



Metodický postup pro stanovení obsahu mikroelementů metodou Mehlich 3 a návrh hodnocení kritérií jejich obsahu v zemědělských půdách.

Čermák P., Mühlbachová G., Káš M., Vavera R., Pechová M.

Certifikovaná metodika pro praxi



2017

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Praha 6 - Ruzyně

ISBN 978-80-7427-266-0

Metodika je výsledkem dosavadního řešení projektu KUS-NAZV: **QJ1530171** „Rozšíření využitelnosti a aktualizace kategorií pro stanovení obsahu přístupných makro a mikroživin v půdě v rámci zajištění trvale udržitelné úrodnosti a produkčních schopností zemědělských půd“.

Metodický postup pro stanovení obsahu mikroelementů metodou Mehlich 3 a návrh hodnocení kritérií jejich obsahu v zemědělských půdách.

Čermák P. (40%), Mühlbachová G. (40%), Káš M. (5%), Vavera R. (5%), Pechová M. (10%)

Certifikovaná metodika pro praxi

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Praha 6 - Ruzyně

ISBN 978-80-7427-266-0

2017

V předložené metodice jsou navržena kritéria pro stanovení obsahu mikroživin v půdách a jejich hodnocení pomocí extrakčního postupu Mehlich 3. Extrakční postup Mehlich 3 je oficiální analytickou metodou používanou v současné době v rámci systému agrochemického zkoušení zemědělských půd pro stanovení obsahu přístupného P, K, Mg a Ca. Pro tyto prvky jsou stanovena kritéria jejich hodnocení obsahu v půdách (viz. vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů). Dosavadní kritéria hodnocení pro stávající živiny jsou touto metodikou rozšířena o celkem pět dalších prvků (Cu, Fe, Mn, Zn a B), označovaných v problematice výživy rostlin jako mikroživiny. Stanovení kritérií pro více prvků umožňuje jednoduchý a nenáročný analytický postup Mehlich 3 použitelný pro celou řadu různých prvků a je již dnes využíván v celé řadě laboratoří. Současně má velká část pracovišť k dispozici multielementární analytickou koncovku ICP-OES. Navržená kritéria budou současně sloužit široké zemědělské veřejnosti k hodnocení zásobenosti půd mikroživinami.

The methodology proposes criteria for determination of the content of micro-nutrients in soils and their evaluation via using of the extraction method Mehlich 3. Extraction procedure Mehlich 3 is the official analytical method currently used in testing system of agricultural soils for the determination of the content of available P, K, Mg and Ca. There are criteria for valuation of content of these available nutrients - see Decree No. 275/1998 Coll., on Agrochemical Testing of Agricultural Soil and Land Surveys of Forest Lands, as amended). The existing criteria for above mentioned nutrients are due to this methodology extended by next five elements (Cu, Fe, Mn, Zn and B), marked in field of plant nutrition as micro-nutrients. The simple and easy Mehlich 3 analytical procedure applicable to a variety of different elements, is already used in a wide range of laboratories, allows to extend the criteria for the others elements. In addition, many laboratories can use the multi-elementar analytical instruments ICP-OES. Suggested criteria will also serve for farmers for valuation of soil supply by micro-elements.

Oponenti:

ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha 1 – Těšnov
doc. ing. Radim Vácha, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha 5 - Zbraslav

Metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství České republiky
pod č. 76359/2017-MZE-17221

Obsah

I.		Cíl metodiky	6
II.		Vlastní popis metodiky	6
	1.	Současný stav problematiky	6
	2.	Stanovení mikroelementů extraktantem Mehlich 3	10
	3.	Vegetační a polní pokus VÚRV, v.v.i.	10
	4.	Porovnání obsahu mikroprvků stanovených metodou Mehlich 3, DTPA-TEA a horkou vodou	15
	5.	Návrh kritérií pro stanovení obsahu mikroelementů půdním testem Mehlich 3	17
III.		Srovnání „novosti postupů“	17
IV.		Popis uplatnění Certifikované metodiky	18
V.		Ekonomické aspekty	18
VI.		Seznam použité související literatury	19
VII.		Seznam publikací, které předcházely metodice	20

I. Cíl metodiky

Hlavním cílem této metodiky je rozšířit využitelnost extrakční metody Mehlich 3 o stanovení dalších prvků, zejména mikroprvků - Cu, Zn, B, Mn, Fe, a navrhnout kritéria hodnocení jejich potenciálně přístupného obsahu v zemědělských půdách. Konečným cílem je zjednodušení procesu stanovení obsahu základních prvků a mikroprvků (potřebných pro výživu plodin) v půdách pomocí jednoho univerzálního extrakčního činidla - Mehlich 3 s analytickou koncovkou ICP-OES (indukční vázané plazma – optická emisní spektrometrie) a vypracovat návrh hodnocení obsahu těchto prvků v zemědělských půdách.

II. Vlastní popis metodiky

1. Současný stav problematiky

V rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd jsou v současné době vypracována a v platné legislativě uvedena kritéria pro hodnocení obsahu fosforu, draslíku a hořčíku stanovených extrakční metodou Mehlich 3. Extrakční metoda Mehlich 3 byla vyvinuta v USA (Mehlich, 1984) a je používán v řadě zemí celého světa jako oficiální půdní test. Extrakce půd metodou Mehlich 3 je pro svou jednoduchost vhodná pro rutinní používání v zemědělských laboratořích. Metoda Mehlich 3 má navíc potenciál být využita nejen pro obsah základních živin, ale je vhodná pro multielementární stanovení celé řady dalších prvků nacházejících se v půdách (např. Mehlich 1984, Jones 1990, Ostatek-Boczynski, Lee-Steere 2012, Zbíral, 2016). Vhodnost použití této extrakční metody je pro široké spektrum půd z pohledu hodnoty půdní reakce, vyjma půd karbonátových, kde je nutné aplikovat určité korekce (zejména na stanovení reálného obsahu přístupného fosforu).

