

INOVACE DIAGNOSTIKY VÝŽIVNÉHO STAVU PLODIN FOSFOREM A SÍROU

certifikovaná metodika

Sedlář – Balík – Kulhánek – Suran – Matěchová
Česká zemědělská univerzita v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

**INOVACE DIAGNOSTIKY
VÝŽIVNÉHO STAVU PLODIN
FOSFOREM A SÍROU**

**INNOVATED DIAGNOSTICS OF SULPHUR
AND PHOSPHORUS STATUS OF CROPS**

certifikovaná metodika

Ondřej Sedlář, Jiří Balík, Martin Kulhánek, Pavel Suran, Martina Matěchová

Tato metodika byla vytvořena se státní podporou Technologické agentury ČR
v rámci Programu ZÉTA č. TJ01000454.

INOVACE DIAGNOSTIKY VÝŽIVNÉHO STAVU PLODIN FOSFOREM A SÍROU

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství České republiky pod
č. 15346/2020-MZE-18145

Dedikace

Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu TA ČR ZÉTA č. TJ01000454 „Inovace diagnostiky výživného stavu plodin fosforem a sírou“.

Autorský kolektiv

Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Balík, CSc., dr. h. c.

Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.

Ing. Pavel Suran

Ing. Martina Matěchová

Česká zemědělská univerzita v Praze

Oponenti

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství České republiky. Odbor zemědělských komodit

doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně. Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin

Dovolte autorům certifikované metodiky poděkovat touto cestou pracovníkům zemědělských podniků, kteří umožnili odběry vzorků, na jejichž základě mohla tato publikace vzniknout.

ISBN 978-80-213-3033-7

SOUHRN

Cílem této metodiky je nalezení jednoduchého indikátoru výživného stavu rostlin sírou a fosforem, který je v těsném vztahu s přijatelným obsahem síry v půdě a výnosem hlavního produktu včetně jeho kvality. Z důvodu vazby fosforu a zejména síry v organických látkách v půdě byly vztahy půda-rostliny sledovány výhradně na půdách s definovaným rozpětím obsahu organického uhlíku (0,5 – 2,2 % C_{ox} v případě sledování příjmu fosforu a 0,5 – 1,7 % C_{ox} v případě sledování příjmu síry) a nelze tedy vyloučit, že na půdách s nižším či vyšším obsahem organického uhlíku budou námi popsané skutečnosti odlišné. Ve všech případech byly zkoumány porosty rostlin s optimálním obsahem dusíku v nadzemní biomase.

S obsahem přijatelné síry a fosforu v půdě, výnosem hlavního produktu včetně jeho kvalitativních parametrů nejsilněji koreloval hmotnostní poměr obsahu dusíku k obsahu síry (N/S), resp. hmotnostní poměr obsahu dusíku k obsahu fosforu (N/P) v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky. Poměr N/S resp. N/P v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky koreloval nejsilněji s obsahem přijatelného fosforu a síry v půdě stanovenými ve výluhu Mehlich 3. Výjimkou byla ozimá řepka pěstovaná na nealkalických půdách, kde byla zjištěna nejsilnější korelace poměru N/S v nadzemní biomase s vodorozpustnou sírou v půdě. Porosty ozimé pšenice a ozimé řepky dosahovaly optimálního příjmu síry a fosforu i na půdách, kde obsah přijatelné síry v půdě ve vodném výluhu a výluhu Mehlich 3 a obsah přijatelného fosforu v půdě ve výluhu Mehlich 3 a Olsen dosahovaly nižších hodnot než je „dobrý“ obsah. Výjimkou byla ozimá řepka, pro níž bylo důležité dodržet „dobrý“ obsah síry v půdě ve vodném výluhu a výluhu Mehlich 3.

Jak u jarní pšenice, tak u kukuřice pěstovaných v nádobových pokusech byly zaznamenány silnější korelace mezi hmotnostním poměrem P/Zn v půdním výluhu Mehlich 3 a hmotnostním poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin než mezi obsahem zinku v půdním výluhu Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin během kvetení jarní pšenice a před začátkem prodlužovacího růstu kukuřice. Na základě našich výsledků nelze doporučit využití aniontovýměnných membrán ke stanovení obsahu přijatelné síry v půdě.

SUMMARY AND RECOMMENDATIONS

The aim of this publication is finding of simple indicator of sulphur/phosphorus status of plants which is in significant relation to (i) bioavailable sulphur/phosphorus in soil and (ii) yield as well as its quality. Due to bonding of both sulphur and phosphorus with soil organic matter, only soils containing defined amount of organic carbon were evaluated in our research: 0.5 – 2.2 % of C_{ox} when phosphorus uptake was studied and 0.5 – 1.7 % of C_{ox} when sulphur uptake by plants was monitored. Only plants with the optimal nitrogen content in shoot biomass were included in the research.

Mass ratio of nitrogen content to both sulphur (N:S) and phosphorus (N:P) contents in shoot biomass of winter wheat and winter rape correlated the strongest with bioavailable sulphur/phosphorus in soil determined using the Mehlich 3 extractant (except for winter rape grown on noncalcareous soils). Both the N:S and the N:P ratios in shoot biomass of winter wheat and winter rape correlated the strongest with yield and its qualitative parameters. The optimal values of the N:S ratio in shoot biomass were: ca. 12 for winter wheat from the beginning of stem elongation (BBCH 30) to the beginning of heading (BBCH 51) and ca. 9 for winter rape at the beginning of flowering (BBCH 60). The optimal values of the N:P ratio in shoot biomass were: ca. 12 for winter wheat at the beginning of stem elongation and ca. 10 at the beginning of heading and ca. 7 for winter rape at the beginning of flowering.

The optimal sulphur/phosphorus status of both winter wheat and winter rape was recorded also in soils reaching contents of available sulphur/phosphorus lower than the “good” content. However, the “good” content of soil sulphur in both water and Mehlich 3 solutions is necessary to keep for optimal sulphur status of winter rape.

The mass P:Zn ratio in soil determined using the Mehlich 3 extractant exceeding 23.0 and 48.0 in calcareous and noncalcareous soils, respectively, led to significant decrease in P:Zn ratio in wheat shoot biomass during flowering stage.

Based on our results, using of anion exchange membranes for determination of bioavailable sulphur in soil cannot be recommended.

OBSAH

1. CÍLE METODIKY	- 1 -
1.1 VLASTNÍ POPIS METODIKY.....	- 1 -
1.2 INOVATIVNOST POSTUPŮ.....	- 3 -
1.3 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	- 3 -
1.4 EKONOMICKÉ PŘÍNOSY VYUŽITÍ PŘEDKLÁDANÝCH VÝSLEDKŮ	- 4 -
2. MATERIÁL A METODY	- 5 -
2.1 ODBĚR VZORKŮ Z POLNÍCH PROVOZŮ	- 6 -
2.2 PŘESNÉ POLNÍ POKUSY	- 6 -
2.3 NÁDOBOVÉ POKUSY	- 7 -
2.4 CHEMICKÉ ANALÝZY.....	- 7 -
2.5 STATISTICKÉ ŠETŘENÍ A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ	- 9 -
3. SÍRA.....	- 11 -
3.1 VZTAH VÝŽIVNÉHO STAVU ROSTLIN SÍROU S OBSAHEM PŘIJATELNÉ SÍRY V PŮDĚ.....	- 11 -
3.2 VZTAH INDIKÁTORŮ VÝŽIVNÉHO STAVU ROSTLIN SÍROU K VÝNOSU HLAVNÍHO PRODUKTU A JEHO KVALITĚ.....	- 15 -
4. FOSFOR.....	- 19 -
4.1 VZTAH VÝŽIVNÉHO STAVU ROSTLIN FOSFOREM S OBSAHEM PŘIJATELNÉHO FOSFORU V PŮDĚ.....	- 19 -
4.2 VZTAH INDIKÁTORŮ VÝŽIVNÉHO STAVU ROSTLIN FOSFOREM K VÝNOSU HLAVNÍHO PRODUKTU.....	- 22 -
4.3 PŘÍJEM ZINKU VE VZTAHU K PŘÍJMU FOSFORU PŠENICÍ.....	- 26 -
5. ZÁVĚRY PRO PRAXI	- 30 -
6. SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH METODICE	- 32 -
6.1 VĚDECKÉ PUBLIKACE V ČASOPISECH S IMPAKT FAKTOREM.....	- 32 -
6.2 RECENZOVANÉ A ODBORNÉ PUBLIKACE	- 33 -
6.3 PŘÍSPĚVEK NA KONFERENCI	- 34 -
7. CITOVANÁ LITERATURA.....	- 35 -

1. CÍLE METODIKY

Cílem této metodiky je nalezení jednoduchého vyjádření výživného stavu ozimé pšenice, ozimé řepky a kukuřice fosforem a sírou, které bude v těsném vztahu nejen s přijatelným obsahem těchto živin v půdě, ale současně také s výší a kvalitou výnosu. Dalším krokem je využití takového indikátoru k upřesnění skutečné potřeby uvedených živin rostlinami, to vše za minimalizace nákladů koncového uživatele a s tím spojeným zvýšením zisku. Uváděná doporučení vycházejí z výsledků řešení projektu TAČR ZÉTA č. TJ01000454.

1.1 Vlastní popis metodiky

Fosfor a síra jsou prvky, s jejichž nedostatečným obsahem v půdě není v našich podmínkách vzácností se setkat. Ba naopak, polovina výměry zemědělské půdy České republiky potřebuje doplnění zásoby přijatelného fosforu fosforečným hnojením (Smatanová *et* Sušil 2018) a v případě síry je situace neméně dramatická: nízký obsah přijatelné síry stanovené ve výluhu Mehlich 3 se v současné době vyskytuje na dvou třetinách výměry orné půdy, zatímco v roce 1995 byl nízký obsah zaznamenán na necelé čtvrtině výměry (Zbiral *et al.* 2018).

Protože na tomto místě jistě není potřeba zdůrazňovat významný vliv těchto živin na tvorbu výnosu a kvalitu produkce, je v rámci zemědělské praxe, ale také výzkumu, potřeba jednoduchých indikátorů obsahu těchto prvků v půdě a rostlině. Proto jsme naši metodiku rozdělili do dvou základních podkapitol zabývajících se vztahy mezi indikátory výživného stavu rostlin a obsahem přijatelných živin v půdě na straně jedné a vztahy mezi indikátory výživného stavu rostlin a výnosem, případně kvalitou produkce, na straně druhé. Pro co nejjednodušší interpretaci a praktickou využitelnost těchto výsledků vycházíme, není-li uvedeno jinak, výhradně z analýz získaných na provozních pozemcích, případně přesných pokusů realizovaných v polních podmínkách.

Výživný stav sledovaných plodin byl v rámci našeho výzkumu hodnocen následujícími způsoby: obsahem síry, resp. fosforu v sušině nadzemní biomasy a poměrem obsahu dusíku k obsahu síry, resp. fosforu v sušině nadzemní biomasy rostlin (poměr N/S, resp. N/P), který doporučují např. Blake-Kalff *et al.* (2000) a Yan *et al.* (2015). Důvodem tohoto doporučení je vysoká proměnlivost hodnot obsahu síry a fosforu v nadzemní biomase v průběhu růstu rostliny, zatímco hodnoty poměru N/S, resp. N/P jsou během vegetace stabilnější. Nevýhodou tohoto přístupu však je dle Scherer (2001) riziko nesprávné interpretace nedostatku jedné z těchto živin v důsledku nadbytku druhé živiny.

