kg.** Toto zjištění posloužilo jako jeden z údajů pro tvorbu kritérií zásobenosti (Tabulka 9). Z tabulky 6. je rovněž možné vyvodit, že nejtěsnější vztahy se vyskytují mezi S_{M3} a poměrem N/S v nadzemní hmotě pšenice jarní, a rovněž i S_{M3} a obsahem S v sušině rostlin. To potvrzuje výsledky korelační analýzy. Procento spolehlivosti přesného výsledku je však nízké. Pomocí následující rovnice je tak možno pouze přibližně vypočítat:

- $S_{M3} = 99,05 * (\% \text{ S v sušině}) + 8,73$ (spolehlivost 27 %)
- $S_{M3} = 137,56 * (\text{poměr N/S v nadzemní biomase})^{-0,64}$ (spolehlivost 43 %)

Jak již bylo uvedeno, spolehlivost tohoto výpočtu je poměrně nízká. Je však nutno vzít v úvahu, že i s nízkou 27 procentní spolehlivostí jsou získány hodnoty ležící přesně na regresní přímce. Pokud by byly zahrnuty i hodnoty v těsné blízkosti této přímky, procento spolehlivosti by se výrazně zvýšilo. Hodnoty ležící v těsné blízkosti regresní přímky přitom představují pouze minimální chybu ve výpočtu. Z tohoto důvodu i zdánlivě nízké procento spolehlivosti potvrzuje průkazný vztah mezi obsahy S v půdě stanovenými metodou Mehlich 3 a obsahy S v nadzemní hmotě rostlin pšenice jarní.

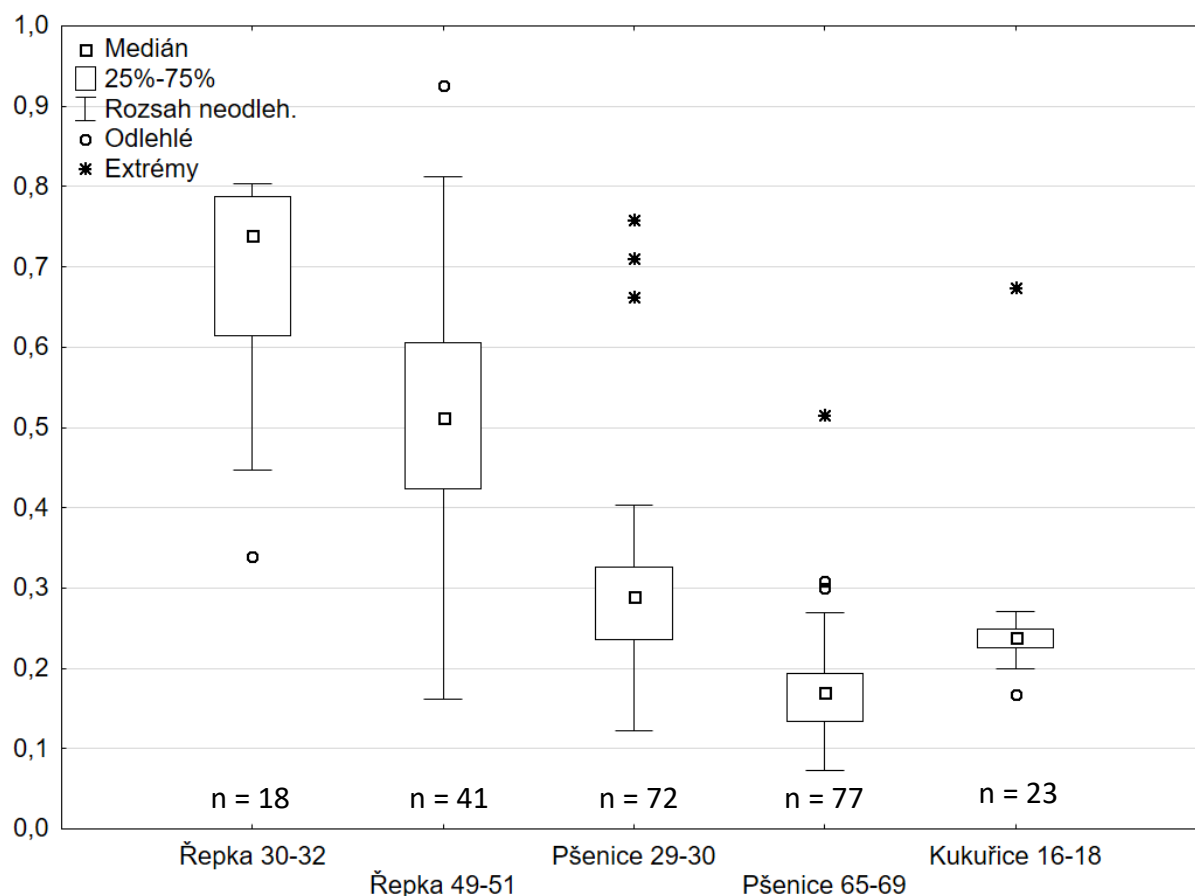
Shrnutí kapitoly 6.1.2.1.

Výsledky vegetačních testů potvrdily průkazný vztah mezi obsahy S v půdě a obsahy S v nadzemní hmotě rostlin jarní pšenice. Průkaznější se pro vyhodnocení výživného stavu rostlin ukázaly výsledky porovnání obsahu S v půdě s poměrem N/S a indexem SNI.