Problém hnojení zemědělských plodin mikroživinami nabývá na aktuálnosti, protože do osevních systémů jsou stále častěji zařazovány plodiny s vysokou náročností na živiny, včetně mikroprvků. Mikroživiny jsou potřebné pro zajištění celé řady fyziologických procesů rostlin, zajištění jejich odpovídajícího růstu a vývoje a dosažení uspokojivých výnosů. Mikroživiny v půdách mohou být zjišťovány celou řadou různých metod (např. horká deionizovaná voda, 0,01 M CaCl_2 , 1M NH_4NO_3 , 0,05 EDTA, 0,005 M DTPA-TEA, 0,5M NH_4 -Acetát a další). V rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd není používána jednotná extrakční metoda, s jejíž by byl stanoven a vyhodnocen obsah jak základních živin, tak i mikroživin v půdách. Pro stanovení obsahu mikroživin v rámci agrochemického zkoušení zemědělských půd je používána metoda DTPA-TEA (Lindsay-Norvell, 1972) - stanovení obsahu Cu, Mn, Fe, Zn, a pro extrakci bóru je používána horká deionizovaná voda (Berger a Truog, 1939). Tyto postupy jsou jasně definovány, avšak vzhledem k nutnosti používat u každého jednoho půdního vzorku všechny potřebné extrakční metody, jsou náročné na čas, zpracování a současně i na zajištění nutné pracovní síly. Všechny tyto okolnosti současně značně prodražují potřebné analýzy. Jejich sjednocení do jednoho extrakčního, relativně jednoduchého, postupu pak značně zkrátí čas potřebný pro analýzu vzorků a současně ušetří náklady na chemikálie, spotřebu energií a pracovní sílu.

V platné legislativě (vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů, v příloze č. 3 uvádí principy chemických rozborů zemědělských půd včetně stanovení obsahu stopových živin (tj. mikroživin, či mikroprvků), avšak bez uvedení jakýchkoliv kritérií pro hodnocení

jejich obsahu v půdě. U některých z těchto prvků (např. Zn, nebo Cu) jsou v příloze č. 2 vyhlášky č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, uvedeny jejich indikační hodnoty, při jejichž překročení může být podezření z ohrožení růstu rostlin a produkční funkce půdy (viz. tabulka 1). To platí i pro maximální limitní obsahy rizikových prvků, mezi nimi mikroprvků, pokud jsou na půdy aplikovány kaly nebo sedimenty (vyhláška č. 382/2001 Sb., a 257/2009 Sb., viz. tabulka č. 2). Pro bór a mangan pak neexistují žádná zřejmá kritéria.

Tabulka 1: Obsah vybraných rizikových prvků v zemědělských půdách podle vyhlášky č. 13/ 1994 Sb. (mg/kg půdy¹)

Rizikový prvek	pH/CaCl ₂	Indikační hodnota	
		extrakce lučavkou královskou	extrakce NH ₄ NO ₃
Zinek (Zn)	-	400	-
	-	-	20
Nikl (Ni)	≤ 6,5	150	-
	> 6,5	200	-
	-	-	1,0
Měď (Cu)	< 5,0	150	-
	5,0 – 6,5	200	-
	> 6,5	300	-
	-	-	1,0

Poznámka: šedě podbarvené prvky hrají (do určité hranice svého obsahu v půdě) roli mikroprvků potřebných pro výživu rostlin

Tabulka 2: Limitní hodnoty celkových obsahů vybraných prvků v půdě (mg/kg sušiny) podle vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a vyhlášky č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě.

Rizikový prvek	Běžné půdy	Písky, hlinité písky, štěrkopísky
Arsen (As)	20	15
Kadmium (Cd)	0,5	0,4
Chrom (Cr)	90	55
Měď (Cu)	60	45
Rtuť (Hg)	0,3	0,3
Nikl (Ni)	50	45
Olovo (Pb)	60	55
Zinek (Zn)	120	105

Poznámka: šedě podbarvené prvky hrají (do určité hranice svého obsahu v půdě) roli mikroprvků potřebných pro výživu rostlin

Předmětné vyhlášky uvádějí maximální limitní obsahy rizikových prvků, mezi které od určité koncentrace patří také mikroprvky (čili mikroživiny), jako je měď a zinek. Tyto limity jsou

stanoveny tak, aby jejich případné překročení již označilo půdu kontaminovanou, a tím potenciálně rizikovou pro životní prostředí a označilo zvláště riziko možného nežádoucího vstupu těchto prvků do potravinového řetězce. Neuvádějí ale nic o reálných požadavcích rostlin na příjem mikroprvků (mikroživin), ani o jejich potřebném obsahu v půdě. Z tohoto pohledu případně novelizovaná vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků rozšířená o kritéria pro stanovení obsahu mikroprvků (mikroživin) v půdě doplní a celkově rozšíří potřebné informace a znalosti.

Měď

Měď (Cu) představuje významnou mikroživinu potřebnou pro výživu rostlin. V půdě se vyskytuje v dvouvalentní formě. Největší podíl mědi se vyskytuje na krystalických mřížkách primárních a sekundárních minerálů, v organických vazbách, je přítomna jako výměnný kationt na půdních koloidech a v malém množství se vyskytuje i v půdním roztoku. Průměrné obsahy mědi se v půdách pohybují okolo 30 mg/kg, přičemž kolísají mezi 2 – 250 mg/kg. V běžných zemědělských půdách se uvádí zpravidla obsah mědi mezi 1 – 50 mg/kg půdy (Adriano et al., 1986). Měď je pevně vázána na organickou hmotu, oxidy železa, hliníku a manganu a na jílové minerály. Měď vyskytující se v půdním roztoku a její výměnné formy, specificky adsorbované a v organických vazbách jsou považovány za přijatelné pro okolní prostředí a pro rostliny. Měď vázaná na oxidy a její reziduální formy jsou pro rostliny relativně nedostupné (Adriano et al., 1986). Množství organicky komplexované mědi v půdním roztoku obecně stoupá při pH vyšším než 7, protože s vyšším pH stoupá i rozpustnost organické hmoty. Koncentrace volných iontových forem mědi naopak při vyšším pH významně klesá. Koncentrace mědi v půdním roztoku klesají díky vazbám na jílové a humusové složky v půdě nebo tvorbě nerozpustných komplexů s huminovými kyselinami. Slabé vazby mohou mít velkou důležitost při transformaci mědi z pevné půdní fáze do rozpustných forem. Při vysokém pH (například ve vápenatých půdách) se měď může vyskytovat v rozpustných komplexech.

Měď je rostlinami přijímána ve velmi malém množství, v mnoha rostlinách je obsah mědi na úrovni mezi 2-20 ppm v suché hmotě. Měď se v pletivech nadzemních částí rostlin výrazněji nehromadí, a to ani, když je v půdě vyšší obsah mědi. Většina mědi tak zůstává v kořenech. Příjem mědi je metabolicky řízený proces a vyskytují se zde antagonistické vztahy se zinkem, kdy měď inhibuje příjem zinku a naopak (Vaněk a kol, 2012).