Řešením má být model zřed'ovací křivky vyjádřený Reussi *et al.* (2012) pro síru u pšenice, Carciochi *et al.* (2019) pro síru u kukuřice, Belanger *et al.* (2015a) pro fosfor u pšenice, Belanger *et al.* (2015b) pro fosfor u řepky a Cadot *et al.* (2018) pro fosfor u kukuřice. Principem je výpočet kritického obsahu živiny (tj. minimálního obsahu živiny v nadzemní biomase, při němž je zajištěna největší intenzita růstu nadzemní biomasy), na základě hmotnosti nadzemní biomasy (v t/ha), příp. obsahu dusíku v nadzemní biomase. Index výživy rostlin potom představuje poměr skutečně naměřeného obsahu živiny a kritického obsahu živiny v sušině nadzemní biomasy rostlin. Hodnoty indexu výživy rostlin nižší než 1 mají indikovat nedostatečný příjem dané živiny rostlinou, hodnoty vyšší naopak její nadbytečný příjem. Jak ukazují výsledky řady publikací z posledních let a samotné roky vydání těchto publikací (2012 – 2019), jedná se o nový postup vyjádření kritického obsahu síry či fosforu v nadzemní biomase rostlin, přičemž cílem této metodiky není hodnotit kritický obsah živiny ve vztahu k tvorbě nadzemní biomasy, ale ve vztahu k obsahu přijatelných živin v půdě a výnosu, příp. kvality produkce. Celosvětově je to přístup nový a málo prozkoumaný.

Existuje velké množství studií využívajících aniontovýměnných membrán (Anion Exchange Membranes - AEM) ke stanovení přístupného obsahu fosforu v půdě (např. Kuono *et al.* 1995, Zehetner *et al.* 2018). Autoři Le Cadre *et al.*

(2018) použili takovou metodu kromě stanovení přístupného fosforu úspěšně i ke stanovení nitrátového aniontu v půdě. Lze tedy předpokládat, že AEM membrány mají dobrý potenciál i pro stanovení rostlinám přístupné síry, která se rovněž v půdě vyskytuje v aniontové formě. Existuje však zatím pouze minimum studií zabývajících se touto problematikou v polních provozních podmínkách.

1.2 Inovativnost postupů

Metodika navazuje na výsledky 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“. Přínos této metodiky spočívá především v návrhu využití indikátorů výživného stavu rostlin, který je stabilnější během vegetace než prostý obsah dané živiny v rostlinných pletivech a má silnější spojitost nejen s obsahem přístupných živin v půdě, ale rovněž s výnosem, případně kvalitou produkce. Tyto indikátory jsou vždy stanoveny v celé nadzemní biomase rostlin zkoumaných porostů, což usnadňuje odběr vzorků. Dále jsou zde nově popsány zkušenosti s využitím aniontovýměnných membrán coby indikátoru obsahu přijatelné síry v půdě. Část této metodiky je zaměřena na problematiku příjmu zinku rostlinami, nutričně významného prvku pro člověka, jehož deficiencie v lidské stravě je celosvětově rozšířené zdravotní riziko. Stanovení prostého obsahu zinku v rostlinách a zejména v půdě má z hlediska nutriční hodnoty produkce nedostatečnou vypovídací hodnotu.

1.3 Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena zemědělcům, zemědělským poradcům, vlastníkům zemědělské půdy, výzkumným pracovníkům, vzdělávacím organizacím a orgánům státní správy.

1.4 Ekonomické přínosy využití předkládaných výsledků

Očekávané ekonomické přínosy výsledků publikovaných v této metodice si dovoluujeme shrnout v následujících bodech. Zdůrazněn budiž fakt, že vztahy půda-rostliny byly sledovány výhradně na půdách s definovaným rozpětím obsahu organického uhlíku v půdě, tj. 0,5 – 2,2 % C_{ox} v případě sledování příjmu fosforu a 0,5 – 1,7 % C_{ox} v případě sledování příjmu síry (viz kapitola 2), a jen u rostlin s optimálním obsahem dusíku v nadzemní biomase.

- Vzhledem k velmi těsným korelacím mezi obsahem síry v půdě stanovené ve výluhu Mehlich 3 a výživným stavem zkoumaných plodin sírou je možné rozšíření půdního rozboru o stanovení přijatelné síry v půdě s obsahem organického uhlíku 0,5 – 1,7 % C_{ox} bez navýšení dalších nákladů na takovou analýzu nebo nutnosti použití více extrakčních metod. Úspora na jeden vzorek tedy činí v závislosti na ceníku individuálních laboratoří cca 60 – 100 Kč.
- Efektivnější interpretace půdních a rostlinných analýz souvisí s omezením aplikace hnojiv, zejména sírných a zinečnatých, tzv. „na slepo“. Vzhledem k vysoké ceně fosforečných hnojiv je zohlednění příjmu živin rostlinami taktéž z ekonomického hlediska velmi důležité.
- Správné stanovení vztahů mezi obsahem přijatelného zinku v půdě a celkovým obsahem zinku v rostlině je nástrojem ke zlepšení nutriční hodnoty potravin poptávané v případě alternativních diet, zejména vegetariánské, jejímž důsledkem je omezený příjem zinku.
- Správné hnojení sírou a fosforem je v přímé souvislosti s výší, případně kvalitou produkce. Síra rovněž hraje významnou roli v ochraně rostlin a jejich adaptaci na stresové podmínky. Její metabolismus je v rostlinné biomase spojen s metabolismem dusíku.

- Zajištění správného obsahu přijatelného fosforu v půdě je obzvlášť významné ve srážkově deficitních podmínkách z důvodu snížené přijatelnosti fosforu při poklesu půdní vlhkosti.
- Při plném využití předložené metodiky lze v České republice očekávat ekonomický přínos řádově v milionech Kč.

2. MATERIÁL A METODY

K sestavení této metodiky byly využity výsledky z polních provozů odebíraných v letech 2015 – 2019. Soubor dat byl dále rozšířen o výsledky přesných polních pokusů, které byly prováděny v letech 2007 – 2013, neboť v rámci těchto pokusů byly provedeny rozsáhlé analýzy sklizených produktů včetně stanovení kvalitativních parametrů produkce.

V našich výsledcích jsou zahrnuty jen vzorky rostlin s optimálním obsahem dusíku v nadzemní biomase, či se alespoň těmito hodnotám velmi blízcím. Fosfor a zejména síra jsou významně vázány v organických látkách v půdě. Z toho důvodu jsme korelace mezi indikátory výživného stavu rostlin a obsahy přijatelných živin v půdě stanovovali pouze na pozemcích s definovaným rozsahem obsahu organického uhlíku v půdě (C_{ox}): pro fosfor byl tento obsah 0,5 – 2,2 % C_{ox} , odpovídající dle Sáňky *et* Materny (2004) nízkému až vysokému obsahu, pro síru 0,5 – 1,7 % C_{ox} odpovídající dle Sáňky *et* Materny (2004) nízkému až vyššímu střednímu obsahu. Obsah organického (oxidovatelného) uhlíku v půdě byl stanoven kolorimetricky oxidací dichromanem draselným v prostředí kyseliny sírové (Sims *et* Haby 1971).

Vedle obsahu organické hmoty v půdě má významný vliv na přijatelnost živin a funkci extrakčních činidel půdní reakce, kterou jsme stanovili ve výluhu 0,01 mol/l $CaCl_2$ s hodinovým třepáním dle jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ (Zbiral *et al.* 2016).

2.1 Odběr vzorků z polních provozů

Vzorky půdy a nadzemní biomasy byly odebírány z polních provozních ploch v letech 2015 – 2019 v okresech Benešov, Beroun, Domažlice, Hradec Králové, Kutná Hora, Litoměřice, Louny, Mělník, Mladá Boleslav, Nymburk, Pelhřimov, Přerov, Rokycany, Rychnov nad Kněžnou, Ústí nad Orlicí, Vsetín a Znojmo. Vzorky nadzemní biomasy rostlin byly odebrány na výšku strniště cca 3 cm. Výnos nadzemní biomasy byl zjištěn zvážením rostlinné biomasy odebrané z plochy 0,25 m² (čtverec o straně 0,50 m). Rostlinné vzorky byly vysušeny při teplotě 45 °C. U kukuřice nebyla rostlinná biomasa vzhledem k charakteru setí odebírána z plochy 0,25 m², nýbrž rostliny byly vždy odebrány v jednom řádku v délce 1 m. Odběr rostlinných vzorků probíhal v následujících fázích: u ozimé pšenice na počátku sloupkování (BBCH 30 – 31) a ke konci kvetení (BBCH 65 – 69), u ozimé řepky na začátku prodlužovacího růstu během jarní regenerace (BBCH 30 – 33) a v době kvetení (BBCH 61 – 65) a u kukuřice před začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 19).

Půdní vzorky byly odebrány vždy jen jednou během vegetace s první odebíranou růstovou fází, odebírán byl půdní profil 0 – 30 cm.

2.2 Přesné polní pokusy

Přesné polní pokusy s ozimou řepkou, ozimou pšenicí a kukuřicí probíhaly v letech 2007 – 2013 na čtyřech stanovištích s rozdílnými půdně-klimatickými podmínkami: Hněvčeves (okres Hradec králové), Humpolec (okres Pelhřimov), Čáslav (okres Kutná Hora) a Ivanovice na Hané (okres Vyškov). V těchto pokusech byl vedle způsobu aplikace dusíkatých hnojiv sledován také vliv přídatku síry k dusíkatému hnojivu. Vzorky nadzemní biomasy byly odebírány z plochy 0,25 m² (čtverec o straně 0,50 m) ve třech fázích ozimé pšenice [začátek sloupkování (BBCH 30), naduřování pochvy praporcového listu (BBCH 45) a začátek metání (BBCH 51)], ve dvou fázích ozimé řepky [začátek kvetení

(BBCH 60) a konec kvetení (BBCH 69)] a u kukuřice před začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 18 – 19).

Výnos škrobu (t/ha) a výnos dusíkatých látek (t/ha) byl vypočten jako součin výnosu zrna (t/ha) a obsahu škrobu v zrně (%), resp. obsahu dusíkatých látek v zrně (%).

2.3 Nádobové pokusy

Na půdách odebraných z polních provozů byly zakládány nádobové pokusy ve sklenících Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Cílem těchto pokusů bylo studium příjmu zinku rostlinami s vyloučením mimokořenové aplikace zinku. Zkoumanými plodinami byla jarní pšenice (dva pokusy) a kukuřice (jeden pokus). Navážka suché půdy na jednu nádobu činila 500 g, resp. 400 g v prvním pokusu s jarní pšenicí, vždy ve třech opakováních. Porosty byly vyjednoceny na dvě rostliny na nádobu. Počet pokusných půd (variant) činil 88 u jarní pšenice (součet za oba pokusy) a 44 u kukuřice. V průběhu pokusů byla udržována konstantní teplota v rozmezí 23 ± 3 °C a vzdušná vlhkost 47 ± 12 %. Přihnojení bylo provedeno v dávce 0,1 g N a 0,1 g K/kg půdy jednou v průběhu vegetace kukuřice a dvakrát v průběhu vegetace jarní pšenice. Dusík byl dodán v roztoku NH_4NO_3 a draslík v roztoku KCl. Jednou za dva týdny byla provedena randomizace nádob v prostorách skleníku. Pokus byl sklizen během kvetení jarní pšenice (BBCH 65 – 69) a před začátkem prodlužovacího růstu kukuřice (BBCH 19).

2.4 Chemické analýzy

Rostlinný materiál byl mineralizován rozkladem na suché cestě (Mader *et* Čurdová 1997). Obsah živin v půdě a rostlinách byl stanoven optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA). Obsah celkového dusíku v nadzemní biomase

byl stanoven metodou podle Kjeldahla na přístroji Vapodest 50S (Gerhardt, Spolková republika Německo). Pro vyjádření obsahu dusíkatých látek v zrně pšenice byl obsah dusíku v zrně vynásoben koeficientem 5,70. Obsah škrobu v zrně byl stanoven na přístroji NIR OmegAnalyzer G (Bruins Instrument, USA). Rostlinný materiál určený k analýzám byl homogenizován laboratorním střížným mlýnem SM100 (Retsch, Spolková republika Německo).