6.1.2.2. Hodnocení odběrů v provozních podmínkách

Výsledky porovnání obsahů S v půdě s obsahy síry v rostlinách přímo v provozních podmínkách poskytují nejčennější výsledky. Zároveň je však nutné vzít v úvahu, že příjem síry zde ovlivňuje celá řada dalších faktorů (počasí, pH, textura půdy, hloubka kořenů, obsah organické hmoty, ...) (Bloem et al., 2000). Lze tak očekávat, že výsledky této části budou nejméně průkazné. V kapitole 6.1.2. jsou blíže popsány odběry rostlin v provozních podmínkách realizovaných v letech 2015 – 2017, včetně popisných charakteristik. Celkem byly odebrány půdní i rostlinné vzorky ze 141 stanovišť. Při hodnocení nebyl zaznamenán vliv ročníku, a proto jsou roky 2015, 2016 a 2017 hodnoceny souhrnně. Naopak výsledky byly značně ovlivněny pěstovanými plodinami. Ty jsou proto níže hodnoceny jednotlivě. Popisné charakteristiky obsahu S v rostlinách jsou uvedeny v grafu 4. U pšenice byla zaznamenána 3 extrémní pozorování v první odebírané vegetační fázi. Z toho 2 se v pozdější odebrané vegetační fázi nepotvrdila. Tyto hodnoty byly proto z pozdějších výpočtů korelací i regresí vyřazeny. U kukuřice jedna zjištěná extrémní hodnota % S v rostlině korespondovala s vyšším obsahem S v půdě, a proto byla ponechána.

Graf 4.: Popisné charakteristiky obsahu S (%) v sušině rostlin



V provozních podmínkách byly sledovány zejména vztahy mezi obsahy S v rostlinách a obsahy S v půdě stanovené metodou Mehlich 3. Dále byly pro kontrolu zahrnuty i metody ověřené pro stanovení přístupné síry v půdě, tj. frakcionace na vodorozpustnou (S_{H_2O}) a adsorbovanou (S_{ads}) síru dávající v součtu informaci o celkové přístupné síře ($S_{pr.}$) (Shan et al., 1997). Výsledky korelační a regresní analýzy jsou pro jednotlivé plodiny uvedeny v tabulce 7. Z té jsou jasně patrné rozdíly mezi plodinami i vegetačními fázemi. Zatímco u druhého odběru (BBCH 49-51) řepky ozimé jsou patrné velmi těsné vztahy mezi obsahy S v nadzemní hmotě a sírou stanovenou v půdě v Mehlich 3, vodním výluhem i celkovou přístupnou sírou, u kukuřice se naopak vyskytly neprůkazné korelace. Z výše uvedeného jasně vyplývá, že při využití rozborů půdy pomocí Mehlich 3 nelze jednotlivé plodiny i fáze unifikovat.

Eriksen et Mortensen (1999) uvádějí jako nejnižší obsah S v mladých listech během prodlužovacího růstu 3500 ppm a kritickou hodnotu pro dosažení maximálních výnosů semen při obsahu S v nadzemní biomase 5500 ppm. Tyto obsahy S v nadzemní biomase řepky odpovídají obsahům S_{M3} dle tabulky 7.: 25,05 mg/kg resp. 39,05 mg/kg. McGrath et Zhao

(1996) uvádějí jako kritický obsah S v nadzemní biomase na začátku kvetení z hlediska výnosu zrna 3800 mg/kg, což by dle tabulky 7. odpovídalo obsahu S_{M3} 30,78 mg/kg.

Tabulka 7.: Porovnání obsahů S v půdě (y; mg/kg) s obsahy S (x; mg/kg) v sušině rostlin

Plodina	Fáze BBCH	Srovnání %S s:	r*	a**	b**	R ² ***	n
Řepka oz.	30-32	S_{M3}	0,32	0,007	0,547	0,11	18
		S_{H2O}	0,33	0,012	0,544	0,08	18
		S_{ads}	0,10	0,010	0,618	0,01	18
		$S_{př}$	0,29	0,008	0,534	0,06	18
	49-51	S_{M3}	0,52 ^c	0,008	0,379	0,27	41
		S_{H2O}	0,54 ^c	0,014	0,351	0,29	41
		S_{ads}	0,29 ^a	0,211	0,400	0,08	41
		$S_{př}$	0,54 ^c	0,012	0,308	0,29	41
Pšenice oz.	30-32	S_{M3}	0,31 ^a	0,002	0,252	0,09	70
		S_{H2O}	0,19	0,001	0,277	0,04	70
		S_{ads}	0,30 ^b	0,014	0,202	0,10	70
		$S_{př}$	0,21	0,001	0,271	0,04	70
	49-51	S_{M3}	0,29 ^a	0,001	0,141	0,09	77
		S_{H2O}	0,17	0,0007	0,161	0,03	77
		S_{ads}	0,23	0,007	0,130	0,06	77
		$S_{př}$	0,18	0,0006	0,157	0,04	77
Kukuřice	30-32	S_{M3}	-0,26	-0,002	0,298	0,07	23
		S_{H2O}	-0,26	-0,004	0,301	0,07	23
		S_{ads}	-0,19	-0,008	0,307	0,04	23
		$S_{př}$	-0,25	-0,003	0,309	0,06	23

* Pearsonův korelační koeficient, ** parametry lineární regrese ($y = ax + b$), *** regresní koeficient; korelace jsou průkazné při ^a $p \leq 0,05$, ^b $p \leq 0,01$, ^c $p \leq 0,001$

Za povšimnutí stojí rovněž fakt, že ve vztahu k obsahům S v rostlině selhávaly i metody ověřené pro stanovení přístupné síry, a to zejména u kukuřice. V případě pšenice bylo metodou Mehlich 3 dosaženo v obou odběrech dokonce lepších výsledků, než u metod ověřených Shan et al. (1997).

Jako nejperspektivnější se pro praktické využití metody Mehlich 3 pro stanovení přístupné síry v půdě jeví spojení s pěstováním řepky ozimé. Zde byly ve druhé odebrané vegetační fázi zaznamenány nejtěsnější vztahy výsledků S_{M3} s obsahy S v nadzemní hmotě rostlin. Faktem je, že v první odebrané vegetační fázi byly vztahy neprůkazné. To však lze přičítat pouze malému počtu odebraných vzorků.