Železo

Železo (Fe) představuje přibližně 5% zemské kůry a vyskytuje se ve všech půdách. Největší část železa se vyskytuje na krystalických mřížkách různých minerálů, které představují hlavní zdroj železa. Železo se vyskytuje také ve formě oxidů jako hematity (Fe_2O_3), ilmenity (FeTiO_3) a magnetity (FeO_3). V sedimentárních horninách se nejčastěji vyskytuje jako FeCO_3 . Železo se v půdě také vyskytuje na sekundárních minerálních mřížkách. Při zvětrávání se železo vyskytuje jako železno-hořečnatý primární minerál tvořící součást jílovitých minerálů illitů.

Obsah rozpustného Fe v půdě je extrémně malý v porovnání s jeho celkovým obsahem. Rozpustné anorganické formy zahrnují Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, FeOH^{2+} Fe^{2+} . Fe^{2+} se ale běžně v půdách nevyskytuje ve větším množství. Rozpustnost Fe je dána především hydroxidy Fe(III), kdy se pak vyskytují jako $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Mengel a Kirkby, 2001).

Železo je rostlinami přijímáno ve formě Fe^{2+} , Fe^{3+} a v chelátové formě. Příjem Fe rostlinami je ovlivňován hodnotou pH půdy, kdy v rozmezí pH 5,5-6,5 je rozpustnost, a tím i příjem Fe přiměřený. Obsah Fe v rostlinách se liší podle rostlinného druhu, ale běžně se pohybuje okolo

100 mg/kg suché hmoty. Rozhodující pro zajištění dostatečného příjmu Fe rostlinami je vyhovující pH a omezení vyloženě alkalické reakce (Vaněk et al., 2012).

Mangan

Celkový obsah manganu (Mn) v půdě se pohybuje v širokém rozmezí od desítek mg/kg po desetiny procent. Nízký obsah Mn v půdě je typický pro lehké, kyselé a propustné půdy. V půdě se může vyskytovat v různých oxidačních stupních jako Mn^{2+} , Mn^{3+} a Mn^{4+} . Pro rostliny je přístupný jako Mn^{2+} . Hlavní část manganu přijatelného pro rostliny je mangan vodorozpustný a výměnný. V půdě probíhají změny sloučenin manganu podle oxidačně-redukčních podmínek, kdy oxidační podmínky vedou k tvorbě vícevalentních sloučenin Mn, což, podobně jako zvýšení pH, snižuje jejich rozpustnost. Při kyselějších podmínkách a při redukčních podmínkách je přijatelnost Mn pro rostliny vyšší. Obsah Mn v rostlinách se může pohybovat ve značném rozpětí, u trav bylo zaznamenáno 8-1119 ppm v suché hmotě. Rostliny mají různé potřeby, pokud jde o příjem manganu. U ječmene ve fázi sloupkování byl zjištěn obsah 5-20 mg Mn/kg, u nati brambor (v květu) pak 50-300 mg Mn/kg (Vaněk et al., 2012).

Zinek

Zinek je nezbytný stopový prvek pro člověka, zvířata i rostliny. Nejběžnější a nejpohyblivější formou zinku je Zn^{2+} , který je také přijímán rostlinami. Celkový obsah Zn v půdě je převážně závislý na složení matečných hornin. Obecně se v půdách udává rozsah mezi 10 - 300 mg Zn/kg s průměrem asi 50 mg Zn/kg (Kiekens, 1991). Pouze ty podíly zinku, které jsou v půdě rozpustné nebo mohou být do půdního roztoku uvolněny, jsou biologicky přístupné. Zinek se v půdě vyskytuje v následujících formách: vodorozpustný, který se nachází v půdním roztoku; ve výměnné formě, kdy jsou jeho ionty vázány na půdní částice. Jsou adsorbovány a komplexovány v organických vazbách; vázány na jílové minerály a nerozpustné kovové oxidy; vázány v primárních minerálech (Kiekens, 1990). Uvolnitelný Zn se v půdě sorbuje hlavně na jílové částice, na oxidy Al, Mn, Fe a na organickou hmotu. Částečně může být vysrážen i na místech styku s uhličitany nebo v silně redukčním prostředí. Přístupnost zinku se snižuje se vzrůstajícím pH v půdách. Přístupnost Zn je ovlivněna také obsahem organické hmoty, obsahem organických komplexů a chelátových vazeb. Mobilitu zinku mohou snižovat například i vysoké obsahy fosforu (Kiekens, 1991). Jednotlivé druhy rostlin mají rozdílné nároky na zinek a jeho obsah v rostlinách se pohybuje v rozmezí 20-100 mg Zn/kg. Za kritickou hranici se zpravidla považuje 20 mg Zn/kg, pod kterou je již příjem Zn nedostatečný. Příjem zinku je výrazně ovlivněn vyššími hladinami fosforu, ale i Fe a Cu (Vaněk et al., 2012).

Bór

Bór (B) je jedním z mikroprvků nezbytných pro správný růst rostlin, kdy limitující může být jak jeho nedostatek, tak nadbytek (Davies et al. 2011). Nejběžnější obsah B v půdách se pohybuje mezi 30-40 mg/kg. Bór se v půdě nachází nejčastěji ve formě hydratovaných nebo bezvodých oxidů (společně s Fe, Mg, Na, Ca), může se vyskytovat i ve formě borokřemičitanů (Černý et al. 2016). Současně může být adsorbován na jílovité minerály. Běžný obsah bóru v rostlinách se pohybuje mezi 20 – 100 mg/kg (Vaněk et al., 2012). Bór je přijímán kořeny rostlin především jako nedisociovaná kyselina boritá a je velmi dobře rozpustný ve vodě (Hu a Brown 1997), kde současně probíhají sorpční i desorpční procesy, které jsou podstatné pro dostupnost bóru pro rostliny (Majidi et a. 2010). Rozpětí koncentrací bóru mezi jeho nedostatkem a nadbytkem pro rostliny je velmi úzký (Matula 2009), proto je třeba obsah bóru v půdě sledovat a přizpůsobit hnojení adekvátně potřebám rostlin. Jsou

popisovány různé vztahy mezi bórem a jinými prvky, například antagonistické jsou vztahy se zinkem (Černý et al., 2016). Podobně jsou popsány případy, kdy se při nadbytku bóru snížil obsah fosforu v listech rostlin (Kaya et al. 2009) nebo naopak Yamanouchi (1980) zjistil, že vyšší obsah fosforu v půdě vedl k nižšímu příjmu bóru. Příjem bóru rostlinami závisí do značné míry na pH půdy, dobře přijatelný je do hodnoty pH 6,3, při zvýšení pH se více adsorbuje na půdní částičky a pravděpodobně i tvoří vápenatokemičitanové málo rozpustné sraženiny (Vaněk et al., 2012).