Půda byla po vysušení při laboratorní teplotě zhomogenizována a přeseta na sítu s velikostí ok 2 mm. Přístupný obsah živin v půdě byl stanoven metodami uvedenými v tabulce 1.

Tabulka 1. Sledované způsoby stanovení obsahů přijatelných živin v půdě

vyluhovadlo	poměr w/v	doba třepání	stanovený prvek	zdroj
voda	1:10	60 min	S	Kowalenko 2008
Mehlich 3	1:10	10 min	P, S, Zn	Mehlich 1984
Olsen	1:20	120 min	P	Olsen <i>et al.</i> 1954
voda + AEM	1:20	16 h	P, S	upraveno dle Kuono <i>et al.</i> (1995) a Tiessen <i>et Moir</i> (1993)

Pro výpočet indexu výživy rostlin sírou byl kritický obsah síry v nadzemní biomase rostlin (S_c) vypočítán za použití modelů:

Reussi *et al.* (2012) pro pšenici:

$$S_c = 0,37 DM^{-0,169}$$

Při hmotnosti nižší než 1 t sušiny/ha je počítáno s konstantní hodnotou $S_c = 0,55$ (Sedlár *et al.* 2019).

Carciochi *et al.* (2019) pro kukuřici:

$$S_c = 2,13 DM^{-0,23}$$

kde DM je hmotnost sušiny (t/ha). Výsledná hodnota S_c je vyjádřena v %.

Index výživy rostlin sírou byl vypočítán dle Carciochi *et al.* (2019) a Sedláře *et al.* (2019) jako poměr obsahu síry naměřeného v nadzemní biomase rostlin (S_m) a kritického obsahu síry (S_c).

$$SNI = \frac{S_m}{S_c}$$

Kritický obsah fosforu v nadzemní biomase rostlin (P_c) byl hodnocen za použití modelů:

Belanger *et al.* (2015a) pro pšenici:

$$P_c = -0,677 + 0,221N - 0,00292N^2,$$

Belanger *et al.* (2015b) pro řepku:

$$P_c = 1,74 + 0,024N,$$

Cadot *et al.* (2018) pro kukuřici:

$$P_c = 0,39 + 0,083N$$

kde N je obsah dusíku v nadzemní biomase udávaný v g/kg sušiny. Na rozdíl od indexu výživy rostlin sírou je výsledná hodnota P_c vyjádřena v g/kg. Obdobně jako v případě síry byl index výživy rostlin fosforem (PNI) vypočítán jako poměr obsahu fosforu naměřeného v nadzemní biomase rostlin (P_m) a kritického obsahu fosforu (P_c).

$$PNI = \frac{P_m}{P_c}$$

2.5 Statistické šetření a interpretace výsledků

Vztahy mezi sledovanými parametry byly hodnoceny regresní analýzou za použití Spearmanových regresních koeficientů, což je metoda vhodná v podmínkách, kde není dosaženo normálního rozdělení hodnot. Statistické šetření bylo provedeno v programu Statistica 13 (TIBCO Software Inc., USA). Výnosové parametry a parametry kvality produkce jsou uváděny v relativních hodnotách, tedy hodnotách vždy vztažených k průměru za konkrétní stanoviště, aby bylo možné do jediného souboru dat zahrnout výsledky ze všech stanovišť.

V tabulkách uváděných v této metodice jsou vzájemné vztahy jednotlivých parametrů vyjádřeny regresními koeficienty, které udávají jednotkovou změnu, o kolik se změní jedna proměnná, jestliže druhá proměnná se změní o jednotku. **Čím je regresní koeficient blíže 1,0, tím silnější vztah mezi sledovanými parametry existuje:** 0,0 – 0,2 velmi slabý vztah, 0,2 – 0,4 slabý, 0,4 – 0,6 středně silný, 0,6 – 0,8 silný a 0,8 – 1,0 velmi silný vztah (anonym - Statstutor). Statisticky významné regresní koeficienty jsou označeny hvězdičkami podle hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$, které udávají tzv. interval spolehlivosti *95 %, **99 % a ***99,9 %. Tyto intervaly spolehlivosti vyjadřují statistickou jistotu, s jakou bude mezi sledovanými parametry nějaký vztah.

Statistická významnost rozdílů (tabulka 8, 14, 15 a 17) byla hodnocena Tukey testem.

3. SÍRA

3.1 Vztah výživného stavu rostlin sírou s obsahem přijatelné síry v půdě



nahu vyjádřit výživný stav ozimé pšenice indexem výživného stavu rostlin sírou (SNI) významně ztížila skutečnost, že na začátku sloupkování (BBCH 30) více než polovina vzorků rostlin v našich sledováních dosahovala hmotnosti sušiny nadzemní biomasy nižší než 1 t/ha. Model výpočtu kritického obsahu síry dle Reussi *et al.* (2012) je však určen pro porosty s hmotností sušiny nadzemní biomasy vyšší než 1 t/ha. Proto byl analogicky indexu výživy rostlin dusíkem uváděným Justes *et al.* (1994), také v rámci našich přesných polních pokusů vyjádřen kritický obsah síry v sušině nadzemní biomasy (S_c) konstantní hodnotou pro případ hmotnosti sušiny nadzemní biomasy nižší než 1 t/ha. Tato hodnota je $S_c = 0,55$ a představuje průměrný obsah síry v rostlinách ozimé pšenice rostoucích v podmínkách, v nichž síra nebyla limitující prvek (Sedlář *et al.* 2019). Takové podmínky byly v našich pokusech navozeny tak, že byly vybrány jen rostlinné vzorky s poměrem N/S v nadzemní biomase ve fázi BBCH 30 nižší než 14,90 (medián 7,32) což bylo optimální pro nejvyšší výnos zrna pšenice v pokusech Blake-Kalff *et al.* (2000). Současně měly tyto rostliny přísně hodnocený optimální obsah dusíku, tj. jejich index výživy rostlin dusíkem vypočítaný podle Justes *et al.* (1994) dosahoval ve fázi BBCH 30 hodnot $NNI = 0,95 - 1,05$ (medián 0,99) a zároveň byl ideální poměr N/S ve sklizeném zrna těchto rostlin $N/S = 11,0 - 15,0$ (medián 12,6) (Tea *et al.* 2007) a ve slámě $N/S = 3,0 - 7,0$ (medián 4,8) (Steinfurth *et al.* 2012). Průměrný obsah síry v nadzemní biomase těchto rostlin ve fázi BBCH 30 byl stanoven v souboru celkem 20 případů.

Při odběru vzorků z polních provozů byly nejsilnější a statisticky významné korelace nalezeny mezi poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice a obsahem přijatelné síry v půdě stanoveným ve výluhu Mehlich 3 v obou

sledovaných vývojových fázích ozimé pšenice, tj. na začátku sloupkování a během kvetení (tabulka 2).

Tabulka 2. Ozimá pšenice: regresní koeficienty (r) vztahů mezi obsahem přijatelné síry v půdě a výživným stavem rostlin sírou v polních provozech na začátku sloupkování (BBCH 30) a během kvetení.

	pH půdy > 7,0 (n = 39)			pH půdy < 7,0 (n = 38)		
	S _w	S _{M3}	S _{AEM}	S _w	S _{M3}	S _{AEM}
% S _{BBCH 30}	0,444*	0,526**	0,059	0,467**	0,623***	0,133
N/S _{BBCH 30}	-0,464**	-0,525**	-0,190	-0,306	-0,507**	0,112
SNI _{BBCH 30}	-0,855*	-0,127	-0,359	0,558*	0,590*	0,576
% S _{kvetení}	0,213	0,408*	0,110	0,278	0,420*	0,428*
N/S _{kvetení}	-0,440**	-0,575***	-0,313	-0,425*	-0,441**	-0,234
SNI _{kvetení}	-0,500	-0,200	-0,412	0,049	0,155	-0,083

Přijatelný obsah síry v půdě stanoven pomocí: S_w – voda, S_{M3} – Mehlich 3, S_{AEM} – aniontovýměnné membrány. Výživný stav rostlin sírou vyjádřen: % S – procentuální obsah S, N/S – hmotnostní poměr N/S v nadzemní biomase, SNI – index výživy rostlin sírou. Hladiny významnosti *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01 a ***p ≤ 0,001.

Na alkalických půdách (tabulka 3), byly zaznamenány nejsilnější korelace mezi poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé řepky a obsahem přijatelné síry v půdě stanovené pomocí činidla Mehlich 3 v obou zkoumaných vývojových fázích, tj. na začátku prodlužovacího růstu a během kvetení. Na nealkalických půdách byly zjištěny statisticky významné korelace mezi vodorozpustnou sírou v půdě a poměrem N/S v nadzemní biomase ozimé řepky opět v obou vývojových fázích; tato korelace byla silná na začátku prodlužovacího růstu a slabá během kvetení.

Tabulka 3. Ozimá řepka: regresní koeficienty (r) vztahů mezi obsahem přijatelné síry v půdě a výživným stavem rostlin sírou v polních provozech na začátku prodlužovacího růstu (BBCH 30) a během kvetení.

	pH půdy > 7,0 (n = 34)			pH půdy < 7,0 (n = 32)		
	S _w	S _{M3}	S _{AEM}	S _w	S _{M3}	S _{AEM}
% S _{BBCH 30}	0,086	0,714***	-0,550*	0,208	0,188	-0,286
N/S _{BBCH 30}	0,022	-0,521*	0,286	-0,626*	-0,402	0,005
% S _{kvetení}	0,353*	0,240	0,143	0,539**	0,551**	0,079
N/S _{kvetení}	-0,337	-0,469**	0,169	-0,370*	-0,227	0,444*

Přijatelný obsah síry v půdě stanoven pomocí: S_w – voda, S_{M3} – Mehlich 3, S_{AEM} – aniontovýměnné membrány. Výživný stav rostlin sírou vyjádřen: % S – procentuální obsah S, N/S – hmotnostní poměr N/S v nadzemní biomase. Hladiny významnosti *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01 a ***p ≤ 0,001.

Byl-li soubor výsledků z polních provozů s kukuřicí rozdělen zvlášť na alkalické a nealkalické půdy, nebyly zjištěny statisticky významné vztahy mezi indikátory výživného stavu kukuřice sírou a obsahem přijatelné síry v půdě. Důvodem této skutečnosti byl pravděpodobně malý rozsah souboru výsledků, proto byly vybrány porosty na půdách s hodnotou pH 5,2 – 7,4. Jak vyplývá z našich výsledků (tabulka 4), statisticky významné vztahy byly zjištěny mezi obsahem přijatelné půdní síry stanovené ve výluhu Mehlich 3 a jak obsahem síry v nadzemní biomase, tak poměrem N/S v nadzemní biomase kukuřice před začátkem prodlužovacího růstu.

Tabulka 4. Kukuřice: regresní koeficienty (r) vztahů mezi obsahem přijatelné síry v půdě a výživným stavem rostlin sírou před začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 19) v polních provozech na půdách s rozpětím pH 5,2 – 7,4.

	pH půdy 5,2 - 7,4; medián 6,8 (n = 21)		
	S _w	S _{M3}	S _{AEM}
% S _{BBCH 19}	0,174	0,629**	-0,281
N/S _{BBCH 19}	-0,304	-0,586**	-0,018
SNI _{BBCH 19}	-0,050	0,067	0,319

Přijatelný obsah síry v půdě stanoven pomocí: S_w – voda, S_{M3} – Mehlich 3, S_{AEM} – aniontovýměnné membrány. Výživný stav rostlin sírou vyjádřen: % S – procentuální obsah S, N/S – hmotnostní poměr N/S v nadzemní biomase, SNI – index výživy rostlin sírou. Hladiny významnosti *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01 a ***p ≤ 0,001.