Jak vyplývá z Tabulky 6., ve vegetačním testu byla zaznamenána nejsilnější korelace obsahu přijatelné síry stanovené v roztoku Mehlich 3 s poměrem N/S v nadzemní biomase

jarní pšenice. Při vyhodnocení regresní analýzou zde bylo nejlepších výsledků dosaženo užitím mocninné funkce. Z výsledků sledování v provozu jsou zřejmé pouze slabé korelace poměru N/S s jednotlivými frakcemi síry v půdě u řepky ozimé a kukuřice (tabulka 8.). V souladu s nádobovými pokusy poměr N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice nejsilněji koreloval s obsahem síry v půdě, přičemž síra stanovená ve výluhu Mehlich 3 korelovala s poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice nejsilněji ze všech frakcí síry v půdě. Jako optimální poměr N/S v nadzemní biomase pšenice uvádějí Blake-Kalff et al. (2000) poměr 14,9 : 1 ve fázi BBCH 30 a poměr 13 : 1 ve fázi BBCH 51 je uváděný Steinfurth et al. (2012) coby optimum pro fázi metání. Po dosazení těchto optimálních poměrů N/S v nadzemní biomase pšenice do regresní rovnice $y = ax^b$ vyjde jako **optimální obsah ve výluhu Mehlich 3 17,1 mg/kg pro fázi BBCH 30 a 12,6 mg/kg pro fázi BBCH 45**. Tyto hodnoty vyšly se spolehlivostí 11,1 % resp. 33,8 %. Nižší hodnoty ve srovnání s nádobovými pokusy vyšly pravděpodobně proto, že pšenice v provozních podmínkách měla možnost využít i jiné zdroje S, například z podorníčí.

Tabulka 8.: Porovnání obsahů S v půdě (y; mg/kg) s poměrem N/S v sušině rostlin (x, %)

Plodina	Fáze BBCH	Srovnání N/S s:	r*	a**	b**	R ^{2***}	n
Řepka oz.	30-32	S _{M3}	0,032	17,837	0,042	0,001	18
		S _{H2O}	0,077	9,053	0,088	0,006	18
		S _{ads}	0,224	4,756	0,159	0,050	18
		S _{př}	0,130	13,762	0,117	0,017	18
	49-51	S _{M3}	0,126	28,673	-0,317	0,016	41
		S _{H2O}	0,221	19,201	-0,320	0,049	41
		S _{ads}	0,100	7,069	-0,157	0,010	41
		S _{př}	0,152	10,219	0,221	0,023	41
Pšenice oz.	30-32	S _{M3}	0,333 ^b	179,080	-0,869	0,111	70
		S _{H2O}	0,230	77,047	-0,682	0,053	70
		S _{ads}	0,302 ^a	19,386	-0,461	0,091	70
		S _{př}	0,251	93,087	-0,604	0,063	70
	49-51	S _{M3}	0,581 ^c	1167,000	-1,766	0,338	77
		S _{H2O}	0,522 ^c	808,730	-1,773	0,272	77
		S _{ads}	0,477 ^c	41,989	-0,844	0,228	77
		S _{př}	0,539 ^c	629,710	-1,497	0,291	77
Kukuřice	30-32	S _{M3}	0,032	33,993	-0,151	0,001	23
		S _{H2O}	0,110	48,174	-0,482	0,012	23
		S _{ads}	0,134	15,783	0,035	0,018	23
		S _{př}	0,055	34,134	-0,211	0,003	23

* Pearsonův korelační koeficient, ** parametry mocninné regrese ($y = ax^b$), *** regresní koeficient; korelace jsou průkazné při ^ap≤0,05, ^bp≤0,01, ^cp≤0,001

Shrnutí kapitoly 6.1.2.2.

Výsledky z reálných podmínek polních provozů mají pro praxi největší význam. Zde bylo zjištěno, že využití metody Mehlich 3 pro stanovení rostlinám skutečně přístupné síry má svá omezení. Zatímco se jako nejperspektivnější jeví vztahy hodnot S_{M3} s obsahy S v nadzemní hmotě řepky, spojení s obsahy S v nadzemní hmotě kukuřice ukazuje naopak neprůkazné korelace. U pšenice vykazovala metoda Mehlich 3 dokonce lepší potenciál pro stanovení přístupné S, než dosud ověřená frakcionační metoda (vodný výluh a 0,032 mol/l NaH_2PO_4 – Shan et al., 1997).

6.2. Předběžný návrh kritérií pro hodnocení obsahu S v půdách pomocí metody Mehlich 3

Hodnoty, z nichž byla odvozena předběžná kritéria pro přístupnou síru stanovenou v extraktu Mehlich 3 (tabulka 9) byly získány kromě výše uvedených dat ještě ze tří dalších zdrojů:

- agrochemického zkoušení zemědělských půd (vzorkování 2010 - 2016);
- bazálního monitoringu půd (roky odběru vzorků 1995 a 2013),
- dlouhodobých polních pokusů (roky odběru vzorků 1981, 1993, 2005 a 2017)

Všechny vzorky půdy byly vysušeny na vzduchu a pro analýzu byla použita frakce pod průměrem 2 mm a byly analyzovány za stejných analytických podmínek v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ. Síra v půdním extraktu Mehlich 3 byla stanovena současně s ostatními prvky pomocí ICP-OES Spectroblue (Spectro GmbH, Kleve, Německo) metodou 30074.1 (Zbírál 2016b) na emisní čáře 182.034 nm. Výpočty popisné statistiky a frekvenční analýzy byly provedeny v aplikaci Excel 2016 (Microsoft, Redmond, USA). Statistický software NCSS (NCSS, LLC, Kaysville, USA) byl použit pro stanovení významnosti rozdílů mezi sledovanými obdobími jednosměrnou ANOVA testem Kruskal-Wallis.