2. Stanovení mikroelementů extrakčním činidlem Mehlich 3

Extrakční postup podle metody Mehlich 3 je popsán v Jednotných pracovních postupech vydaných ÚKZÚZ (Zbiral J. et al., 2016).

Složení činidla Mehlich 3: 0.2 mol/L CH₃COOH, 0.015 mol/L NH₄F, 0.013 mol/L HNO₃, 0.25 mol/L NH₄NO₃, 0.001 mol/L EDTA.

Příprava extrakčního činidla: V asi 6000 ml demineralizované vody se rozpustí 200,0 g dusičnanu amonného, přidá se 40,0 ml roztoku fluoridu amonného – EDTA (2). Dále se přidá 115 ml koncentrované kyseliny octové (CH₃COOH, $\rho = 1,0498 \text{ g/cm}^3$) a 8,25 ml koncentrované kyseliny dusičné (HNO₃, $\rho = 1,420 \text{ g/cm}^3$). Upraví se na výsledný objem 10 000 ml. pH připraveného extrakčního roztoku je $2,5 \pm 0,1$.

Pracovní postup: Do uzavíratelné PE nádoby o objemu 200 – 400 ml se naváží 10,0 g upraveného půdního vzorku (jemnozlem < 2mm). Dávkovacím zařízením nebo odměrným válcem se přidá $100 \pm 0,5$ ml extrakčního činidla podle Mehlicha a po uzavření se extrahuje na rotační třepačce 10 min. Po extrakci se suspenze ihned filtruje přes hustý filtrační papír. Těsně před filtrací se obsah promíchá.

Analytická koncovka: Jako koncovka je doporučeno ICP-OES.

Poznámky:

- *Extrakt není stálý, všechna měření je třeba provést v den přípravy.*
- *Každá dávka filtračních papírů a extrakční činidlo připravené z jiné šarže chemikálií se musí ověřit pomocí alespoň tří slepých pokusů.*
- *Pokud se používají jiné filtrační papíry než kvantitativní, je třeba je předem dekontaminovat postupem uvedeným v dodatku 7.3 Jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ.*
- *Je-li vzorek dostatečně homogenní, je možné použít navážku 100 g a 50 ml extrakčního roztoku.*
- *Při použití dvojsodné soli EDTA není možné použít extrakty pro stanovení sodíku.*
- *Při extrakci je třeba dodržet předepsanou laboratorní teplotu a extrakční roztok musí být před dávkováním také na tuto teplotu vytemperován.*

3. Vegetační a polní pokus VÚRV, v.v.i.

Smyslem vegetačních a polních pokusů bylo vyhodnotit obsah mikroprvků (mikroživin) půdě stanovených extrakčním činidlem Mehlich 3 a současně stanovit obsah těchto prvků v rostlinách. Zároveň se posuzovalo, zda jejich obsahy v rostlinách odpovídají výměnným obsahům mikroprvků v půdě. Celkem bylo hodnoceno 252 výsledků jednotlivých půd u vegetačního pokusu a 84 výsledků půd z polního pokusu. Na základě těchto informací se upřesňovala navrhovaná kritéria pro obsah mikroprvků (mikroživin) v půdách podle metody Mehlich 3.

V letech 2015 a 2016 byly ve VÚRV, v.v.i. prováděny vegetační testy (tj. nádobové a polní pokusy) pro možnost analytického stanovení sledovaných prvků (makro a mikroprvků) v testovaných půdách a rostlinách.

V tabulkách 4 a 6 jsou uvedeny výsledky analýz obsahu sledovaných prvků v různých druzích půd (černozem, hnědozem, kambizem) stanovených metodou Mehlich 3 a současně jejich výměnné podíly (stanovené metodou používající NH₄ acetát), které jsou pro rostliny snadno dostupné. Podle výsledků bylo zjištěno, že průměrné procento výměnného podílu mědi v půdě činilo 5,2%. U železa výměnný podíl představoval cca 0,6%, u Mn 9,9%, u Zn 4,2% a u bóru 28,5%, což představovalo zásobu mikroživin v půdě ve formě výměnného podílu snadno dostupného pro rostliny cca 3,8 kg/ha Cu, 6 kg/ha Fe, 49 kg/ha Mn, 0,7 kg/ha Zn a 1,6 kg/ha B (podrobnosti viz. tabulky 4 a 6).

Výsledky obsahů mikroživin v rostlinách byly obecně hodnoceny podle předpokladu, že stanovený obsah výměnného podílu daného prvku v půdě (a tomu odpovídající množství dané živiny vztahované k ploše půdy) by měl výrazněji převyšovat nad potřebou odběru tohoto daného prvku rostlinou. Za této skutečnosti je rostlina schopna tento daný prvek přijmout a není limitována jeho nedostatkem. Podle těchto zásad byla navržena kritéria hodnocení obsahu sledovaných mikroprvků (mikroživin) v půdě.

Průměrný obsah mikroživin v testovaných rostlinách poměrně dobře odpovídal jejich obsahu udávaném literaturou. Výjimku představoval pouze bór, jehož obsah v rostlinách se ve sledovaném pokusu pohyboval mezi 3,5 – 15,5 mg/kg (tabulky 5 a 7).

Stručně lze konstatovat, že podle dosažených výsledků obsah mědi zjištěný metodou Mehlich 3 byl dostatečný (pouze je ještě nutné ověřit dostupný obsah mědi na půdách s vyšším obsahem organické hmoty a kritérium pro vysoký obsah mědi navýšit cca na hranici 4,5 mg Cu/kg půdy).

V případě železa lze na základě dosažených výsledků předpokládat, že obsah Fe v půdě podle metody Mehlich 3 okolo 300 mg/kg dobře odpovídá střední zásobě železa v půdě, v případě pěstování plodin náročných na výživu mikroelementy je vhodné uvažovat o minimálně 420 mg Fe/kg půdy.

U manganu lze konstatovat, že jeho zásoba v půdách byla vzhledem k potřebám testovaných rostlin velmi dobrá. Na základě zjištěných výsledků je vhodné pro stanovení kritérií pro obsah Mn metodou Mehlich 3 v půdách stanovit střední hodnotu okolo 140 – 150 mg/kg půdy.

Zásoba zinku v půdách byla přiměřená pro výživu rostlin. Kritérium pro dobrý obsah Zn podle metody Mehlich 3 lze stanovit na cca 5 mg Zn/kg půdy.

Obsah bóru stanovený metodou Mehlich 3 byl v námi sledovaných půdách cca 1,1-1,5 mg/kg půdy. Podle množství bóru odebraného rostlinami lze tuto zásobu hodnotit jako vysokou.

Tabulka 4: Průměrný obsah mikroprvků v půdách vegetačních pokusů VÚRV, v.v.i.