Aby bylo možné výše zmíněné vztahy využít prakticky k upřesnění dávek dusíkatých hnojiv, sledovali jsme, při jakých obsazích přijatelné síry v půdě nabýval poměr N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky optimálních hodnot. Obsah síry v půdě stanovený pomocí AEM membrán nebyl posuzován z důvodu jeho statisticky nevýznamných vztahů se sledovanými indikátory výživného stavu rostlin sírou. Do tohoto hodnocení nebyla zahrnuta data týkající se kukuřice, protože tento soubor dat nebylo možné kvůli jeho malému rozsahu zodpovědně rozdělit zvlášť na alkalické a nealkalické půdy.

Jak vyplývá z tabulky 5, při prvním odběru vzorků nadzemní biomasy odpovídaly optimální hodnoty poměru N/S v nadzemní biomase u ozimé pšenice obsahu vodorozpustné síry 3,5 – 13,0 mg/kg na alkalické půdě. U ozimé řepky na nealkalické půdě to bylo 20,0 mg/kg vodorozpustné síry. To souhlasí s výsledky Matuly (2007), který jako dostatečný obsah vodorozpustné síry uvádí hodnoty 23,0 mg/kg a vyšší, nicméně pro ozimou pšenici jsme došli k nižším hodnotám, při nichž už Matula (2007) doporučuje výrazné dosycení sírou.

Optimální hodnoty poměru N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice v kvetení byly zjištěny při obsahu přijatelné síry v půdě ve výluhu Mehlich 3 5,2 – 23,0 mg/kg nezávisle na půdní reakci. Optimální poměr N/S v nadzemní biomase kvetoucí ozimé řepky byl zjištěn při obsahu přijatelné síry ve výluhu Mehlich 3 26,4 – 36,0 mg/kg na alkalických půdách. Obdobně jako v případě vodorozpustné síry můžeme také v případě činidla Mehlich 3 konstatovat, že dobrý obsah vyjádřený Smatanovou *et* Sušilem (2018), tj. 31,0 – 40,0 mg/kg je vhodné dodržet v případě řepky, v případě pšenice je dostačující i nižší obsah.

Tabulka 5. Hodnoty mediánů obsahu přijatelné síry v půdě (mg/kg) zjištěné při optimálních^{abcd} hmotnostních poměrech N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky pěstovaných v polních provozech ve fázi začátku prodlužovacího růstu (BBCH 30) a během kvetení.

	pH půdy	S _{M3} při optimálních hodnotách N/S _{BBCH 30} ^{a,b}	S _{M3} při optimálních hodnotách N/S _{kvetení} ^{c,d}	S _w při optimálních hodnotách N/S _{BBCH 30} ^{a,b}	S _w při optimálních hodnotách N/S _{kvetení} ^{c,d}
ozimá pšenice	> 7,0	23,0	5,2	13,0	3,5
	< 7,0	20,7	5,7	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
ozimá řepka	> 7,0	26,4	36,0	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
	< 7,0	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	20,1	19,9

Za optimální hodnoty poměru N/S v nadzemní biomase byly brány: ^a 14,9 u ozimé pšenice na začátku sloupkování (Blake-Kalff *et al.* 2000), ^b 6 u ozimé řepky na začátku jarního prodlužovacího růstu (Siaudinis 2010), ^c 12 u ozimé pšenice během kvetení (Calvo *et al.* 2008 a Steinfurth *et al.* 2012), a ^d 5,5 u ozimé řepky během kvetení (Siaudinis 2010).

Přijatelný obsah síry v půdě stanoven pomocí: S_w – voda, S_{M3} – Mehlich 3. *n.s.* – obsah přijatelné síry v půdě neuveden z důvodu statisticky nevýznamné korelace s poměrem N/S v nadzemní biomase rostlin (viz tabulka 2 a 3).

3.2 Vztah indikátorů výživného stavu rostlin sírou k výnosu hlavního produktu a jeho kvalitě

Z tabulky 6 je patrné, že na začátku sloupkování byl index výživy rostlin sírou (SNI) nejspolehlivějším indikátorem výživného stavu rostlin sírou z hlediska výnosu zrna ozimé pšenice a jeho kvality, protože SNI koreloval nejsilněji s hmotností tisíce zrn, Zelenyho sedimentačním testem, obsahem škrobu v zrně a výnosem zrna.

Ve fázi naduřování pochvy praporcového listu můžeme za nejlepší kritérium hodnocení výživného stavu ozimé pšenice sírou označit poměr N/S v nadzemní biomase, protože byl v průkazném vztahu také s výnosem zrna na rozdíl od obsahu síry v nadzemní biomase a indexu výživy rostlin sírou. Je však nezbytné dodat, že navzdory statistické významnosti byly všechny tyto vztahy jen slabé.

Při hodnocení výživného stavu ozimé pšenice sírou na začátku metání bychom opět vyzdvihli poměr N/S z důvodu jeho středně silného statisticky významného vztahu s výnosem zrna. Bez zajímavosti není ani středně silná a průkazná závislost mezi SNI a HTS, Zeleného testem a obsahem lepku v zrna, navzdory skutečnosti, že původně byl výpočet SNI omezen jen do konce sloupkování pšenice (Reussi *et al.* 2012).

Tabulka 6. Ozimá pšenice: regresní koeficienty (r) vztahů výživného stavu rostlin sírou v průběhu vegetace s relativním vyjádřením parametrů výnosu a kvality zrna v přesných polních pokusech.

<i>n</i> = 120	% S _{BBCH}	N/S _{BBCH}	SNI _{BBCH}	% S _{BBCH}	N/S _{BBCH}	SNI _{BBCH}	% S _{BBCH}	N/S _{BBCH}	SNI _{BBCH}
	30	30	30	45	45	45	51	51	51
HTS	0,08	-0,09	0,33 ^{***}	0,09	-0,14	0,07	0,27 ^{**}	-0,41 ^{***}	0,30 ^{***}
Zelený test	0,22 [*]	-0,17	0,59 ^{***}	0,18	-0,05	0,16	0,64 ^{***}	-0,41 ^{***}	0,58 ^{***}
č. poklesu	-0,28 ^{**}	0,28 ^{**}	0,12	-0,39 ^{***}	0,37 ^{***}	-0,40 ^{***}	-0,12	0,17	-0,10
N-látky	-0,08	0,10	-0,02	0,02	0,07	0,01	0,15	-0,07	0,14
lepek	0,26 ^{**}	-0,25 ^{**}	0,09	0,26 ^{**}	-0,21 [*]	0,26 ^{**}	0,38 ^{***}	-0,34 ^{***}	0,40 ^{***}
škrob	-0,27 ^{**}	0,24 [*]	-0,46 ^{***}	-0,07	-0,05	-0,05	-0,30 ^{**}	0,17	-0,29 ^{**}
výnos zrna	0,24 [*]	-0,24 [*]	0,26 ^{**}	0,17	-0,25 [*]	0,18	0,24 ^{**}	-0,44 ^{***}	0,26 ^{**}

Výživný stav rostlin sírou vyjádřen: % S – procentuální obsah S, N/S – hmotnostní poměr N/S v nadzemní biomase, SNI – index výživy rostlin sírou. HTS – hmotnost tisíce semen. Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

Jak uvádí tabulka 7, s výnosem semene ozimé řepky koreloval statisticky významněji ($p \leq 0,001$) poměr N/S v nadzemní biomase v porovnání s prostým obsahem síry v nadzemní biomase.

Tabulka 7. Ozimá řepka: regresní koeficienty (r) vztahů výživného stavu rostlin sírou na začátku (BBCH 60) a na konci kvetení (BBCH 69) s relativním vyjádřením parametrů výnosu semen v přesných polních pokusech.

<i>n</i> = 191	% S _{BBCH 60}	N/S _{BBCH 60}	% S _{BBCH 69}	N/S _{BBCH 69}
HTS	0,365***	-0,301***	0,041	0,051
výnos semen	0,248**	-0,268***	-0,224**	0,306***

Výživný stav rostlin sírou vyjádřen: % S – procentuální obsah S, N/S – hmotnostní poměr N/S v nadzemní biomase. HTS – hmotnost tisíce semen. Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

Z přesných polních pokusů vyplývá, že žádný ze sledovaných indikátorů výživného stavu kukuřice sírou před začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 19), tj. obsah síry v nadzemní biomase, poměr N/S v nadzemní biomase a index výživy rostlin sírou, nekoreloval statisticky významně se sledovanými parametry výnosu hlavního či vedlejšího produktu, kterými byly: počet palic na rostlině, délka palice, počet zrn v palici, hmotnost tisíce semen, výnos zrna a výnos vedlejšího produktu. Proto nejsou data uvedena v tabulce výsledků.

Jak vyplývá z tabulky 8, nadprůměrné hodnoty hmotnosti tisíce semen, Zeleny testu, čísla poklesu, obsahu dusíkatých látek v zrně, obsahu mokrého lepku v zrně, obsahu škrobu v zrně a výnosu zrna ozimé pšenice byly zjištěny při poměru N/S v nadzemní biomase cca 12 od začátku sloupkování po naduřování pochvy praporcového listu, resp. 10,75 na začátku metání, což je v souladu s optimálními hodnotami zjištěnými různými autory a uvedenými v tabulce 5.

V případě ozimé řepky byly nadprůměrné hodnoty hmotnosti tisíce semen a výnosu semen zaznamenány při poměru N/S 8,65 a 10,10 na začátku, resp. na konci kvetení (tabulka 8), což jsou hodnoty vyšší než je udávané optimum dle Siaudinis (2010).

Poměry N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky byly statisticky významně vyšší u porostů s nadprůměrnými hodnotami výnosových parametrů než u porostů dosahujících podprůměrných hodnot parametrů výnosu a kvality. Opačná situace nastala u poměru N/S v nadzemní biomase ozimé řepky

na konci kvetení. Důvodem je pozitivní korelace mezi poměrem N/S v nadzemní biomase rostlin na konci kvetení a výnosem semen (tabulka 7), přičemž stejná situace se opakuje v případě poměru N/P v nadzemní biomase ozimé řepky na konci kvetení (tabulka 13).

Tabulka 8. Hodnoty poměrů N/S v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky u vzorků, které dosahovaly hodnot parametrů výnosu[□] vyšších, resp. nižších než průměr za každé pokusné stanoviště v přesných polních pokusech.

	A: nadprůměrné hodnoty výnosu a jeho kvality [□]	B: podprůměrné hodnoty výnosu a jeho kvality [□]	statistická významnost rozdílů A-B
ozimá pšenice			
<i>n</i>	<i>89</i>	<i>85</i>	
N/S _{BBCH 30}	12,18	17,22	***
N/S _{BBCH 45}	12,07	20,40	***
N/S _{BBCH 51}	10,75	15,54	***
ozimá řepka			
<i>n</i>	<i>65</i>	<i>61</i>	
N/S _{BBCH 60}	8,65	14,63	***
N/S _{BBCH 69}	10,10	7,88	**

[□] hmotnost tisíce semen, Zelený test, číslo poklesu, obsah dusíkatých látek v zrně, obsah mokrého lepku v zrně, obsah škrobu v zrně a výnos zrna ozimé pšenice, hmotnost tisíce semen a výnos semen ozimé řepky

Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

4. FOSFOR

4.1 Vztah výživného stavu rostlin fosforem s obsahem přijatelného fosforu v půdě



ři pěstování ozimé pšenice na alkalických půdách koreloval obsah přijatelného fosforu v půdě stanovený ve výluhu Mehlich 3 i Olsen statisticky významně se všemi třemi indikátory výživného stavu rostlin fosforem (tabulka 9).