Tabulka 9.: Návrh kritérií přístupné síry extrahované metodou Mehlich 3

S_{M3} (mg/kg)	Kategorie
< 10	Velmi nízká (VN)
11–20	Nízká (N)
21–30	Vyhovující (VH)
31–40	Dobrá (D)
> 40	Vysoká (V)

7. Aktuální obsahy síry v půdách ČR stanovené metodou Mehlich 3

Pro zjištění časové závislosti změn a současného stavu obsahu síry v půdách České republiky byly vyhodnoceny tři výše popsané studie jak z pravidelného vzorkování v rámci AZZP, tak z archivních vzorků půd bazálního monitoringu a dlouhodobých polních pokusů.

7.1. Obsahy síry v půdě hodnocené v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd

Agrochemické zkoušení zemědělských půd prováděné Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským poskytuje pro zemědělské subjekty informaci o obsahu přístupných živin a výměnné půdní rekci, která je aktualizována v šestiletých cyklech. Ve vybraných vzorcích je metodou Mehlich 3 stanovován od roku 2010 i obsah síry. Obsah přístupné síry je hodnocen za období 2010 - 2016 v 40 468 vzorcích odebíraných v 56 okresech, které reprezentují výměru 293 348 ha (tabulka 10). Metodika AZZP je dostupná na webu ÚZKZÚZ <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/agrochemicke-zkouseni-zemed-pud/>. Deskriptivní charakteristika výsledků je uvedena v tabulce 11.

Tabulka 10.: Počty vzorků a výměra půdních bloků hodnocených v rámci AZZP 2010 - 2016

Kultura	Počet vzorků	Vzorkovaná výměra v ha
orná půda	35 544	274 191
TTP	1 942	12 637
sady	1 526	4 200
vinice	717	788
chmelnice	739	1 530
zemědělská půda celkem	40 468	293 348

Tabulka 11.: Deskriptivní charakteristika obsahu S_{M3} hodnocení podle hlavních kultur

Kultura	Průměr	Min	0,10 percentil	0,25 percentil	Medián	0,75 percentil	0,90 percentil	Max
orná půda	15,2	3,0	7,4	9,0	11,8	16,7	24,4	4120
TTP	17,4	4,9	10,1	12,1	14,9	19,0	25,4	242
sady	13,6	3,0	7,3	8,9	11,1	14,1	19,6	699
vinice	11,7	3,0	6,5	8,1	10,3	13,4	17,9	56,5
chmelnice	31,7	5,5	10,1	14,9	21,6	37,0	66,2	452
Zeměd. půda	15,5	3,0	7,4	9,1	11,9	16,9	24,8	4120

Na orné půdě, která je z 93,5 % převažující kulturou bylo v hodnoceném období stanoveno v průměru 15,2 mg/kg přístupné síry, což náleží do navrhované kategorie nízkého obsahu. Vyšší obsahy síry byly nalezeny v chmelnicích 31,7 mg/kg, což může souviset s intenzivním používáním přípravků na ochranu rostlin obsahujících síru. Analogie by se dala očekávat i v případě vinic, kde však byly zjištěny celkově nejnižší průměrné obsahy síry. Další podrobnější zkoumání by mohlo objasnit souvislost případného výskytu lehkých půd ve vinicích a promyvnost síry do spodních půdních horizontů.

V navrhované kategorii do 10 mg/kg S velmi nízký obsah bylo zjištěno 13 886 vzorků (tabulka 12), což reprezentuje 34,3 %. Kategorie nízkého obsahu od 11 - 20 mg/kg byla zastoupena polovinou vzorků, tj. 51,1 %. Vyhovující zásobu od 21-30 mg/kg přístupné síry reprezentovalo 3 564 vzorků, což je 8,8 %. Obdobný podíl 1 122 zkoumaných vzorků představuje dobrý obsah (2,8 %) a 1 237 vzorků vysoký obsah (3,1 %).

Tabulka 12.: Kategorizace obsahu S_{M3} v půdě v odběrových letech 2010 -2016

Kategorie obsahu	Návrh rozpětí kategorií hodnocení (mg/kg)	Počet vzorků	Procento zastoupení
Velmi nízký	< 10	13 886	34,3
Nízký	11 - 20	20 659	51,1
Vyhovující	21 - 30	3 564	8,8
Dobrý	31 - 40	1 122	2,8
Vysoký	> 40	1 237	3,1

7.2. Obsahy přístupné síry v půdě hodnocené v bazálním monitoringu půd

Systém bazálního monitoringu půd (BMP) je určen pro zjišťování dlouhodobých změn na zemědělských půdách ČR, na kterých vlastníci pozemků hospodaří běžným způsobem. Výběr monitorovacích ploch respektuje míru a poměr typů půdy, které se vyskytují v ČR, proto

poskytují poměrně dobrý odhad stavu a změn na zemědělské půdě. Z výsledků je možné do jisté míry extrapolovat změny na celé výměře zemědělských půd ČR. Pro porovnání byly z archivu vybrány půdy ze 139 lokalit odebraných v roce 1995 a následně vzorky ze stejných lokalit odebrané v roce 2013. Vzorky odebírané ze sledovacích ploch definovaných jako obdélníky 25 × 40 m byly analyzovány na obsah přístupné síry a výsledky pro jednotlivé roky byly porovnány. Porovnání distribuce výsledků podle způsobu hospodaření v letech 1995 a 2013 je uvedeno v tabulce 13.