Rok	Parametr	jednotka	2015					2016				
			Cu	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Černozem	Průměr Mehlich 3	(mg/kg)	4,7	257,3	146,3	3,4	0,7	1,8	401,8	80,0	7,2	0,5
	Minimum		4,5	247,4	137,1	3,1	0,4	1,7	378,0	75,8	3,1	0,5
	Maximum		5,0	268,4	157,3	4,2	1,2	1,9	433,1	83,2	14,5	0,5
	Průměr NH ₄ acetát	(mg/kg)	0,2	0,4	21,3	0,1	0,1	0,2	3,9	8,7	0,1	0,3
	Minimum		0,2	0,3	17,2	0,0	0,0	0,2	1,8	7,3	0,1	0,3
	Maximum		0,2	0,7	27,0	0,1	0,2	0,3	42,5	10,3	0,2	0,4
	NH ₄ acetát/Mehlich 3	%	4,1	0,2	14,5	1,7	11,7	13,6	1,0	10,9	2,0	62,9
	Průměr Mehlich 3	(kg/ha)	17,1	926,1	526,6	12,4	2,7	7,0	1566,9	312,2	28,0	1,9
	Průměr NH ₄ acetát	(kg/ha)	0,7	1,5	76,5	0,2	0,3	1,0	15,3	34,1	0,6	1,2
Kambizem	Průměr Mehlich 3	(mg/kg)	2,0	404,1	62,2	1,6	2,1	5,0	238,4	178,9	6,0	1,5
	Minimum		1,9	384,8	59,2	1,2	2,0	1,7	228,4	75,8	3,1	0,5
	Maximum		2,2	427,0	66,3	2,9	2,2	5,3	433,1	185,3	14,5	1,5
	Průměr NH ₄ acetát	(mg/kg)	0,2	3,9	8,7	0,1	0,3	0,2	0,5	12,7	0,3	0,7
	Minimum		0,2	1,8	7,3	0,1	0,3	0,2	0,3	7,3	0,1	0,3
	Maximum		0,3	42,5	10,3	0,2	0,4	0,3	42,5	15,8	0,6	0,9
	NH ₄ acetát/Mehlich 3	%	12,2	1,0	14,0	9,3	14,4	4,2	0,2	7,1	5,1	48,7
	Průměr Mehlich 3	(kg/ha)	7,9	1576,1	242,4	6,2	8,1	19,6	929,6	697,6	23,5	5,7
	Průměr NH ₄ acetát	(kg/ha)	1,0	15,3	33,9	0,6	1,2	0,8	1,9	49,4	1,2	2,8
Hnědozem	Průměr Mehlich 3	(mg/kg)	5,9	201,0	179,9	5,2	2,7	4,9	177,1	174,2	6,4	1,7
	Minimum		5,6	189,6	173,6	4,8	2,7	4,7	162,9	169,6	4,8	1,6
	Maximum		6,0	216,3	184,8	6,1	2,8	5,0	189,3	181,6	8,9	1,8
	Průměr NH ₄ acetát	(mg/kg)	0,2	0,5	12,7	0,3	0,7	0,2	0,7	17,3	0,3	0,5
	Minimum		0,2	0,3	10,8	0,2	0,6	0,1	0,4	12,9	0,2	0,4
	Maximum		0,3	0,9	15,8	0,6	0,9	0,2	1,7	25,0	0,4	0,8
	NH ₄ acetát/Mehlich 3	%	3,6	0,2	7,0	5,9	26,2	3,2	0,4	9,9	4,3	29,4
	Průměr Mehlich 3	(kg/ha)	22,9	783,7	701,5	20,4	10,6	18,9	690,9	679,3	25,1	6,6
	Průměr NH ₄ acetát	(kg/ha)	0,8	1,9	49,4	1,2	2,8	0,6	2,8	67,5	1,1	1,9
Průměr půd celkem	Průměr Mehlich 3	(mg/kg)	4,1	279,9	136,9	5,0	1,5	4,9	177,1	174,2	6,4	1,7
	Minimum		1,7	162,9	59,2	1,2	0,4	4,7	162,9	169,6	4,8	1,6
	Maximum		6,0	433,1	185,3	14,5	2,8	5,0	189,3	181,6	8,9	1,8
	Průměr NH ₄ acetát	(mg/kg)	0,2	1,7	13,6	0,2	0,4	0,2	0,7	17,3	0,3	0,5
	Minimum		0,1	0,3	7,3	0,0	0,0	0,1	0,4	12,9	0,2	0,4
	Maximum		0,3	42,5	27,0	0,6	0,9	0,2	1,7	25,0	0,4	0,8
	NH ₄ acetát/Mehlich 3	%	5,2	0,6	9,9	4,2	28,5	3,2	0,4	9,9	4,3	29,4
	Průměr Mehlich 3	(kg/ha)	14,6	1007,8	492,8	17,9	5,5	18,9	690,9	679,3	25,1	6,6
	Průměr NH ₄ acetát	(kg/ha)	0,8	6,0	48,8	0,7	1,6	0,6	2,8	67,5	1,1	1,9

Tabulka 5: Obsah mikroprvků v rostlinách jarního ječmene ve vegetačním pokusu

		Cu	Fe	Mn	Zn	B
Obsah mikroprvků udávaný literaturou (v mg/kg)		2 - 20	do 100	2 - 20	20 - 100	20 - 100
Rostliny na černozemi 2015	Průměr	3,6	43,1	45,7	22,7	7,2
	Minimum	3,0	36,5	38,5	17,3	3,7
	Maximum	4,1	55,3	55,9	27,8	13,4
Rostliny na kambizemi 2015	Průměr	2,9	38,3	24,4	14,7	3,5
	Minimum	2,3	30,7	19,6	8,6	1,8
	Maximum	4,1	49,9	34,8	24,4	8,9
Rostliny na hnědozemi 2015	Průměr	4,5	40,3	19,4	13,2	4,8
	Minimum	3,7	28,2	16,1	9,1	2,5
	Maximum	5,5	68,7	25,4	17,7	7,1
Rostliny na černozemi 2016	Průměr	3,7	48,7	34,5	30,0	12,9
	Minimum	2,6	29,6	17,9	17,6	6,0
	Maximum	4,4	61,3	49,0	39,6	21,1
Rostliny na kambizemi 2016	Průměr	3,4	46,9	49,3	37,2	15,2
	Minimum	2,5	36,7	37,4	22,0	7,5
	Maximum	8,7	65,1	63,5	69,2	38,3
Rostliny na hnědozemi 2016	Průměr	4,1	44,1	26,8	20,7	12,8
	Minimum	2,5	30,7	15,5	16,3	5,7
	Maximum	8,7	65,1	63,5	69,2	38,3
Rostliny - průměr všech půd a let	Průměr	3,7	43,6	33,4	23,1	9,4
	Minimum	2,3	28,2	15,5	8,6	1,8
	Maximum	8,7	68,7	63,5	69,2	38,3