Na nealkalických půdách jsme zaznamenali silnější a častěji statisticky významné vztahy indikátorů výživného stavu ozimé pšenice fosforem s obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveným pomocí činidla Olsen než v případě roztoku Mehlich 3. Byl-li obsah přijatelného půdního fosforu stanoven ve výluhu Olsen, nemůžeme vyzdvihnout žádný indikátor výživného stavu rostlin fosforem nad ostatní. Statisticky významný vztah byl zjištěn mezi obsahem přijatelného fosforu v nealkalické půdě ve výluhu Mehlich 3 a poměrem N/P v nadzemní biomase, a to v obou sledovaných růstových fázích, tedy na začátku sloupkování a během kvetení.

Tabulka 9. Ozimá pšenice: regresní koeficienty (r) vztahů mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě a výživným stavem rostlin fosforem v polních provozech na začátku sloupkování (BBCH 30) a během kvetení.

	pH půdy > 7,0 ($n = 55$)			pH půdy < 7,0 ($n = 48$)		
	P _{M3}	P _{Olsen}	P _{AEM}	P _{M3}	P _{Olsen}	P _{AEM}
% P _{BBCH 30}	0,791 ^{***}	0,727 ^{***}	0,192	0,679 ^{***}	0,654 ^{***}	0,038
N/P _{BBCH 30}	-0,616 ^{***}	-0,681 ^{***}	-0,469 ^{**}	-0,545 ^{***}	-0,666 ^{***}	0,087
PNI _{BBCH 30}	0,492 ^{***}	0,606 ^{***}	0,526 ^{***}	0,472 ^{**}	0,619 ^{***}	-0,089
% P _{kvetení}	0,564 ^{***}	0,590 ^{***}	0,297	0,261	0,429 ^{**}	-0,189
N/P _{kvetení}	-0,437 ^{**}	-0,437 ^{**}	-0,422 ^{**}	-0,322 [*]	-0,561 ^{***}	0,261
PNI _{kvetení}	0,402 ^{**}	0,433 ^{**}	0,377 [*]	0,216	0,402 [*]	-0,230

Přijatelný obsah fosforu v půdě stanoven pomocí: P_{M3} – Mehlich 3, P_{Olsen} – Olsen, P_{AEM} – aniontovýměnné membrány. Výživný stav rostlin fosforem vyjádřen: % P – procentuální obsah P, N/P – hmotnostní poměr N/P v nadzemní biomase, PNI – index výživy rostlin fosforem. Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

Při pěstování ozimé řepky na alkalických půdách byly zjištěny statisticky významné vztahy obsahu přijatelného fosforu v půdě ve výluhu Mehlich 3 s poměrem N/P v nadzemní biomase v obou sledovaných růstových fázích, tj. na začátku prodlužovacího růstu a během kvetení (tabulka 10). Pro nealkalické půdy byly zjištěny statisticky významné korelace mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě stanoveným ve výluhu Olsen a obsahem fosforu v nadzemní biomase ozimé řepky v obou zkoumaných vývojových fázích, tj. na začátku prodlužovacího růstu a během kvetení. Tyto korelace byly středně silné.

Obdobně jako u ozimé pšenice (tabulka 9), také v případě ozimé řepky (tabulka 10) nemůžeme na základě našich výsledků doporučit stanovení obsahu přijatelného fosforu v půdě pomocí AEM membrán z důvodu jeho nejslabších a nejméně statisticky významných vztahů s indikátory výživného stavu rostlin fosforem zejména na nealkalických půdách.

Tabulka 10. Ozimá řepka: regresní koeficienty (r) vztahů mezi obsahem přijatelného fosforu v půdě a výživným stavem rostlin fosforem v polních provozech na začátku prodlužovacího růstu (BBCH 30) a během kvetení.

	pH půdy > 7,0 (<i>n</i> = 40)			pH půdy < 7,0 (<i>n</i> = 38)		
	P _{M3}	P _{Olsen}	P _{AEM}	P _{M3}	P _{Olsen}	P _{AEM}
% P _{BBCH 30}	0,327	0,538	0,312	0,458*	0,460*	0,223
N/P _{BBCH 30}	-0,487*	-0,550	-0,534*	0,053	-0,093	0,138
PNI _{BBCH 30}	0,260	0,167	0,379	0,221	0,264	0,047
% P _{kvetení}	0,443**	0,527**	0,256	0,239	0,439*	-0,021
N/P _{kvetení}	-0,521***	-0,675***	-0,216	-0,585***	-0,729***	-0,018
PNI _{kvetení}	0,500**	0,652***	0,260	0,382*	0,589***	-0,011

Přijatelný obsah fosforu v půdě stanoven pomocí: P_{M3} – Mehlich 3, P_{Olsen} – Olsen, P_{AEM} – aniontovýměnné membrány. Výživný stav rostlin fosforem vyjádřen: % P – procentuální obsah P, N/P – hmotnostní poměr N/P v nadzemní biomase, PNI – index výživy rostlin fosforem. Hladiny významnosti **p* ≤ 0,05, ***p* ≤ 0,01 a ****p* ≤ 0,001.

Vztahy mezi indikátory výživného stavu kukuřice před začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 19) a třemi různými způsoby stanovení obsahu přijatelného fosforu v půdě (Mehlich 3, Olsen, AEM membrány) nebyly v polních

provozech statisticky významné a nelze žádný z těchto sledovaných parametrů vyloženě doporučit. Statistická nevýznamnost však může být pravděpodobně způsobena malým rozsahem zkoumaného souboru dat.

K ověření, zda jsou současně používaná kritéria hodnocení obsahu přijatelného fosforu v půdě optimální z hlediska příjmu fosforu plodinami, byly pro obsahy přijatelného fosforu v půdě označované jako dobré, tj. 81 – 115 mg/kg pro činidlo Mehlich 3 a 36 – 45 mg/kg v případě činidla Olsen (Kunzová 2009), vyjádřeny mediány hodnot indikátorů výživného stavu ozimé pšenice a ozimé řepky zaznamenaných v polních provozech. V tabulce 11 nejsou uvedeny výsledky obsahu přijatelného fosforu v půdě stanoveného pomocí AEM membrán, protože nebyly ve statisticky významném vztahu s indikátory výživného stavu rostlin fosforem. Ze stejného důvodu nejsou v tabulce zahrnuty výsledky kukuřice.

Z tabulky 11 vyplývá, že obsah fosforu v nadzemní biomase rostlin, resp. poměr N/P v nadzemní biomase dosahovaly vyššího příjmu fosforu, než jsou optimální hodnoty indikátorů výživného stavu rostlin fosforem. Výjimkou byl výživný stav ozimé pšenice fosforem, který dosahoval na nealkalických půdách při „dobrém“ obsahu stanoveném ve výluhu Mehlich 3 nižších než optimálních hodnot, ovšem z tabulky 9 vyplývá, že tyto parametry spolu korelovaly slaběji než v ostatních případech. Lze tedy tvrdit, že obsah přijatelného fosforu v půdě může být na spodním intervalu tzv. dobrého obsahu.

Tabulka 11. Hodnoty indikátorů výživného stavu plodin na začátku prodlužovacího růstu (BBCH 30) a v průběhu kvetení při „dobrém“ obsahu přijatelného fosforu v půdě stanoveném ve výluhu Mehlich 3 (81 – 115 mg/kg) a Olsen (36 – 45 mg/kg). Pro porovnání jsou uvedeny optimální hodnoty obsahu P a poměru N/P v nadzemní biomase rostlin podle různých autorů, přičemž obvykle se jedná o hodnotu zaznamenanou při nejvyšším výnosu a intenzivní výživě rostlin fosforem.

ozimá pšenice		% P _{BBCH 30}		% P _{kvetení}		N/P _{BBCH 30}		N/P _{kvetení}	
		zjištěný	opt.	zjištěný	opt.	zjištěný	opt.	zjištěný	opt.
pH půdy	P _{M3}	0,450		0,245		8,58		7,27	
> 7,0	P _{Olsen}	0,480	0,330 ^a	0,260	0,230 ^a	7,82	12,42 ^b	6,77	7,83 ^c
pH půdy	P _{M3}	0,470		0,186		8,19		9,41	
< 7,0	P _{Olsen}	0,485		0,245		7,14		6,93	
ozimá řepka		zjištěný	opt.	zjištěný	opt.	zjištěný	opt.	zjištěný	opt.
pH půdy	P _{M3}	0,710		0,460		7,82		7,48	
> 7,0	P _{Olsen}	0,710	0,330 ^d	0,455	0,300 ^d	7,82	12,12 ^e	7,48	13,33 ^f
pH půdy	P _{M3}	0,830		0,504		5,71		6,47	
< 7,0	P _{Olsen}	0,736		0,455		6,61		5,50	

Přijatelný obsah fosforu v půdě stanoven pomocí: P_{M3} – Mehlich 3, P_{Olsen} – Olsen. Výživný stav rostlin fosforem vyjádřen: % P – procentuální obsah P, N/P – hmotnostní poměr N/P v nadzemní biomase.

^a Baier *et* Baierová 1985, ^b výpočet pro nadzemní biomasu pšenice na začátku sloupkování, tj. poměr optimálního obsahu N 4,10 % (Balkcom *et* Burmester 2015) a optimálního obsahu P 0,330 % (Baier *et* Baierová 1985), ^c výpočet pro nadzemní biomasu pšenice v době kvetení, tj. poměr optimálního obsahu N 1,80 % (Lopez-Bellido *et al.* 2004) a optimálního obsahu P 0,230 % (Baier *et* Baierová 1985), ^d Brennan *et* Bolland 2007, ^e výpočet pro nadzemní biomasu řepky na začátku prodlužovacího růstu, tj. poměr optimálního obsahu N 4,00 % (Siaudinis 2010) a optimálního obsahu P 0,330 % (Brennan *et* Bolland 2007), ^f výpočet pro nadzemní biomasu řepky během kvetení, tj. poměr optimálního obsahu N 4,00 % (Chamoro *et al.* 2002) a optimálního obsahu P 0,300 % (Brennan *et* Bolland 2007).

4.2 Vztah indikátorů výživného stavu rostlin fosforem k výnosu hlavního produktu

Z tabulky 12 vyplývá, že z hlediska vztahu k hmotnosti tisíce semen (HTS) a výnosu zrna nelze na základě našich výsledků upřednostnit žádný ze sledovaných indikátorů výživného stavu ozimé pšenice fosforem. Výnos škrobu (v t/ha) však koreloval statisticky významně s poměrem N/P v nadzemní biomase

rostlin ve všech sledovaných vývojových fázích na rozdíl od ostatních indikátorů výživného stavu rostlin fosforem. Tyto korelace však byly jen velmi slabé či slabé.

Tabulka 12. Ozimá pšenice: regresní koeficienty (r) vztahů výživného stavu rostlin fosforem v průběhu vegetace s relativním vyjádřením parametrů výnosu a kvality zrna v přesných polních pokusech.