Tabulka 13.: Deskriptivní charakteristika obsahu S_{M3} hodnocení podle kultur v BMP

Kultura	Rok odběru	n	Průměr	Min	0,10 percentil	0,25 percentil	Medián	0,75 percentil	0,90 percentil	Max
Orná půda	1995	127	27,6	5,1	16,2	20,7	25,8	31,4	39,9	86,9
	2013	127	19,4	7,4	10,9	13,8	16,8	21,0	30,4	62,1
TTP	1995	11	27,5	14,3	20,2	22,1	28,2	33,4	33,4	42,8
	2013	11	20,6	12,6	14,4	17,6	20,0	22,6	24,3	32,1
sady	1995	1	45,6	výsledky stanovení jedné plochy						
	2013	1	21,6							

Pro porovnání změn obsahu přístupné síry z hlediska posouzení vlivu promyvnosti síry bylo vypočítáno zastoupení dle půdního druhu (tabulka 14). Na hodnoceném souboru dat BMP je evidentní, že na nejčteněji zastoupených středních půdách (n=127) se obsah snížil od roku 1995 v porovnání s rokem 2013 z 28 mg/kg na 19,4 mg/kg. Významnější pokles o 9,8 mg/kg je zřejmý v případě těžkých půd, zde je však nutné zohlednit nízký počet hodnocených ploch (n=9).

Tabulka 14.: Deskriptivní charakteristika obsahu S_{M3} hodnocení podle půdních druhů v BMP

Kultura	Rok odběru	n	Průměr	Min	0,10 percentil	0,25 percentil	Medián	0,75 percentil	0,90 percentil	Max
Lehké půdy	1995	13	22,9	5,1	11,3	14,3	24,1	27,6	33,4	45,4
	2013	13	18,5	7,4	10,0	12,6	15,4	21,3	31,1	41,8
Střední půdy	1995	117	28,0	10,9	17,3	21,4	25,7	31,4	39,9	86,9
	2013	117	19,4	8,1	11,0	14,3	17,0	21,0	30,3	62,1
Těžké půdy	1995	9	32,3	16,6	16,6	26,5	30,1	37,3	55,8	55,8
	2013	9	22,5	11,7	11,7	17,3	20,2	29,0	33,1	33,1

V tabulce 15. je uvedeno zastoupení ploch BMP v navrhovaných kategoriích obsahu S v půdě. V roce 1995 bylo přibližně 22 % vzorků ve velmi nízkých a nízkých kategoriích, avšak v roce 2013 se procento těchto kategorií zvýšilo téměř na 70 %. Razantní pokles obsahu síry

s rozdílem 18 let je zřejmý i v ostatních kategoriích, kde s rostoucí vyšší kategorií klesá počet evidovaných ploch.

Tabulka 15.: Zastoupení ploch BMP v odběrových letech 1995 a 2013 dle kategorií S_{M3}

Kategorie obsahu zásobenosti	Rok odběru	n	Reprezentativní zastoupení (%)
Velmi nízký	1995	1	0,72
	2013	8	5,76
Nízký	1995	29	20,86
	2013	88	63,31
Vyhovující	1995	68	48,92
	2013	28	20,14
Dobrý	1995	27	19,42
	2013	9	6,47
Vysoký	1995	14	10,07
	2013	6	4,32

7.3. Změny obsahu přístupné síry v dlouhodobých pokusech

Pokusy jsou umístěny na jedenácti pokusných lokalitách a probíhají od roku 1972 v různých půdních a klimatických podmínkách České republiky. Pokusy prováděné na zkušebních stanicích ÚKZÚZ mají randomicky rozmístěné varianty, každá se šesti opakováními. Velikost pokusných parcel je 2,5 x 10 m (25 m²). Plodiny se střídají v osmiletém sledu, zastoupeném z 50 % obilovinami, z 25 % okopaninami a z 25 % píceňinami. Kontrola je po celou dobu trvání pokusu zcela nehnojená. Chlévským hnojem se hnojí 2 x za osevní postup k okopaninám. Minerální hnojiva dusík (v síranu amonném a dusičnanu amonném), fosfor (trojitý superfosfát) a draslík (draselná sůl) se aplikují ve třech úrovních (1-N1P1K1), střední (2-N2P2K2) a vysoká (3-N3P3K3). Pro zhodnocení změn obsahu síry byly použity archivní vzorky půd odebírané v letech 1981, 1993, 2005 a 2017 z ornice v hloubce 0-0,3 m. Metodika je dostupná na webu ÚKZÚZ <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/publikace/vegetacni-zkousky/metodiky/>. Deskriptivní charakteristika výsledků je uvedena v tabulce 16.

Tabulka 16.: Deskriptivní charakteristika změn obsahu S_{M3} v dlouhodobém pokusu

varianty hnojení	Rok odběru	n	Průměr	Min	0,10 perce ntil	0,25 perce ntil	Medián	0,75 perce ntil	0,90 perce ntil	Max
Nehnojená varianta	1981	11	33,1	22,4	23,2	24,3	28,1	38,2	41,6	72,4
	1993	11	31,9	16,9	17,9	21,5	28,9	39,2	52,8	56,7
	2005	11	16,2	8,7	13,0	14,1	15,1	17,7	21,6	25,6
	2017	11	8,3	5,5	5,7	6,0	8,2	11,0	11,6	12,2
Chlévský hnůj	1981	11	33,5	21,6	22,6	25,2	29,5	35,5	54,0	65,6
	1993	11	31,2	17,4	19,8	22,3	27,7	35,6	45,2	63,8
	2005	11	14,2	7,5	8,2	12,4	13,0	14,9	16,9	30,6
	2017	11	8,2	4,2	4,6	5,0	5,4	13,9	15,9	16,9
N1P1K1 +Chlévský hnůj	1981	11	49,5	24,6	24,7	25,5	34,6	39,0	65,5	197,0
	1993	11	57,0	23,2	33,8	43,1	57,3	71,4	76,2	91,0
	2005	11	19,6	11,0	12,3	16,1	20,5	23,3	26,3	27,5
	2017	11	28,9	4,7	5,4	10,0	27,2	51,0	51,8	65,1
N2P2K2 +Chlévský hnůj	1981	11	42,6	24,6	25,9	26,0	28,2	40,0	70,9	130,0
	1993	11	77,2	28,3	44,3	56,3	75,1	96,0	116,0	140,0
	2005	11	23,4	14,3	16,6	18,5	22,8	25,3	35,8	37,0
	2017	11	40,1	6,9	8,9	12,9	43,6	68,8	70,2	82,9
N3P3K3 +Chlévský hnůj	1981	11	50,0	25,8	26,9	27,8	29,2	45,2	73,0	191,0
	1993	11	103,1	31,9	44,2	58,9	86,5	151,5	173,0	212,0
	2005	11	40,4	14,5	15,8	19,9	26,7	57,8	76,1	91,5
	2017	11	62,8	6,8	9,3	11,7	60,4	108,0	111,0	175,0