Tabulka 6: Průměrný obsah mikroprvků v půdě v polním pokusu v Humpolci

			Cu	Fe	Mn	Zn	B
Kambizem	Průměr Mehlich 3	(mg/kg)	3,8	308,3	139,6	3,7	1,1
Humpolec	Minimum	(mg/kg)	2,3	240,4	102,1	2,5	0,8
	Maximum	(mg/kg)	5,0	378,4	181,8	5,5	1,4
	Průměr NH ₄ acetát	(mg/kg)	0,2	1,3	6,8	0,2	0,3
	Minimum	(mg/kg)	0,1	0,5	3,8	0,1	0,1
	Maximum	(mg/kg)	0,3	12,6	15,2	0,3	0,5
	NH ₄ acetát/Mehlich 3	%	5,3	0,4	4,9	4,2	23,1
	Průměr Mehlich 3	(kg/ha)	13,5	1110,0	502,6	13,2	3,9
	Průměr NH ₄ acetát	(kg/ha)	0,7	4,8	24,6	0,6	0,9

Tabulka 7: Obsah mikroprvků v jarním ječmenu a ozimé řepce v polním pokusu v Humpolci

		Cu	Fe	Mn	Zn	B
Obsah mikroprvků udávaný literaturou (v mg/kg)		2 - 20	do 100	2 - 20	20 - 100	20 - 100
Ječmen zrno	Průměr	3,2	32,3	8,8	18,7	1,2
	Minimum	2,8	28,0	8,1	15,4	0,8
	Maximum	3,6	38,4	10,4	21,9	1,9
Ječmen sláma	Průměr	2,0	32,0	6,8	5,8	3,6
	Minimum	1,8	17,8	4,1	3,6	2,3
	Maximum	2,4	48,1	10,0	13,2	6,2
Ječmen celkem	Průměr	5,2	64,3	15,6	24,5	4,8
	Minimum	4,6	45,9	12,2	19,0	3,1
	Maximum	6,0	86,6	20,4	35,0	8,1
Řepka semeno	Průměr	3,2	65,9	21,2	31,1	11,0
	Minimum	2,9	32,3	8,8	21,9	0,8
	Maximum	3,6	96,6	25,6	35,6	12,9
Řepka sláma	Průměr	4,7	243	82,6	15,4	21,4
	Minimum	2,4	50	6,4	7,5	3,4
	Maximum	8,0	772,9	265,2	34,3	30,3
Řepka celkem	Průměr	7,9	308,5	103,8	46,5	32,4
	Minimum	5,3	82,7	15,1	29,4	4,3
	Maximum	11,7	869,5	290,8	69,9	43,3

Tabulka 8: Odběr mikroprvků jarním ječmenem a ozimou řepkou v polním pokusu v Humpolci

Odběr prvku v g/ha		Cu	Fe	Mn	Zn	B
Ječmen zrno	Průměr	27,1	276,5	75,5	160,2	10,3
	Minimum	23,1	234,3	68,0	128,4	6,6
	Maximum	31,9	337,5	90,9	191,9	16,7
Ječmen sláma	Průměr	10,6	167,2	35,4	30,4	19,0
	Minimum	10,4	103,6	23,6	21,0	13,6
	Maximum	12,9	260,8	54,2	71,3	33,5
Ječmen celkem	Průměr	37,7	443,7	110,9	190,6	29,3
	Minimum	33,5	337,8	91,6	149,4	20,2
	Maximum	44,8	598,2	145,1	263,2	50,2
Řepka semeno	Průměr	7,9	163,4	52,5	77,1	27,3
	Minimum	7,1	79,5	21,6	53,8	2,1
	Maximum	10,3	273,4	72,6	100,8	36,1
Řepka sláma	Průměr	14,5	1099,4	96,0	140,9	49,8
	Minimum	12,1	228,3	36,8	91,6	3,6
	Maximum	17,4	3501,2	123,0	170,7	62,0
Řepka celkem	Průměr	22,5	1262,8	148,5	218,0	77,0
	Minimum	19,2	307,9	58,4	145,3	5,6
	Maximum	27,7	3774,6	195,6	271,5	98,6

4. Porovnání obsahu mikroprvků stanovených metodou Mehlich 3, DTPA-TEA a horkou vodou

Již před rokem 1990 začalo ověřování obsahu mikroprvků v půdách metodami DTPA-TEA, kterými byly stanoveny obsahy Cu, Mn, Fe, a Zn, a horkou vodou, kterou byl stanovován obsah bóru. Výsledkem těchto analýz byl první návrh kritérií pro hodnocení obsahu mikroprvků v půdách - tabulka 9 (Juráni, 1990).

Na souboru celkem 95 a 147 vzorků (Zbíral, 2016) byly dále stanoveny obsahy mikroprvků jak stávajícími metodami (DTPA-TEA, horká voda), tak metodou Mehlich 3. Vzorky půd byly vybrány tak, aby postihly všechny základní typy půd a klimatické podmínky v České republice. Výsledky byly vzájemně porovnány a na jejich základě Zbíral 2016 konstatoval, že extrakční síla činidla Mehlich 3 je vyšší než u DTPA-TEA a horké vody. Extrakčním činidlem Mehlich 3 se extrahovalo o 50-80% Cu a Zn, o 100-150% více Mn, o 10-15% B, 6-10 x více Fe (Zbíral, 2016). Současně Zbíral (2016) konstatoval, že mezi jednotlivými extraktanty byly u prvků dosaženy lineární, statisticky vysoce průkazné korelace (tabulka 11).

Tabulka 9: Návrh kritérií pro obsah mikroprvků v půdě na základě stanovení mikroprvků metodami DTPA-TEA a horkou vodou podle Jurániho (1990)

Mikroelement	Půdní druh	Obsah prvku v půdě (mg/kg)		
		nízký	střední	vysoký
B	lehká půda	< 0,40	0,40 – 0,70	> 0,70
	středně těžká půda	< 0,60	0,60 – 1,00	> 1,00
	těžká půda	< 0,80	0,80 – 1,50	> 1,50
Cu		< 0,8 ($< 1,0$) ¹	0,80 – 2,70	> 2,70
Zn		< 1	1,00 – 2,50	> 2,50
Mn		<10 ($< 15,0$) ²	10,00 - 100	> 100
Fe		< 8,0	8,0 - 75	> 75

¹Doporučeno pro obiloviny;

²Je doporučeno hnojit na půdách obsahujících méně než 15 mg/kg.