<i>n</i> = 209	% P _{BBCH}	N/P _{BBCH}	PNI _{BBCH}	% P _{BBCH}	N/P _{BBCH}	PNI _{BBCH}	% P _{BBCH}	N/P _{BBCH}	PNI _{BBCH}
	30	30	30	45	45	45	51	51	51
HTS	-0,038	0,046	-0,029	-0,067	-0,062	0,026	0,059	-0,221**	0,214**
výnos škrobu	0,191**	-0,226**	0,173*	0,031	-0,161*	0,127	0,079	-0,172*	0,152*
výnos N-látek	0,069	-0,079	0,073	-0,036	0,068	-0,064	0,215**	-0,143*	0,135
výnos zrna	0,166*	-0,200**	0,151*	0,003	-0,096	0,069	0,078	-0,134	0,117

Výživný stav rostlin fosforem vyjádřen: % P – procentuální obsah P, N/P – hmotnostní poměr N/P v nadzemní biomase, PNI – index výživy rostlin fosforem. HTS – hmotnost tisíce semen. Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

Z hlediska vztahu k výnosu nelze vyzdvihnout žádný z obou sledovaných indikátorů výživného stavu ozimé řepky fosforem (tabulka 13). Poměr N/P v nadzemní biomase na konci kvetení koreloval statisticky významně s HTS jako jediný indikátor výživného stavu ozimé řepky fosforem, ovšem tato korelace byla jen slabá.

Tabulka 13. Ozimá řepka: regresní koeficienty (r) vztahů výživného stavu rostlin fosforem v průběhu vegetace s relativním vyjádřením parametrů výnosu semene v přesných polních pokusech na začátku kvetení (BBCH 60) a na konci kvetení (BBCH 69).

<i>n</i> = 191	% P _{BBCH 60}	N/P _{BBCH 60}	PNI _{BBCH 60}	% P _{BBCH 69}	N/P _{BBCH 69}	PNI _{BBCH 69}
HTS	0,330***	-0,268***	0,305***	-0,113	0,213**	-0,139
výnos semen	-0,007	-0,072	0,017	-0,380***	0,422***	-0,393***

Výživný stav rostlin fosforem vyjádřen: % P – procentuální obsah P, N/P – hmotnostní poměr N/P v nadzemní biomase, PNI – index výživy rostlin fosforem. HTS – hmotnost tisíce semen. Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

Stejně jako v případě síry, žádný ze sledovaných indikátorů výživného stavu kukuřice fosforem před začátkem prodlužovacího růstu (BBCH 19), tj. obsah fosforu v nadzemní biomase, poměr N/P v nadzemní biomase a index výživy rostlin fosforem, nekoreloval v přesných polních pokusech statisticky významně se sledovanými parametry výnosu hlavního či vedlejšího produktu, kterými opět byly: počet palic na rostlině, délka palice, počet zrn v palici, hmotnost tisíce semen, výnos zrna a výnos vedlejšího produktu.

Z tabulky 14 je patrné, že v porostech ozimé pšenice byly nadprůměrné hodnoty hmotnosti tisíce semen, výnosu škrobu, výnosu dusíkatých látek a výnosu zrna zaznamenány při poměru N/P v nadzemní biomase 12,43 na začátku sloupkování a 9,95 na začátku metání. Nadprůměrná hmotnost tisíce semen a výnos semen byly zjištěny v porostech ozimé řepky dosahujících poměru N/P 7,23 v nadzemní biomase na začátku kvetení (BBCH 60). Poměry N/P v nadzemní biomase rostlin zjištěné v případě nadprůměrných parametrů výnosu semen byly v souladu s hodnotami uváděnými jako optimální dle různých autorů (tabulka 11).

Rozdíly v poměru N/P v nadzemní biomase rostlin mezi porosty s nadprůměrnými a podprůměrnými hodnotami parametrů výnosu zrna byly statisticky nevýznamné v případě ozimé pšenice ve fázi naduřování listové pochvy (BBCH 45) a v případě ozimé řepky na konci kvetení (BBCH 69).

Tabulka 14. Hodnoty poměrů N/P v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky u vzorků, které dosahovaly hodnot parametrů výnosu^Δ vyšších, resp. nižších než průměr za každé pokusné stanoviště v přesných polních pokusech.

	A: nadprůměrné hodnoty parametrů výnosu ^Δ	B: podprůměrné hodnoty parametrů výnosu ^Δ	statistická významnost rozdílů A-B
ozimá pšenice			
<i>n</i>	<i>88</i>	<i>117</i>	
N/P _{BBCH 30}	12,43	16,22	*
N/P _{BBCH 45}	12,44	11,19	<i>n.s.</i>
N/P _{BBCH 51}	9,95	12,61	***
ozimá řepka			
<i>n</i>	<i>65</i>	<i>61</i>	
N/P _{BBCH 60}	7,23	15,41	***
N/P _{BBCH 69}	14,33	10,95	<i>n.s.</i>

^Δ hmotnost tisíce semen, výnos škrobu, výnos dusíkatých látek a výnos zrna ozimé pšenice; hmotnost tisíce semen a výnos semen ozimé řepky.

Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$, *n.s.* – statisticky nevýznamný rozdíl.

4.3 Příjem zinku ve vztahu k příjmu fosforu pšenici



ačná pozornost v různých studiích je věnována problematice sníženého obsahu zinku v zrně obilnin pěstovaných na půdách s vyšším obsahem přijatelného fosforu (např. Nikolic *et al.* 2016), přičemž nedostatečný příjem zinku v potravě představuje vážné a velmi rozšířené zdravotní riziko, zejména pak ve vegetariánské stravě (Kristensen *et al.* 2006). Nízký obsah zinku v zrně pšenice může vést ke zdravotním komplikacím v oblastech, kde je pšeničné pečivo základní potravinou (Nikolic *et al.* 2016). Pro vyvíjející se zrno je důležitý dostatečný obsah zinku ve vegetativních orgánech rostlin (Kutman *et al.* 2012). Poměr obsahu fosforu k obsahu zinku v zrně je základ pro správnou kvalitu potravin (Zhang *et al.* 2012), a proto je důležité sledovat poměr P/Zn v nadzemní biomase rostlin (Iatrou *et al.* 2017).

Tabulka 15 uvádí korelace mezi obsahem zinku, resp. poměrem P/Zn v nadzemní biomase jarní pšenice a kukuřice a v půdním výluhu Mehlich 3. Tyto vztahy byly zkoumány v nádobových pokusech s vyloučením aplikace zinečnatých hnojiv. Na nealkalických půdách byly zaznamenány silné a na alkalických půdách dokonce velmi silné korelace mezi poměrem P/Zn v nadzemní biomase obou plodin a poměrem P/Zn stanoveným v půdě pomocí výluhu Mehlich 3. Tyto vztahy byly silnější než korelace mezi obsahem zinku ve výluhu Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase obou plodin. Na základě této skutečnosti můžeme doporučit hodnocení obsahu přijatelného zinku v půdě poměrem P/Zn ve výluhu Mehlich 3 než jen prostým obsahem Zn.

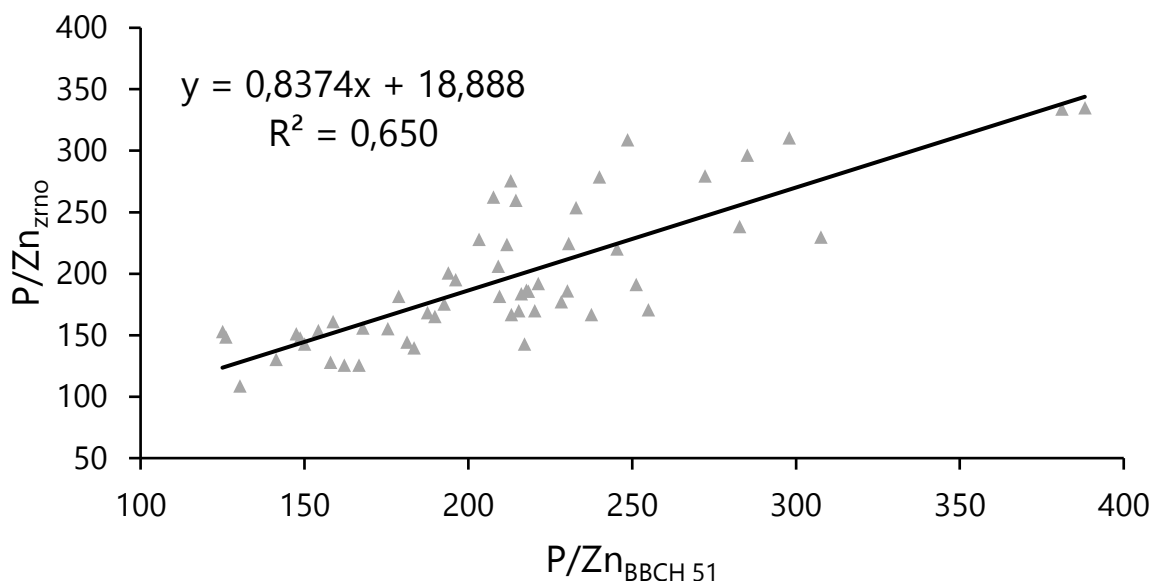
Tabulka 15. Regresní koeficienty (r) vztahů obsahu Zn a poměru P/Zn mezi půdním výluhem Mehlich 3 a rostlinnými pletivy jarní pšenice (BBCH 65 – 69) a kukuřice (BBCH 19) v nádobových pokusech.

	pH půdy > 7,0		pH půdy < 7,0	
	Zn _{M3}	P/Zn _{M3}	Zn _{M3}	P/Zn _{M3}
jarní pšenice	<i>n = 189</i>		<i>n = 75</i>	
Zn _{rostlina}	0,239**	-0,376***	0,181	-0,358*
P/Zn _{rostlina}	-0,010	0,826***	0,172	0,598***
kukuřice	<i>n = 75</i>		<i>n = 57</i>	
Zn _{rostlina}	0,577***	-0,455***	0,485***	-0,505***
P/Zn _{rostlina}	-0,390***	0,778***	-0,123	0,620***

Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ a *** $p \leq 0,001$.

Jak vyplývá z výsledků přesných polních pokusů uvedených v grafu 1, hmotnostní poměr P/Zn v zrně ozimé pšenice velmi silně koreloval s poměrem P/Zn v nadzemní biomase ozimé pšenice odebrané na začátku metání (BBCH 51), přičemž hodnoty horní hranice optimálního poměru P/Zn v zrně (56 – 127), uvedené v tabulce 16 různými autory, odpovídaly hmotnostnímu poměru P/Zn 44 – 129 v nadzemní biomase ve fázi BBCH 51 (graf 1).