Na nehnojené variantě, která ukazuje nejlépe vliv poklesu imisí síry, bylo zjištěno, že z původního průměrného obsahu 33 mg/kg v kategorii dobré zásobenosti) byla v roce 2017 střední hodnota obsahu přijatelné síry již jen 8 mg/kg, tedy v kategorii velmi nízké zásoby. Největší pokles byl, podle očekávání, na zkušebních stanicích, které byly v minulosti nejvíce vystaveny vlivu emisí oxidu siřičitého (lokalita Žatec - ze 41,6 na 6 mg/kg; Chrastava ze 72,4 na 8,8 mg/kg), viz Tabulka 16.

Tabulka 16: Změny obsahu S_{M3} na nehnojené kontrole

Rok odběru	Obsah přístupné síry u nehnojené kontroly na zkušebních lokalitách										
	CHT	HOR	HRA	JAR	LIP	PJA	STV	UHO	VYS	VER	ZAT
1981	72,4	23,2	32,3	25,7	30,1	28,1	26,1	22,4	38,2	24,3	41,6
1993	56,7	19,1	28,9	32,6	52,8	23,9	17,9	23,8	40,4	16,9	38,0
2005	17,1	14,1	13,0	25,6	15,3	15,1	18,3	8,73	21,6	16,9	14,8
2017	8,8	11,0	8,33	11,6	5,7	12,2	7,05	6,54	8,16	5,54	6,01

CHT (lehká) - Chrastava; HOR (lehká) - Horažďovice; HRA (těžká) - Hradec nad Svitavou; JAR (těžká) - Jaroměřice; LIP (střední) - Lípa; PJA (střední) - Pusté Jakartice; STV (střední) - Staňkov; UHO - (střední) Uherský Ostroh; VYS - Vysoká; VER (těžká) - Věrovany; ZAT (těžká) - Žatec.

Shrnutí kapitoly 7.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že na lehkých půdách je vysoce pravděpodobný nedostatek rostlinám přístupné síry. Při pěstování plodin náročných na tuto živinu, v našich podmínkách jde především o ozimou řepku. Obsahy přístupné síry jsou významně ovlivněné konkrétní lokalitou, a promítají se zde všechny vlivy přírodních faktorů i způsobu hospodaření.

8. Shrnutí výsledků a závěry pro praxi

Na základě srovnání obsahů síry v půdě naměřených metodou Mehlich 3 s ostatními frakcemi S v půdě lze usuzovat, že metoda Mehlich 3 je vhodná pro stanovení rostlinám přístupné S minimálně od té míry, jako za tímto účelem běžně používané a ověřené metody. Vzhledem k velmi těsným vztahům je možné s vysokou spolehlivostí vyvodit následující přepočtové rovnice:

- $S_{M3} = 1,243 \cdot S_{H_2O} + 4,632$ (spolehlivost 76 %)
- $S_{M3} = 4,158 \cdot S_{ads} - 4,777$ (spolehlivost 50 %)
- $S_{M3} = 1,072 \cdot S_{pr} + 0,020$ (spolehlivost 78 %)

Z výsledků vegetačních testů s pšenicí jarní vyplývají těsné vztahy mezi obsahy S v nadzemní hmotě rostlin a obsahy S_{M3} v půdě. S nižší spolehlivostí než u srovnání půdních analýz lze vyvodit následující rovnice vztahu S_{M3} a obsahu S v rostlinách, popř. poměru N/S:

- $S_{M3} = 99,05 \cdot (\% S \text{ v sušině}) + 8,73$ (spolehlivost 27 %)
- $S_{M3} = 137,56 \cdot (\text{poměr N/S v nadzemní biomase})^{-0,64}$ (spolehlivost 43 %)

Výsledky sledování v provozních podmínkách prokázaly, že korelace výsledků Mehlich 3 a obsahu síry v sušině nadzemní hmoty rostlin silně závisí na pěstované plodině. Zatímco u řepky ozimé byly mezi obsahem S_{M3} a obsahem v nadzemní hmotě průkazné vztahy a u pšenice ozimé dokonce lepší než u ověřených metod (S_{H_2O} , S_{ads} a S_{pr}), v případě korelací S_{M3} s obsahem síry v nadzemní hmotě kukuřice byly vztahy neprůkazné.

Na základě dat uvedených v této metodice je možno vytvořit pět základních kategorií zásobenosti půd sírou stanovenou metodou Mehlich 3. Z těchto kritérií vyplývají rámcová doporučení uvedená v tabulce 17., vztahující se zejména na ozimou řepku, jakožto náročnou plodinu a dále na plodiny vyžadující hnojení sírou z důvodu zvýšení kvality produkce (např.

potravinářská pšenice). Ke hnojení sírou je třeba v určitých ohledech přistupovat jako ke hnojení dusíkem. Z důvodu nebezpečí vyplavení není vhodné aplikovat síru v minerálních hnojivech do zásoby, ale doplnit určitý podíl z celkového odběru rostlin. Průměrné odběry síry řepkou a pšenicí jsou uvedeny v tabulce 18. Doporučení je nutno chápat jako rámcová. Pro preciznější hnojení S je třeba zohlednit celou řadu dalších faktorů, např. druh půdy, průběh sezóny, obsah S v podorníci, hladinu spodní vody, intenzitu organického hnojení a v neposlední řadě i osobní zkušenosti agronomů.