Tabulka 10: Obsah mikroprvků v půdách stanovený metodou Mehlich 3 (M3), DTPA-TEA (DTPA) a horkou vodou (HV) (Zbiral, 2016).

Prvek	Metoda	Aritmetický průměr	Medián	Min.	Max.	DK	HK
Cu	DTPA	2,11	1,60	0,45	16,00	1,14	2,21
	M3	3,55	2,80	0,50	30,00	1,93	3,75
Zn	DTPA	3,47	2,13	0,65	87,70	1,50	3,13
	M3	6,73	4,17	1,50	147,00	3,20	5,55
Mn	DTPA	48,40	44,10	7,53	144,00	26,80	61,70
	M3	126,00	117,00	13,70	384,00	93,00	155,00
Fe	DTPA	73,40	59,80	8,70	453,00	32,60	87,30
	M3	372,00	378,00	73,30	1882,00	269,00	437,00
B	HV	0,83	0,58	0,08	2,70	0,39	1,14
	M3	0,87	0,74	0,22	3,23	0,50	1,06

M3 – extraktant Mehlich 3;

DTPA – extraktant diethylentriaminpentaoctové kyseliny a trietanolaminu;

HV – horká voda

DK – dolní kvartil;

HK – horní kvartil

Tabulka 11: Regresní lineární analýza vztahů mezi metodou Mehlich 3 a DTPA-TEA (horkou vodou) (Zbiral, 2016).

Prvek	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	hladina významnosti
Cu	0,2085	1,585	0,928	++
Zn	0,8784	1,685	0,984	++
Mn	78,944	0,972	0,532	++
Fe	179,76	2,619	0,842	++
B	0,1707	1,1829	0,890	++

a – intercept; *b* – sklon; *R* – korelační koeficient; ++ – $p < 0,01$; M3 – extraktant Mehlich 3; DTPA – extraktant diethylentriaminpentaoctové kyseliny a trietanolaminu; HV – horká voda

5. Návrh kritérií pro stanovení obsahu mikroelementů půdním testem Mehlich 3

V rámci ověřování obsahu mikroprvků v půdách pro určení jejich kritérií pro hodnocení půd v rámci agrochemického zkoušení půd, byly vyhodnoceny obsahy mikroprvků metodami Mehlich 3 a byly provedeny korelace s dosud používanými metodami DTPA-TEA a extrakcí horkou vodou. Pro upřesnění byly provedeny vegetační a polní pokusy, kde současně s mikroprvky stanovenými metodou Mehlich 3 byly stanoveny také jejich výměnné frakce, které jsou pro rostliny snadno přístupné a z tohoto důvodu musí být v půdě v přiměřeném množství. Byl také stanoven obsah mikroprvků v rostlinách, kde u většiny prvků bylo možné konstatovat, že odpovídají literárním předpokladům. Současně byl v polním pokusu zjištěn reálný odběr živin rostlinami a porovnán s výsledky obsahů mikroprvků stanovených jak metodou Mehlich 3, tak i jejich výměnnými formami. Na základě všech dosažených výsledků byla navržena kritéria uvedená v tabulce 12.

Tabulka 12: Kritéria pro hodnocení obsahu mikroprvků v půdách stanovených metodou Mehlich 3

Mikroelement	Půdní druh	Obsah prvku v půdě (mg/kg)		
		nízký	střední	vysoký
B	lehká půda	< 0,55	0,56 – 0,75	> 0,75
	středně těžká půda	< 0,70	0,71 – 1,00	> 1,00
	těžká půda	< 0,85	0,86 – 1,40	> 1,40
Cu		< 1,6 (< 2,0) ¹⁾	1,61 – 4,5	> 4,5
Zn		< 2,2	2,21 – 5,0	> 5,0
Mn		< 30 (< 45,0) ²⁾	30,1 - 200	> 200
Fe		< 60,0	60,0 - 420	> 420

¹⁾Doporučeno pro obiloviny;

²⁾Je doporučeno hnojit na půdách obsahujících méně než 45 mg/kg.

III. Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, případně jejich zdůvodnění, pokud se bude jednat o novou metodiku (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.).

Používání extrakční metody Mehlich 3 je v současné době upraveno vyhláškou č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů. Metoda Mehlich 3 se standardně používá pro stanovení obsahu základních (makro) živin v půdě včetně kritérií hodnocení obsahu přístupného fosforu, draslíku a hořčíku v různých druzích pozemků a druzích půd. Výše uváděná vyhláška dále uvádí principy chemických rozborů zemědělských půd pro stanovení obsahu stopových živin (tj. mikroživin, či mikroprvků), avšak bez uvedení jakýchkoliv kritérií pro hodnocení jejich obsahu v půdě.

Výše popisovaná problematika tedy zavádí zcela nové stanovení a hodnocení zásoby mikroprvků (mikroživin) v půdách, které při používání metody Mehlich 3 navíc bude také značně levnější. Rozšířením kritérií hodnocení zásoby živin v půdě o potřebné mikroprvky pomocí metody Mehlich 3 bude zajištěno, že každý zemědělský podnik bude v každém cyklu agrochemického zkoušení půd znát obsah mikroživin ve svých půdách bez zbytečného navyšování nákladů ve zkušebních laboratořích a tomu bude moci přizpůsobit strategii používání hnojiv obsahujících mikroprvky v oblasti výživy a hnojení plodin.

IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Certifikovaná metodika je určena zejména pro orgány státní správy a bude uplatněna především v ÚKZÚZ, který je oprávněným orgánem pro organizaci a provádění agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice. Metodika má však potenciál být využita také různými zemědělskými oblastními laboratořemi a výzkumnými ústavy a dalšími pracovišti, které budou stanovovat obsah uvedeného souboru mikroelementů (mikroživin) metodou Mehlich 3. Současně bude sloužit zemědělským subjektům pro sledování zásoby mikroživinami na vlastních pozemcích a pro rozhodování o potřebě hnojení mikroživinami.

V. Ekonomické aspekty

Náklady na zavedení postupů budou spočívat především v práci členů řešitelského týmu projektu č. QJ1530171, který bude připravovat podklady pro novelizaci vyhlášky č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů.

Vlastním využitím metody Mehlich 3 již další náklady nevznikají, protože je již nyní standardně používána v laboratořích. Naopak dojde k významné úspoře na každém analyzovaném vzorku. K úspoře dojde sjednocením extrakčního činidla Mehlich 3 pro současné stanovování makroživin a mikroživin, pro které se nyní používají jiná extrakční činidla. Současně dojde ke zjednodušení analytické koncovky, tj. stanovení především pomocí ICP-OES (optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu).