Graf 1. Vztah mezi hmotnostním poměrem P/Zn v nadzemní biomase ozimé pšenice na začátku metání (BBCH 51) a hmotnostním poměrem P/Zn v zrnu v přesných polních pokusech

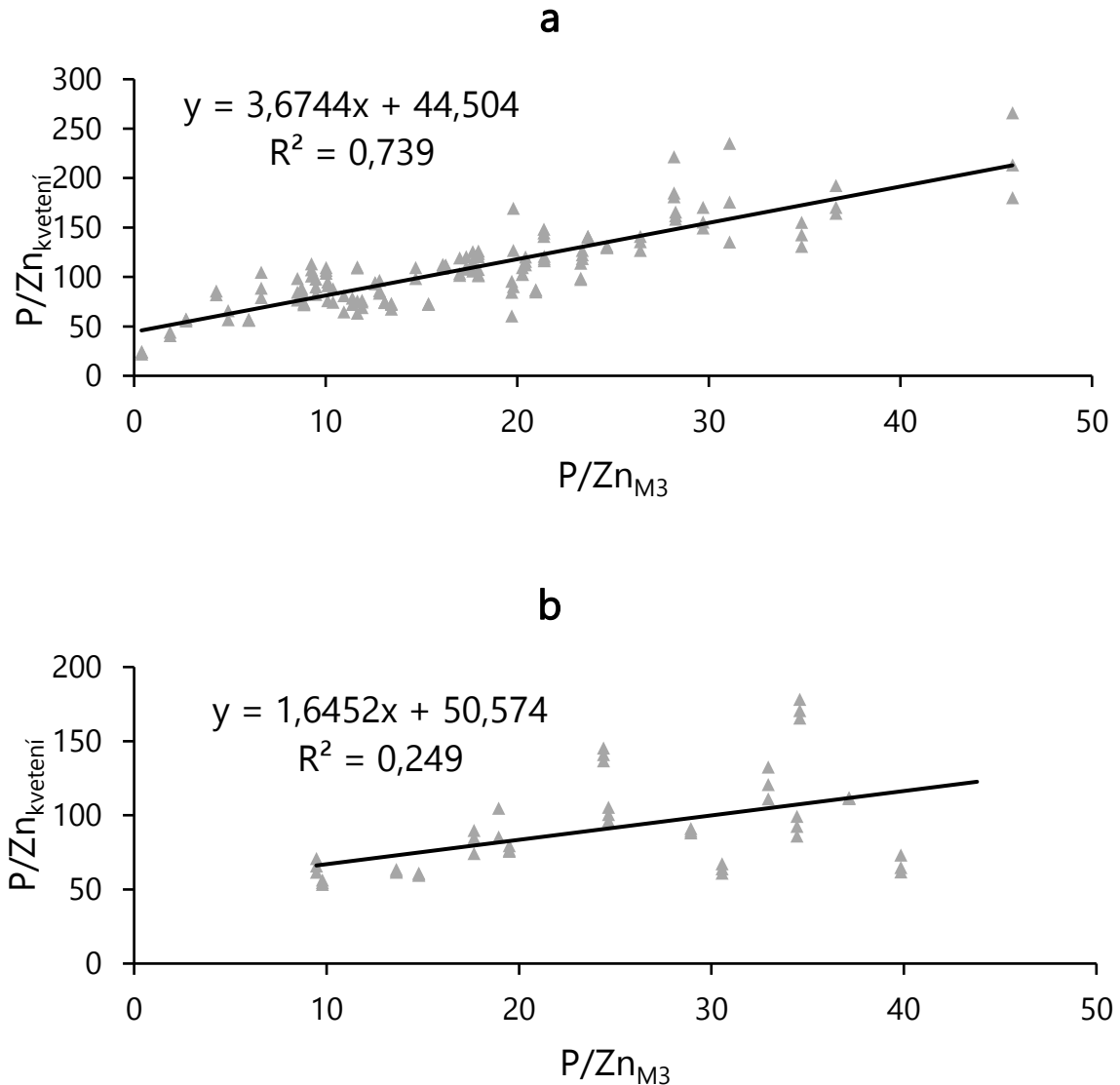


Tabulka 16. Optimální hmotnostní poměr P/Zn v zrnu pšenice dle různých autorů. Jako optimální byly vždy považovány porosty hnojené zinkem při současné aplikaci fosforu a nejvyšších zjištěných výnosech.

Optimální hmotnostní poměr P/Zn v zrnu	zdroj
82 - 127	Zhang <i>et al.</i> (2012)
73 - 119	Ova <i>et al.</i> (2015)
46 - 56	Sacristan <i>et al.</i> (2019)
65	Sánchez-Rodríguez <i>et al.</i> (2017)

Budeme-li tedy uvažovat horní hranici 129 u hmotnostního poměru P/Zn v nadzemní biomase jarní pšenice v nádobových pokusech pro fázi kvetení, pak by tento odpovídal poměru P/Zn ve výluhu Mehlich 3 hodnotě 23,0 na alkalických půdách (graf 2a) a 48,0 na nealkalických půdách (graf 2b).

Graf 2. Vztah mezi hmotnostním poměrem P/Zn v nadzemní biomase jarní pšenice během kvetení (BBCH 65 – 69) v nádobových pokusech a hmotnostním poměrem P/Zn ve výluhu Mehlich 3 v půdách s hodnotou pH > 7,0 (a) a s hodnotou pH < 7,0 (b)



Pokud byly podle těchto poměrů rozděleny půdy z polních provozů, dosahovaly porosty ozimé pšenice na půdách s vyšším poměrem P/Zn ve výluhu Mehlich 3 (> 23,0 na alkalických půdách resp. > 48,0 na nealkalických půdách) statisticky významně vyšších hodnot poměrů P/Zn v nadzemní biomase ve fázi kvetení než porosty pěstované na půdách s nižším poměrem P/Zn ve výluhu Mehlich 3 (tabulka 17).

Tabulka 17. Ozimá pšenice: průměrné hodnoty poměru P/Zn v nadzemní biomase rostlin ve fázi kvetení (BBCH 65 – 69) v polních provozech na půdách s poměrem P/Zn ve výluhu Mehlich 3 vyšším nebo nižším než námi zjištěný limit.

pH půdy > 7,0		pH půdy < 7,0	
P/Zn _{M3}	P/Zn _{kvetení}	P/Zn _{M3}	P/Zn _{kvetení}
A: < 23	127	A: < 48	119
B: > 23	169	B: > 48	168
statistická významnost rozdílů A-B	**	statistická významnost rozdílů A-B	*

Hladiny významnosti * $p \leq 0,05$ a ** $p \leq 0,01$.

5. ZÁVĚRY PRO PRAXI

Z důvodu vazby fosforu a zejména síry v organických látkách v půdě byly vztahy půda-rostliny sledovány výhradně na půdách s rozpětím obsahu organického uhlíku 0,5 – 2,2 % C_{ox} v případě sledování příjmu fosforu, a 0,5 – 1,7 % C_{ox} v případě sledování příjmu síry, a nelze tedy vyloučit, že na půdách s nižším či vyšším obsahem organického uhlíku budou námi popsané skutečnosti odlišné. Soubor dat pro kukuřici byl po vyřazení vzorků s nevyhovujícím obsahem dusíku v nadzemní biomase či obsahem organického uhlíku v půdě (C_{ox}) příliš malý, což je pravděpodobně příčina statisticky nevýznamných korelací většiny parametrů ve vzorcích kukuřice.

- S obsahem přijatelné síry a fosforu v půdě, výnosem hlavního produktu včetně jeho kvalitativních parametrů nejsilněji koreloval hmotnostní poměr obsahu dusíku k obsahu síry (N/S), resp. hmotnostní poměr obsahu dusíku k obsahu fosforu (N/P) v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky.
- Jako optimální doporučujeme hodnoty N/S v nadzemní biomase cca 12 u ozimé pšenice od začátku sloupkování do začátku metání a hodnoty N/S cca 9 během kvetení ozimé řepky.
- U ozimé pšenice lze doporučit, aby poměr N/P v nadzemní biomase ozimé pšenice dosahoval hodnot cca 12 na začátku sloupkování a cca 10 k počátku

metání. U ozimé řepky by se týkalo doporučení hodnot poměru N/P v nadzemní biomase cca 7 na začátku kvetení.

- Poměr N/S resp. N/P v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky koreloval nejsilněji s obsahem přijatelného fosforu a síry v půdě stanovenými ve výluhu Mehlich 3. Výjimkou byla ozimá řepka pěstovaná na nealkalických půdách, kde byla zjištěna nejsilnější korelace poměru N/S v nadzemní biomase s vodorozpustnou sírou v půdě.
- Obsah síry v půdním výluhu Mehlich 3 klasifikovaný jako „dobrý“, tj. 31 – 40 mg/kg (Smatanová *et* Sušil 2018), je vhodné dodržet v případě ozimé řepky, pro ozimou pšenici je dostačující nižší obsah, cca 20 mg/kg.
- Za obsah vodorozpustné síry v půdě, při němž není potřeba dohnojení sírou ani u náročných plodin, jsou považovány hodnoty 23 mg/kg a vyšší (Matula 2007), což bylo pro ozimou řepku potvrzeno i našimi výsledky. Ozimá pšenice však dosahovala optimálních hodnot poměru N/S v nadzemní biomase už při obsahu vodorozpustné síry v půdě 13 mg/kg.
- „Dobrý“ obsah přijatelného fosforu v půdě je definován jako 81 – 115 mg/kg v případě činidla Mehlich 3 a 36 – 45 mg/kg v případě činidla Olsen (Kunzová 2009). Hmotnostní poměr N/P stejně jako obsah fosforu v nadzemní biomase ozimé pšenice a ozimé řepky však na půdách s „dobrým“ obsahem přijatelného fosforu překonával optimální hodnoty indikátorů výživného stavu rostlin fosforem. Lze tedy tvrdit, že obsah přijatelného fosforu v půdě může být na spodním intervalu „dobrého“ obsahu, případně na horní hranici obsahu vyhovujícího, a přitom bude zabezpečena dostatečná výživa rostlin fosforem.
- Nebyly zaznamenány významné rozdíly mezi činidlem Mehlich 3 a Olsen ve vztahu ke sledovaným indikátorům výživného stavu rostlin fosforem.
- Jak u jarní pšenice, tak u kukuřice pěstovaných v nádobových pokusech byly zaznamenány silnější korelace mezi hmotnostním poměrem P/Zn v půdním výluhu Mehlich 3 a hmotnostním poměrem P/Zn v nadzemní biomase rostlin

než mezi obsahem zinku v půdním výluhu Mehlich 3 a obsahem zinku v nadzemní biomase rostlin.

- V nádobových i polních provozech s jarní, resp. ozimou pšenicí, bylo prokázáno, že hmotnostní poměr P/Zn v půdě ve výluhu Mehlich 3 vyšší než 23 v alkalických půdách, resp. vyšší než 48 v nealkalických půdách, vedl ke statisticky významnému snížení hmotnostního poměru P/Zn v nadzemní biomase ozimé pšenice ve fázi kvetení.
- Na základě našich výsledků nelze doporučit využití aniontovýměnných membrán ke stanovení obsahu přijatelné síry v půdě.

6. SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH METODICE

6.1 Vědecké publikace v časopisech s impakt faktorem

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Sedlář O., Vašák F. (2019): Changes of soil bioavailable phosphorus content in the long-term field fertilizing experiment. *Soil and Water Research*, 14: 240-245.

Sedlář O., Balík J., Kulhánek M., Černý J., Suran P. (2019): Sulphur nutrition index in relation to nitrogen uptake and quality of winter wheat grain. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79: 486-492.

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: 455-472

Sedlář O., Balík J., Kulhánek M., Černý J., Kos M. (2018): Mehlich 3 extractant used for evaluation of wheat available phosphorus and zinc in calcareous soils. *Plant, Soil and Environment*, 64: 53-57.

Sedlář O., Balík J., Černý J., Kulhánek M., Vašák F. (2017): Relation between nitrogen nutrition index and production of spring malting barley. *International Journal of Plant Production*, 11: 379-388.

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

6.2 Recenzované a odborné publikace

Černý J., Kulhánek M., Balík J., Sedlář O. (2019): Potřeba vápnění zemědělských půd v ČR (příčiny, důvody, možnosti). *Zemědělec*, 18: 18-19.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O. (2019): Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam. *Agromanuál*, 9-10: 46-49.

Sedlář O., Balík J., Černý J., Kulhánek M., Matěchová M. (2020): Diagnostické metody pro stanovení fosforu v půdě a jejich praktické využití. *Agromanuál*, 1: 46-47.

Sedlář O., Balík J., Černý J., Kulhánek M. (2019): Indexy výživy rostlin a jejich role v harmonické výživě. *Úroda*, 11: 20-22.