Tabulka 17. Návrh kritérií přístupné síry extrahované metodou Mehlich 3 a z toho vycházející doporučení hnojení*

S_{M3} (mg/kg)	Kategorie	Doporučení pro hnojení S
< 10	Velmi nízká	Aplikovat 100 % celkového odběru S
11–20	Nízká	Aplikovat 75 % celkového odběru S
21–30	Vyhovující	Aplikovat 50 % celkového odběru S
31–40	Dobrá	Hnojit pouze náročné plodiny při předpokladu vysokého výnosu
> 40	Vysoká	Není třeba hnojit S, doporučeno alespoň 1x za 3 roky monitorovat obsah S v půdě.

* Je třeba zohlednit aplikaci organických hnojiv

Tabulka 18. Odběrové normativy (kg S na 1 t hlavního produktu) (upraveno dle Klír et al. 2008) a poměry hlavního (HP) a vedlejšího (VP) produktu

Plodina	Produkt	Odběr S (kg/t)	Poměr HP:VP*
Pšenice ozimá	zrno	2,0	1:0,8
	sláma	1,5	
Řepka ozimá	semeno	5,0	1:1,5
	sláma	2,0	

* poměry jsou pouze orientační a mohou se výrazně lišit v závislosti na odrůdě

Jako příklad lze uvést hnojení řepky: při výnosu 5 t/ha semene odebere řepka 25 kg síry na hektar semenem (5 t/ha x 5 kg S/t) a 15 kg S/ha prostřednictvím slámy (5 t/ha x 1,5 x 2 kg S/t), tj. celkem 40 kg S/ha. Pokud obsah S stanovený v Mehlich 3 spadá do kategorie nízký, je třeba dodat 75 % celkového odběru S, to znamená 30 kg S/ha.

Vzhledem k tomu, že v posledních desetiletích výrazně poklesl obsah přístupné síry v půdách ČR, lze očekávat narůstající význam hnojení S. Síra se bude pravděpodobně stále častěji stávat limitujícím prvkem ve výživě rostlin.

9. Ekonomické přínosy využití výsledků této metodiky

Jak již bylo výše uvedeno, metodu Mehlich 3 využívá ÚKZÚZ již od roku 1999 pro stanovení obsahu přístupných makroprvků (P, K, Ca, Mg) v půdě. V současné době jsou v laboratořích běžně využívány optické emisní spektrometry s indukčně vázaným plazmatem, umožňující za prakticky za stejných nákladů měřit nejen uvedené makroprvky, ale i obsah síry, mikroelementů a některých rizikových prvků. Proto lze na základě výsledků této metodiky očekávat následující ekonomické přínosy.

- Vzhledem k velmi těsným korelacím mezi výsledky metody Mehlich 3 a dalšími metodami pro stanovení přístupné síry v půdě je možné s vysokou spolehlivostí přepočítat hodnoty S_{M3} na podíl S stanovené ve vodném výluhu, adsorbované a celkové přístupné síry a naopak. Ekonomický přínos tak spočívá v ušetření nákladů na použití více extrakčních metod, jejichž zařazení je tak možno omezit pouze na případy pochybností a nesrovnalostí.
- Rozšíření systému Agrochemického zkoušení zemědělských půd o další významný údaj, který bude dále využitelný jak pro potřeby zemědělců, tak i MZe pro určování strategie potravinové bezpečnosti.
- V AZZP je při tvorbě kategorií zásobenosti systém zjednodušen na „průměrnou půdu“ a „průměrnou rostlinu“. V této metodice je uvedena řada dalších doplňujících podrobností umožňujících v praxi více zohlednit půdní vlastnosti a konkrétní pěstovanou plodinu.
- Výhodou hodnocení výživného stavu pšenice za použití poměru N/S v nadzemní biomase, případně indexu výživy rostlin sírou (SNI – sulfur nutrition index), je jejich stálější hodnota a minimální vliv zředovacího efektu. Současně byla zjištěna silnější korelace těchto dvou parametrů s obsahem přístupné síry v půdě než při hodnocení obsahu síry pouze v nadzemní biomase pšenice.
- Správné hnojení sírou povede ke zvýšení pekařské kvality zrna pšenice, zlepšení sladovnické kvality zrna jarního ječmene a zvýšení olejnatosti semene řepky. Síra rovněž hraje významnou roli v ochraně rostlin a jejich adaptaci na stresové podmínky. Její metabolismus je v rostlinné biomase spojen s metabolismem dusíku.
- Na základě výše uvedených údajů lze očekávat ekonomický přínos řádově v milionech Kč

10. Seznam publikací, které předcházely metodice

Publikace s IF

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Sedlář O., Suran P. (2018) Potential of Mehlich 3 method for extracting plant available sulfur in the Czech agricultural soils. *Plant, Soil and Environment*. 64(9): 455-472

Zbíral J., Smatanová M., Němec P. (2018): Sulphur status in agricultural soils determined using the Mehlich 3 method. *Plant, Soil and Environment*, 64: 255-259

Kulhánek M., Balík J., Černý J., Sedlář O., Vašák F. (2016): Evaluating of soil sulfur forms changes under different fertilizing systems during long-term field experiments. *Plant, Soil and Environment*, 2016, 62: 408-415

Kulhánek M., Balík J., Černý J., Peklová L., Sedlář O. (2013): Winter wheat fertilizing using nitrogen sulfur fertilizer. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60: 67 - 74

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Vaněk V., Sedlář O. (2011): Influence of the nitrogen-sulfur fertilizing on the content of different sulfur fractions in soil. *Plant, Soil and Environment*, 57: 553-558.

Balík J., Kulhánek M., Černý J., Száková J., Pavlíková D., Čermák P. (2009): Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant, Soil and Environment*, 55 (8): 344 - 352

Vaněk V., Balík J., Šilha J., Černý J. (2008): Spatial variability of total soil nitrogen and sulphur content at two conventionally managed fields. *Plant, Soil and Environment*, 54: 413 - 419

Recenzované a odborné publikace

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Vašák F. (2016): Vliv hnojení na kvalitu produkce. In: *Racionální použití hnojiv*, Praha. ČZU v Praze. s. 29-36

Černý J., Balík J., Kovářík J., Kulhánek M. (2016): Hnojení ozimé řepky na jaře 2016. *Květy olejnin*, 21: 5-7

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., Kovářík J. (2016): Základní hnojení ozimé řepky (je základem pro výnos). *Květy olejnin*, 21: 2-4

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Kovářík J., Javor T. (2016): Síra - přeceňovaná nebo podceňovaná živina ve výživě ozimé řepky? *Úroda*. 64: 25-28

Černý J. (2012): Nově o změnách obsahu síry v půdě. *Zemědělec*, 17: 14-16

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Vašák F., Shejbalová Š. (2012): Bilance síry v půdách na základě využití výsledků z dlouhodobých pokusů. *Agrochémia*, 16: 8-12

Kulhánek M., Černý J., Sedlář O., Peklová L. (2010): Aplikace hnojiva Lovofert v ozimé pšenici. *Úroda*, 9: 11-15

11. Použitá literatura

Bardsley C. E., Lancaster J. D. 1960: Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Soil Science Society of America Proceedings 24: 265-268.

Barrow N.J. 1967: Studies on extraction and on availability to plants of adsorbed plus soluble sulfate. Soil Science, 104: 309-315.

Blake-Kalff M. M. A., Hawkesford M. J., Zhao F. J., McGrath S. P. 2000: Diagnosing sulfur deficiency in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant and Soil 225: 95-107.

Bloem E., Haneklaus S., Schroetter S., Schnug E. 2000: Aspects of agronomical and physiological research on sulfur deficiency in agricultural crops. In: Kok L.J. de, Grill D., Hawkesford M., Schnug E., Stulen I.: Plant sulfur research in Europe: Cost Action 829; fundamental, agronomical and environmental aspects of sulfur nutrition and assimilation in plants (Landbauforschung Völkenrode / Sonderheft ; 218), Braunschweig, 11-15.

Ensminger L. E. 1954: Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. Soil Science Society of America Proceedings, 18: 328–333.

Eriksen J., Mortensen J.V. 1999: Soil sulphur status following long-term annual application of animal manure and mineral fertilizers. Biology and Fertility of Soils, 28: 416 - 421.

Fox R. L., Olson R. A., Rhoades H. F. 1964: Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. Soil Science Society of America Proceedings, 28: 243–246.

Förster S., Welp G., Scherer H.W. 2012: Sulfur specification in bulk soil as influenced by long-term application of mineral and organic fertilizers. Plant Soil and Environment, 58: 316-321.

ISO 10390 (2005): Soil quality – Determination of pH. ISO standards, 7 s.

Kilmer V. J., Nearing D. C. 1960: The determination of available sulfur in soils. Soil Science Society of America Proceedings, 24: 337-340.

Klír J., Kunzová E., Čermák P. (2008): Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 48 s.

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 v Praze, 26 s.

Matula J. 2001: Stanovení zásobenosti půdy sírou. Sborník: Racionální použití hnojiv. Problematika síry v rostlinné výrobě. ČZU v Praze, s. 35-42.

Matula J. 1999: Use of multinutrient soil tests for sulphur determination. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 30: 1733-1746.

- McGrath S.P., Zhao F.J. 1996: Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science*, 126: 53 - 62.
- Mehlich A. 1984: Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409-1416.
- Reussi N., Echeverria H.E., Rozas H.S. 2012: Stability of foliar nitrogen:sulfur ratio in spring red wheat and sulfur dilution curve. *Journal of Plant Nutrition*, 35: 990-1003.
- Robson A.D., Osborne L.D., Snowball K., Simmons W.J. 1995: Assessing sulfur status in lupins and wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35: 79 – 86.
- Saalbach E., Aigner H. 1987: Zum Diagnosewert der NaCl+CaCl₂-extrahierbaren Sulfatmengen von Böden. *Landwirtschaftlicher Forschung*, 40: 8-12.
- Shan X., Chen B., Zhang T.H., Li F.L., Wen B., Qian J. 1997: Relationship between sulfur specification in soils and plant availability. *Science of Total Environment*, 199: 237–246.
- Steinfurth D., Zorb C., Braukmann F., Muhling K.H. 2012: Time-dependent distribution of sulphur, sulphate and glutathione in wheat tissues and grain as affected by three sulphur fertilization levels and late S fertilization. *Journal of Plant Physiology*, 169: 72-77.
- Tabatabai M. A. 1994: Soil Enzymes, in: R. W. Weaver, S. Augle, P. J. Bottomly, D. Bezdicek, S. Smith, M. A. Tabatabai, A. Wollum (Eds.): *Methods of soil analysis. microbiological and biochemical properties, Part 2*, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, 5: 775-833.
- Walker D.R., Doomenbal G. 1972: Soil sulfate. II. As an index of the sulfur availability to legumes. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 52: 61-266.
- Westfall D.G., Whitney D.A., Brandon, D.M. 1990: Plant analysis as an aid in fertilizing small grains. In 'Soil Testing and Plant Analysis, 3rd Edition', (R.L. Westerman, ed.), Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, U.S.A.: 495–519.
- Zbíral J. a kol. 2016: *Jednotné pracovní postupy – Analýza Půd I*, Postup 30074.1 ÚKZÚZ Brno, ISBN: 978-80-7401-123-8.
- Zbíral J., Smatanová M., Němec P. 2018: Sulphur status in agricultural soils determined using the Mehlich 3 method. *Plant Soil and Environment*, 64: 255-259.

© Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, FAPPZ
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát,
<http://www.af.czu.cz>

ISBN 978-80-213-2893-8

Praha 2018