Při stanovování obsahu každého mikroprvku samostatně (tj. extrakce DTPA – pro Cu, Mn, Zn, Fe - a horkou vodou – pro bór) činí náklady na stanovení obsahu pěti výše uváděných mikroprvků celkem 432,- Kč/půdní vzorek. Při stanovení všech pěti vyjmenovaných mikroprvků extrakční metodou Mehlich 3 (při současném stanovení makroživin – P, K, Mg, Ca) činí náklady pouze 122,- Kč/půdní vzorek. Cenový rozdíl tedy činí 310,- Kč/půdní vzorek.

Pokud bude rozhodnuto o analyzování celého souboru cca 75 tis. odebraných půdních vzorků ročně testovaných v ÚKZÚZ v rámci systému agrochemického zkoušení zemědělských půd na obsah makro a současně i mikroprvků, očekávaná úspora oproti stávající praxi by představovala až 23 250 tis. Kč ročně.

Přijetím této metodiky samozřejmě vzniká další (avšak obtížně vyčíslitelná) úspora na dalších pracovištích (např. komerční laboratoře), která tuto metodu budou aplikovat.

VI. Seznam použité související literatury

- Adriano D.C. et al. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer, New York
- Berger K.C., Truog E. (1939): Boron determination in soils and plants. *Industrial Engineering Chemistry and Analytical Edition*, 39: 540–545.
- Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlár O., Vašák F. (2016): Význam bóru ve výživě rostlin. *Agromanuál*, 8.10. 2016: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyznam-boru-ve-vyzive-rostlin>
- Davies M.J., Atkinson C.J., Burns C., Arroo R., Woolley J. (2011): Increases in leaf artemisinin concentration in *Artemisia annua* in response to the application of phosphorus and boron. *Industrial Crops and Products*, 34: 1465-1473.
- Hu H., Brown P.H. (1997): Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*, 193: 49-58.
- Hu H., Penn S. G., Lebrilla C. B., Brown P. H. (1997): Isolation and characterisation of soluble B-complexes in higher plants. The mechanism of phloem mobility of boron. *Plant Physiology*, 113: 649-655.
- Jones J.B.Jr. (1990): Universal soil extractants: Their composition and use. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21: 1091–1101.
- Juráni B., et al. (1990): A Complex Method for Plant Nutrition. Chapter 10. Micronutrient Fertilization. Prague, Institute for Scientific and Technical Information in Agriculture, 137. (In Czech)
- Kaya C., Tuna A.L., Dikilitas M., Ashraf M., Koskeroglu S., Guneri M. (2009): Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. *Scientia Horticulturae*, 121: 284-288.
- Kiekens L. (1991): Zinc. In: Heavy metals in soil. Alloway B.J. (ed.). Blackie. Glasgow and London, Halsted Press. J. Wiley and Sons, Inc. New York, 261-279
- Majidi A., Rahnemaie R., Hassani A., Malakouti M.J. (2010): Adsorption and desorption processes of boron in calcareous soils. *Chemosphere*, 80: 733-739
- Matula J. 2007. Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. In: Metodika pro praxi, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.: 47 str.
- Mehlich A. (1984): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409–1416.
- Mengel K, Kirkby E.A. (2001): Principles of plant nutrition. 5th edn. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 849 pp
- Mühlbachová G., Čermák P., Vavera R., Káš M., Pechová M., Marková K., Kusá H., Růžek P., Hlušek J., Lošák T. (2017): Boron availability and uptake under increasing phosphorus rates in a pot experiment. *Plant Soil Environ.*, 63: 483-490
- Norvell W.A., Lindsay W.L. (1972): Reactions of DTPA chelates of iron, zinc, copper, and manganese with soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36: 778–783
- Ostatek-Boczynski Z.A., Lee-Steere P. (2012): Evaluation of Mehlich 3 a universal nutrient extractant for Australian sugarcane soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43: 623–630.
- Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Pavlíková D., Tlustoš P., Valtera J. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha: 568 str.

Vyhláška č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, uvedeny jejich indikační hodnoty, při jejichž překročení může být podezření z ohrožení růstu rostlin a produkční funkce půdy Vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě

Vyhláška č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě.

Yamanouchi, M., 1980. Effect of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and iron treatment on the absorption and translocation of boron in several crop grown in high concentration of boron. *Nippon Dojo Hiriyogaku Zasshi*, 51: 126–130.

Zbírál J. (2016): Determination of plant-available micronutrients by the Mehlich 3 soil extractant – a proposal of critical values. *Plant, Soil and Environment*, 62:527-531

Zbírál J., Čížmarová E., Obdržálková E., Rychlý M., Vilamová V., Srnková J., Žalmanová A. (2016): Jednotné pracovní postupy. *Analýza půd I*, 4. vydání – Brno 2016

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Juráni B., et al. (1990): A Complex Method for Plant Nutrition. Chapter 10. Micronutrient Fertilization. Prague, Institute for Scientific and Technical Information in Agriculture, 137. (In Czech)

Mühlbachová G., Čermák P., Vavera R., Káš M., Pechová M., Marková K., Kusá H., Růžek P., Hlušek J., Lošák T. (2017): Boron availability and uptake under increasing phosphorus rates in a pot experiment. *Plant Soil Environ.*, 63: 483-490, projekt QJ1530171, RO 0417

Zbírál J. (2016): Determination of plant-available micronutrients by the Mehlich 3 soil extractant – a proposal of critical values. *Plant, Soil and Environment*, 62:527-531

Zbírál J., Čížmarová E., Obdržálková E., Rychlý M., Vilamová V., Srnková J., Žalmanová A. (2016): Jednotné pracovní postupy. *Analýza půd I*, 4. vydání – Brno 2016

Autoři: Dr. Ing. Pavel Čermák
Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.
Ing. Martin Káš, Ph.D.
Ing. Radek Vavera, Ph.D.
Ing. Miroslava Pechová

**Název: Metodický postup pro stanovení obsahu mikroelementů metodou Mehlich 3
a návrh hodnocení kritérií jejich obsahu v zemědělských půdách.**

Oponenti: Ing. Michaela Budňáková
doc. Ing. Radim Vácha, Ph.D.

Kontakty: pavel.cermak@vurv.cz
muhlbachova@vurv.cz

Fotografie: Dr. Ing. Pavel Čermák (foto na titulní stránce)
Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D (foto na poslední stránce)

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2017
ISBN 978-80-7427-266-0



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2017