Černý J., Sedlář O., Kulhánek M., Javor T., Balík J. (2018): Nevyzpytatelné hnojení sírou u jarního ječmene. *Agromanuál*, 3: 81-84.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., Javor T. (2018): Kolik síry vyžaduje řepka na jaře, kdy, v jaké formě a proč? *Květy olejnin*, 2: 6-8.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O. (2018): Hnojení ozimé řepky před setím a na podzim. *Agromanuál*, 7: 70-73.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., Javor T. (2018): Hnojení ozimé řepky na jaře je důležité, ale také celkem složité. *Agromanuál*, 3: 86-90.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O. (2018): Hnojení jarního ječmene. *Agromanuál*, 2: 72-74.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O. (2018): Bude ještě nutné na podzim přihnojení řepky dusíkem (nebo jinými živinami)? *Květy olejnin*, 8: 3-4.

Kulhánek M., Balík J., Sedlář O., Zbíral J., Smatanová M., Suran P. (2018): Stanovení přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3. Certifikovaná metodika, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 32 s.

Čermák P., Mühlbachová, G., Káš M., Pechová M., Lošák T., Hlušek J., Kulhánek M., Sedlář O., Balík J. (2018): Metodický postup pro optimalizaci hnojení

fosforem na zemědělských půdách, včetně půd karbonátových. Schválená metodika pro praxi, Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 33 s.

6.3 Příspěvek na konferenci

Balík J., Vaněk V., Černý J., Kulhánek M., Sedlář O., Suran P. (2019): Význam organické hmoty v půdě (rozdělení, zdroje a úloha v půdě). Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 9-16.

Černý J., Balík J., Sedlář O., Kulhánek M. (2019): Význam organické hmoty v půdě (nejen) při pěstování ozimé řepky. 36. vyhodnocovací seminář - Systém výroby řepky, Systém výroby slunečnice, Hluk, SPZO Praha, 94-101.

Kulhánek M., Černý J., Sedlář O., Balík J. (2019): Sustainable phosphorus fertilizing in agriculture. Central and South Eastern Europe conference 2019. The role of science universities in redirecting land use from threat to guardian of ecosystem, Sarajevo, 4-4.

Kulhánek M., Sedlář O., Suran P., Černý J., Balík J. (2019): Arylsulfatase activity in plant rhizosphere. Rhizosphere – sborník z konference, University of Saskatchewan, Saskatoon, 156-156.

Sedlář O., Balík J., Matěchová M., Kulhánek M., Suran P. (2019): Porovnání různých extrakčních postupů pro stanovení přístupného fosforu v půdě a jejich využitelnost v podmínkách ČR. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 101-104.

Černý J., Kulhánek M., Balík J., Sedlář O. (2018): Zásady hnojení mikroelementy. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 33-70.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O. (2018): Význam vápníku a pH půdy pro pěstování (nejen) ozimé řepky. 35. vyhodnocovací seminář Systém výroby řepky, systém výroby slunečnice, SPZO Praha, Hluk, 102-110.

Černý J., Sedlář O., Kulhánek M., Balík J. (2018): Vliv pH půdy na obsah vápníku v rostlinách ozimé řepky. Prosperující olejniny, ČZS, KRV ČZU v Praze, Nové Strašecí, 44-46.

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Sedlář O. (2018): Úloha železa, manganu a zinku ve výživě rostlin. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 23-32.

Kulhánek M., Sedlář O., Suran P., Balík J., Černý J. (2018): Možnosti využití iontovýměnných membrán pro stanovení rostlinám přístupné síry v půdě. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 97-100.

Sedlář O., Balík J., Kulhánek M., Suran P., Matěchová M. (2018): Hodnocení výživného stavu fosforem u pšenice pěstované na karbonátových půdách. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 105-108.

Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., Javor T. (2017): Bilance P, K, Mg v rostlinné výrobě a korelace s obsahem živin v půdách. Racionální použití hnojiv – sborník z konference. Praha. 41-48.

Černý J., Javor T., Kulhánek M., Sedlář O., Balík J. (2017): Specifika hnojení sírou u ozimé řepky. 34. vyhodnocovací seminář Systém výroby řepky, systém výroby slunečnice, 22.11.2017, SPZO Praha. Hluk, 90-97.

Kulhánek M., Černý J., Balík J., Sedlář O., Suran P. (2017): Frakcionace půdního fosforu. Racionální použití hnojiv – sborník z konference. Praha. 57-64.

Kulhánek M., Černý J., Sedlář O., Balík J. (2017): Problematika fosforu v půdě a jeho stanovení metodou Mehlich 3. Živiny a rizikové prvky v půdě – sborník abstraktů. Praha. s. 28.

7. CITOVANÁ LITERATURA

Anonym: Mathematics Education Centre, Loughborough University, dostupné z: <http://www.statstutor.ac.uk>

Baier J., Baierová V. (1985): Abeceda výživy rostlin. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 364 s.

Balkcom K.S., Burmester C.H. (2015): Nitrogen applications for wheat production across tillage systems in Alabama. *Agronomy Journal*, 107: 425-434.

- Belanger G., Ziadi N., Pageau D., Grant C., Hognasbacka M., Virkajarvi P., Hu Z.Y., Lu J., Lafond J., Nyiraneza J. (2015a): A model of critical phosphorus concentration in the shoot biomass of wheat. *Agronomy Journal*, 107: 963-970.
- Belanger G., Ziadi N., Pageau D., Grant C., Lafond J., Nyiraneza J. (2015b): Shoot growth, phosphorus–nitrogen relationships, and yield of canola in response to mineral phosphorus fertilization. *Agronomy Journal*, 107:1458-1464.
- 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: (1-2) 95-107.
- Brennan R.F., Bolland M.D.A. (2007): Effect of fertiliser phosphorus and nitrogen on the concentrations of oil and protein in grain and the grain yield of canola (*Brassica napus* L.) grown in south-western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 984-991.
- Cadot S., Belanger G., Ziadi N., Morel C., Sinaj S. (2018): Critical plant and soil phosphorus for wheat, maize, and rapeseed after 44 years of P fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 112: 417-433.
- Calvo N.I.R., Echeverria H.E., Rozas H.S. (2008): Usefulness of foliar nitrogen-sulfur ratio in spring red wheat. *Journal Plant Nutrition*, 31: 1612-1623.
- Carciochi W.D., Wyngaard N., Calvo N.I.R., Pagani A., Divito G.A., Echeverria H.E., Ciampitti I.A. (2019): Critical sulfur dilution curve and sulfur nutrition index in maize. *Agronomy Journal*, 111: 448-156.
- Chamoro A.M., Tamagno L.N., Bezus R., Sarandon J. (2002): Nitrogen accumulation, partition, and nitrogen-use efficiency in canola under different nitrogen availabilities. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33: 493-504.
- Iatrou M., Papadopoulos A., Papadopoulos F., Dichala O., Psoma P., Bountla A. (2017): Determination of soil available phosphorus using the Olsen and Mehlich 3 methods for Greek soils having variable Amounts of Calcium Carbonate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 2207-2214.
- Justes E., Mary B., Meynard J.M., Machet J.M., Thelierhuche L. (1994): Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter-wheat crops. *Annals of Botany*, 74: 397-407.
- Kowalenko C.G. (2008): Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. *Canadian Journal of Soil Science*, 88: 733-747.
- Kristensen M.B., Hels O., Morberg C.M., Marving J., Bugel S., Tetens I. (2006): Total zinc absorption in young women, but not fractional zinc absorption, differs between vegetarian and meat-based diets with equal phytic acid content. *British Journal of Nutrition*, 95: 963-967.
- Kunzová E. (2009): Výživa rostlin a hnojení fosforem, Metodika pro praxi. VÚRV Praha, 24 s.
- Kuono K., Tuchiya Y., Ando T. (1995): Measurement of soil microbial biomass phosphorus by an anion exchange membrane method. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 1353-1357.

- Kutman U.B., Kutman B.Y., Ceylan Y., Ova E.A., Cakmak I. (2012): Contributions of root uptake and remobilization to grain zinc accumulation in wheat depending on post-anthesis zinc availability and nitrogen nutrition. *Plant and Soil*, 361: 177-187.
- Le Cadre E., Kinkondi M., Koutika L.S., Epron D., Mareschal L. (2018): Anionic exchange membranes, a promising tool to measure distribution of soil nutrients in tropical multispecific plantations. *Ecological Indicators*, 94: 254-256.
- Lopez-Bellido R.J., Shepherd C.E., Barraclough P.B. (2004): Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*, 20: 313–320.
- Mader P., Čurdová E. (1997). Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. *Chemické Listy*, 91: 227-236.
- Matula J. (2007): Výživa a hnojení sírou, Metodika pro praxi. VÚRV Praha, 40 s.
- Mehlich A. (1984): Mehlich-3 soil test extractant – A modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409-1416.
- Nikolic M., Nikolic N., Kostic L., Pavlovic J., Bosnic P., Stevic N., Savic J., Hristov N. (2016): The assessment of soil availability and wheat grain status of zinc and iron in Serbia: Implications for human nutrition. *Science of the Total Environment*, 553: 141-148.
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., Dean L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, USDA Cir.939. U.S. Washington.
- Ova E.A., Kutman U.B., Ozturk L., Cakmak I. (2015): High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and Soil*, 393: 147-162.
- 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.
- Sacristan D., Gonzalez-Guzman A., Barron V., Torrent J., Del Campillo M.C. (2019): Phosphorus-induced zinc deficiency in wheat pot-grown on noncalcareous and calcareous soils of different properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65: 208-223.
- Sanchez-Rodriguez A.R., del Campillo M.C., Torrent J. (2017): Phosphorus reduces the zinc concentration in cereals pot-grown on calcareous Vertisols from southern Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97: 3427-3432.
- Sáňka M., Materna J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 84 s.
- Sedlář O., Balík J., Kulhánek M., Černý J., Suran P. (2019): Sulphur nutrition index in relation to nitrogen uptake and quality of winter wheat grain. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79: 486-492.
- Scherer H.W. (2001): Sulphur in crop production – invited paper. *European Journal of Agronomy*, 14: 81-111.
- Siaudinis G. (2010): The effect of nitrogen and sulphur fertilisation on the elemental composition and seed quality of spring oilseed rape. *Zemdirbyste – Agriculture*, 97: 47-56.

Sims J.R., Haby V.A. (1971): Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Science* 112: 137-141.

Smatanová M., Sušil A. (2018): Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2012 – 2017, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 38 s.

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.

Tea I., Genter T., Naulet N., Marie L.M., Kleiber D. (2007): Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 2853-2859.

Tiessen H., Moir J.O. (1993): Characterization of available phosphorus by sequential extraction. In: *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers: 75-86.

Yan W., Zhong Y., Shanguan Z. (2015): The relationships and sensibility of wheat C:N:P stoichiometry and water use efficiency under nitrogen fertilization. *Plant, Soil and Environment*, 61: 201-207.

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

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

Zehetner F., Wuenscher R., Peticzka R., Unterfrauner H. (2018): Correlation of extractable soil phosphorus (P) with plant P uptake: 14 extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. *Plant, Soil and Environment*, 64: 192-201.

Zhang Y.Q., Deng Y., Chen R.Y., Cui Z.L., Chen X.P., Yost R., Zhang F.S., Zou C.Q. (2012): The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant and Soil*, 361: 143-152.

Název: Inovace diagnostiky výživného stavu plodin fosforem a sírou. Certifikovaná metodika
Autorský kolektiv: Ondřej Sedlář, Jiří Balík, Martin Kulhánek, Pavel Suran, Martina
Matěchová

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Tisk: PowerPrint s.r.o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha – Suchdol,

www.powerprint.cz

Náklad: 100 výtisků

Počet stran: 38

Vydání: první

Rok vydání: 2020

ISBN 978-80-213-3033-7

Certifikovaná metodika byla vytvořena se státní podporou
Technologické agentury ČR v rámci Programu ZÉTA
č. TJ01000454

© Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin
Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchdol

