

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH
INFORMACÍ

PRAHA 1 - TESOV 8. 65

ROSTLINNÁ VÝROBA

PLANT PRODUCTION

9

ROČNÍK 39 (LXVI)
PRAHA 1993
CS ISSN 0370-663X

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD
SLOVENSKÁ AKADÉMIA PÔDOHOSPODÁRSKYCH VIED

ROSTLINNÁ VÝROBA

PLANT PRODUCTION

VOLUME 39 (1993)

Redakční rada - Editorial Board

Předseda - Chairman

Doc. ing. Josef Š i m o n , CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, ČR)

Členové - Members

Doc. ing. Pavol B a j č i , CSc. (Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra, SR)

Prof. dr. Márta B i r k á s (Agrártudományi Egyetem, Gödöllő, Hungária)

Ing. Helena D o n á t o v á , CSc. (Vysoká škola zemědělská, Praha, ČR)

Prof. ing. Václav F r i c , DrSc. (Vysoká škola zemědělská, Praha, ČR)

Ing. Jozef H a b o v š t i a k , CSc. (Výskumný ústav lúk a pasienkov, pracovisko Krivá na Orave, SR)

Ing. Alois C h a l u p a , CSc. (Výzkumný ústav technických plodin a luskovin, Šumperk, ČR)

Ing. Bohdan J u r á n i , CSc. (Univerzita Komenského, Bratislava, SR)

Prof. dr. Günter K a h n t (Universität Hohenheim, Stuttgart, BRD)

Prof. ing. Josef K o z á k , DrSc. (Vysoká škola zemědělská, Praha, ČR)

Prof. ing. Vladimír K r a j č o v i č (Výskumný ústav lúk a pasienkov, Banská Bystrica, SR)

Prof. ing. Lubomír M i n x , DrSc. (Vysoká škola zemědělská, Brno, ČR)

Ing. Timotej M i š t i n a , CSc. (Výskumný ústav rastlinnej výroby, Piešťany, SR)

Dr. Peter N e w b o u l d (The Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen, Scotland, UK)

Ir. Cees v a n O u w e r k e r k (Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren Gn, Nederland)

Ing. Josef P a ř í z e k (ZEAINVENT, a. s., Trnava, SR)

Ing. Jaromír P r o c h á z k a , CSc. (Výzkumný ústav pícninářský, Troubsko u Brna, ČR)

Prof. ing. Stanislav P r o c h á z k a , DrSc. (Vysoká škola zemědělská, Brno, ČR)

Doc. ing. Vlastimil R a s o c h a , CSc. (Výzkumný ústav bramborářský, Havlíčkův Brod, ČR)

Prof. ing. Jozef R e p k a , DrSc. (Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra, SR)

Doc. ing. Ladislav S l a v í k , DrSc. (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, ČR)

Doc. ing. Miron S u š k e v i č , DrSc. (Výzkumný ústav ekoagrotechniky, Hrušovany u Brna, ČR)

RNDr. Vladimír Š k r d l e t a , CSc. (Mikrobiologický ústav AV ČR, Praha, ČR)

Prof. ing. Václav V a n ě k , DrSc. (Vysoká škola zemědělská, Praha, ČR)

Ing. Marie V á ň o v á , CSc. (Výzkumný ústav obilnářský, Kroměříž, ČR)

Ing. Jaroslav V o š k e r u š a , CSc. (Výzkumná stanice olejnin, Opava, ČR)

Doc. ing. František V r k o č , DrSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, ČR)

Prof. dr. hab. Kazimiera Z a w i ś l a k (Akademia Rolniczo-Techniczna, Olsztyn, Polska)

Vedoucí redaktorka - Editor-in-Chief

RNDr. Eva S t ř í b r n á

H. Šantrůčková

Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice

Práce je zaměřena na stanovení bazální respirace půdy v laboratorních podmínkách jako parametru potenciální (teoreticky možné) biologické aktivity půdy. Z uvedených výsledků vyplývá, že srovnání respirace různých půd je možné pouze u těch půdních vzorků, které byly odebrány ve srovnatelných vlhkostních a teplotních podmínkách a předinkubovány, aby byl eliminován vliv čerstvé organické hmoty. Jako nejvhodnější se ukázaly časné jarní nebo pozdní podzimní odběry. Respiraci půdy je třeba hodnotit v kontextu s fyzikálními, chemickými a dalšími biologickými parametry půdy. Při hodnocení výsledků je třeba přihlídnout k tomu, že jde o parametr, který v sobě zahrnuje jak množství, tak i aktivitu mikroorganismů. Respirace půdy pro svůj obecný charakter není dostatečně citlivým indikátorem toxického vlivu těžkých kovů na biologické procesy probíhající v půdě.

Respirace půdy patří mezi nejstarší měřené parametry biologické aktivity půdy a byla v minulosti již mnohokrát definována (např. D r o b n í k o v á , D r o b n í k , 1965). V této práci je chápána jako uvolňování oxidu uhličitého živými metabolizujícími komponenty půdy. Zahrnuje v sobě jejich množství i aktivitu. Je nejobecnějším parametrem mineralizace organické hmoty (OH) v půdě se všemi půdními metabolickými pochody, při nichž vzniká CO_2 . Může být měřena buď v přirozených podmínkách, nebo v laboratoři, kde mohou být podmínky vnějšího prostředí přesně kontrolovány. Měření biologické produkce CO_2 nelze použít v karbonátových půdách a v půdách s hodnotou pH vyšší než 6,5, u kterých dochází kromě biotického také k abiotickému uvolňování CO_2 z půdy.

Metody měření respirace půdy byly detailně popsány jak v zahraniční (např. S t o t z k y , 1965; A n d e r s o n , 1982), tak v české (např. N o v á k , A p f e l t h a l e r , 1964; D r o b n í k o v á , D r o b n í k , 1965) literatuře. Měření probíhá v uzavřených nebo průtočných systémech, jednorázově nebo opakovaně. Množství uvolněného CO_2 se v současnosti stanovuje nejčastěji metodami plynové chromatografie, spektroskopickými (IRGA) a absorpčními.

Měření respirace půdy *in situ* (např. G l o s e r , T e s a ř o v á , 1978; E d w a r d s , 1982) se využívá ke stanovení celkové aktivity půdní biomasy (tj. edafonu a kořenů rostlin) a jejího ovlivnění klimatickými, fyzikálními a chemickými podmínkami prostředí. Data lze využít v bilančních pokusech, při kvantifikaci aktuální mineralizace a stabilizace OH ve vztahu k půdně klimatickým faktorům a jejich fluktuaci, k množství OH vstupující do půdy nebo ke studiu vlivu obhospodařování na sledovaný ekosystém. Jejich použitelnost jako srovnávacího testu biologické aktivity půd je však velmi omezená.

V laboratorních podmínkách je možné studovat tzv. bazální respiraci půdy, tj. aktivitu neovlivněnou přidavkem jakéhokoliv substrátu, nebo tzv. potenciální respiraci půdy, stimulovanou přidavkem organických látek nebo živin. Měření bazální respirace se široce používá pro studium vlivu vlhkosti, teploty, aerace a jiných definovatelných fyzikálních faktorů na mineralizaci OH nebo pro stanovení schopnosti půdních organismů mineralizovat OH v optimalizovaných, přesně definovaných podmínkách (Novák, 1965). Měřením potenciální respirace po přidavku živin nebo organických látek se zjišťuje, do jaké míry je rozklad v půdě limitován nedostatkem přidávané živiny nebo je-li přidána organická látka rozložitelná, případně jakou rychlostí je mineralizována (Apfelter, Novák, 1969). Stanovení rychlosti mineralizace se využívá i při odhadu vedlejšího vlivu agrochemikálií a polutantů na půdní mikroorganismy (Domsch et al., 1983).

Při všech laboratorních měřeních je třeba si uvědomit, že velikost respirace je odlišná od respirace *in situ*. Odebráním půdy dochází k větší či menší disturbanci vzorku: uvolňují se zdroje živin a organických látek, které jsou v přirozených podmínkách nedostupné, zcela se mění podmínky provzdušnění a podle přípravy a stupně homogenizace vzorku je v různé míře vyloučen podíl kořenů a makro- a mezoedafonu na respiraci. Při laboratorní inkubaci je také většinou eliminován vliv kolísání teploty a vlhkosti, které jsou v přirozených podmínkách primárními faktory ovlivňujícími respiraci půdy. Tak např. vysoká respirace půdy stanovená v laboratorních podmínkách nemusí vypovídat o vysoké úrovni mineralizace *in situ*, ale naopak může znamenat její omezení nepříznivými půdně klimatickými faktory. Po odstranění nepříznivých vlivů v laboratorních podmínkách pak dochází k prudkému zvýšení mineralizace nahromaděné OH a je stanovena vysoká respirace půdy.

Cílem předložené práce je měření bazální respirace absorpční metodou v laboratorních podmínkách u různých druhů půd z různých lokalit v závislosti na době odběru vzorků, na obsahu uhlíku a na kontaminaci těžkými kovy a dále zhodnotit interpretovatelnost experimentálních dat.

MATERIÁL A METODA

Popis odběru a přípravy vzorků uvádí Šantrůčková (1993), základní charakteristiky jednotlivých studovaných ploch jsou vždy uvedeny v tab. I až VI. Respirace půdy byla stanovována absorpční metodou; vzorky byly inkubovány při teplotě 25 °C po dobu jednoho nebo 10 dnů (10denní inkubace byla použita v případě sledování sezónních změn, jednodenní inkubace u předinkubovaných vzorků), CO₂ byl jímán do 0,5N NaOH, množství absorbovaného CO₂ bylo stanoveno titračně 0,5N HCl po přidavku 12,5% roztoku BaCl₂ za použití fenolftaleinu jako indikátoru. Výsledky jsou uváděny v µg CO₂-C na 1 g suché půdy a den.

VÝSLEDKY

Změny respirace půdy v období od března do listopadu jsou vyjádřeny podílem její maximální a minimální hodnoty naměřené v tomto období - index maximum/mi-

I. Index maximum/minimum respiration (max/min) a průměrná respiration v půdách odebraných od března do listopadu; odběry probíhaly v jednom až třech po sobě jdoucích letech; jsou uvedeny hodnoty z různých půd s různým způsobem obhospodařování (průměr $\pm$ směrodatná odchylka, $n = 6 - 10$) – Index of maximum/minimum respiration (max/min) and average respiration in soils taken from March to November; samplings were performed in one to three following years; values of different soils with different agricultural practices (average $\pm$ standard deviation, $n = 6 - 10$) are presented

Lokalita ¹	C _{org} (%)	C/N	Respirace ⁶ (μg CO ₂ -C.g ⁻¹ .d ⁻¹)							
			1. rok ⁷		2. rok		3. rok			
			max/min	průměr ⁸	max/min	průměr	max/min	průměr		
1 ^a pole ² A	1,5	11	2,8	19,2 ± 7,9	3,6	21,8 ± 6,9	3,2	27,1 ± 9,1		
pole B	1,3	11	4,9	16,8 ± 8,7	2,1	10,2 ± 2,5	7,3	13,3 ± 6,7		
úhor ³ A	1,3	13	2,0	26,3 ± 6,9	1,6	19,2 ± 3,0	2,9	19,8 ± 7,2		
úhor B	1,0	8	2,3	22,4 ± 6,7	1,6	20,1 ± 3,0	1,8	17,0 ± 3,2		
louka ⁴ A	2,9	9	2,4	51,1 ± 15,1	1,7	41,3 ± 6,9	1,6	42,8 ± 8,2		
louka B	1,9	10	3,3	22,2 ± 10,9	1,9	16,3 ± 2,8	1,7	19,8 ± 3,9		
5 ^b pole I	1,5	8	1,6	4,8 ± 0,9	2,6	4,7 ± 1,3				
pole II	1,5	8	2,5	5,3 ± 1,6	2,4	3,7 ± 1,2				
pole III	1,5	7	2,2	6,3 ± 1,6	2,8	5,6 ± 2,2				
pole IV	1,4	8	1,2	3,7 ± 0,3	3,1	4,7 ± 2,3				
6 ^c pole 0 N	1,0	9	3,1	9,9 ± 3,8						
pole 30 N	1,1	9	4,6	5,3 ± 3,3						
pole 60 N	1,1	9	2,9	4,5 ± 1,6						
pole 120 N	1,2	10	2,1	4,6 ± 1,5						
9 sad ⁵ I	2,4	17	1,7	25,9 ± 5,6	2,6	25,6 ± 7,1				
sad II	2,4	17	3,1	18,8 ± 5,4	2,4	20,2 ± 6,8				
sad III	2,4	17	3,2	19,4 ± 6,8	2,1	19,3 ± 5,2				
sad IV	2,4	17	1,9	18,6 ± 3,9	3,2	17,1 ± 6,6				
sad V	2,4	17	2,9	18,9 ± 5,9	2,1	22,0 ± 5,5				

^a odběry z hloubky 0 - 5 cm (A) a 5 - 10 cm (B), část výsledků, podrobnou charakteristiku ploch včetně vlhkostních a teplotních podmínek uvádí Š a n t r ů č k o v á (1988) – samplings from depth of 0 - 5 cm (A) and 5 - 10 cm (B), part of results, detailed characteristics of areas including moisture and temperature conditions are reported by Š a n t r ů č k o v á (1988)

^b pole lišící se délkou opakovaného pěstování pšenice (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, nepubl.) – field differing by length of repeated growing of wheat (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, unpubl.)

^c pole se stejným osevním postupem, ale lišící se dávkou minerálního hnojení dusíkem ve formě NO₃ (0 - 120 kg.ha⁻¹) – field with identical crop rotation, but differing by rate of mineral nitrogen fertilization in the form of NO₃ (0 - 120 kg.ha⁻¹)

¹ locality, ² field, ³ fallow, ⁴ meadow, ⁵ orchard, ⁶ respiration, ⁷ year, ⁸ average

II. Průměrná respirace vypočítaná z měsíčních odběrů v průběhu roku a hodnoty respirace stanovené v časných jamách (před započítáním jamních prací, březen až duben) a pozdních podzimních (listopad) odběrech – Average respiration calculated from monthly samplings during the year and the values of respiration determined in early spring (prior to spring farm work, March to April) and late autumn (November) samplings

Lokalita ¹	C _{org} (%)	C/N	Respirace ⁶ (μg CO ₂ -C.g ⁻¹ .d ⁻¹)		
			jamí odběry ⁷	podzimní odběry ⁸	roční průměr ⁸
1 ^a pole ²	1,5	10	10,4 ± 4,9 (2) ^d	23,0 ± 10,4 (3) ^d	20,6 ± 5,9 (29) ^c
úhor ³	1,2	11	15,6 ± 5,7 (2)	25,0 ± 6,4 (3)	19,3 ± 9,7 (29)
louka ⁴	2,2	9	28,3 ± 12,4 (2)	39,7 ± 10,6 (3)	30,5 ± 15,8 (25)
5 ^b pole I	1,5	8	8,1 ± 3,5 (2)	8,7 ± 6,8 (2)	5,6 ± 3,3 (12)
pole II	1,5	8	9,5 ± 4,3 (2)	12,5 ± 10,7 (2)	6,5 ± 5,1 (12)
pole III	1,5	7	5,8 ± 1,6 (2)	9,0 ± 1,9 (2)	6,2 ± 2,1 (12)
pole IV	1,4	8	3,4 (1)	4,9 ± (1)	4,3 ± 1,8 (9)
6 ^c pole 0 N	1,0	9	13,7 (1)	10,3 (1)	11,2 ± 3,4 (5)
pole 30 N	1,1	9	6,0 (1)	2,5 (1)	5,8 ± 3,4 (6)
pole 60 N	1,1	9	4,4 (1)	2,7 (1)	4,3 ± 1,8 (6)
pole 120 N	1,2	10	3,8 (1)	3,5 (1)	4,8 ± 1,5 (6)
9 sad ⁵ I	2,4	17	21,2 (1)	16,5 ± 3,5 (2)	25,8 ± 6,3 (17)
sad II	2,4	17	15,9 (1)	18,0 ± 5,7 (2)	19,5 ± 6,0 (17)
sad III	2,4	17	21,8 (1)	17,0 ± 0,7 (2)	19,4 ± 5,8 (17)
sad IV	2,4	17	22,3 (1)	16,5 ± 0,5 (2)	17,8 ± 5,2 (17)
sad V	2,4	17	31,1 (1)	15,0 ± 0,1 (2)	20,5 ± 5,7 (17)

Korelace mezi jamními odběry a ročním průměrem¹⁰: $r = 0,86^{**}$ ($n = 16$)

Korelace mezi podzimními odběry a ročním průměrem¹¹: $r = 0,88^{**}$ ($n = 16$)

^a odběry z hloubky 0 - 10 cm, část výsledků, podrobnou charakteristiku ploch včetně vlhkostních a teplotních podmínek uvádí Š a n t r ů č k o v á (1988) – samplings from depth of 0 - 10 cm, part of results, detailed characteristics of areas including moisture and temperature conditions are reported by Š a n t r ů č k o v á (1988)

^b pole lišící se délkou opakovaného pěstování pšenice (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, nepubl.) – field differing by length of repeated growing of wheat (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, unpubl.)

^c pole se stejným osevním postupem, ale lišící se dávkou minerálního hnojení dusíkem ve formě NO₃ (0 - 120 kg.ha⁻¹) – field with identical crop rotation, but differing by rate of mineral nitrogen fertilization in the form of NO₃ (0 - 120 kg.ha⁻¹)

^d průměr ± směrodatná odchylka, číslo v závorce označuje počet po sobě jdoucích let s jamními a podzimními odběry – average ± standard deviation, number in brackets means number of following years with spring and autumn samplings

^e průměr ± směrodatná odchylka, číslo v závorce označuje počet měsíčních odběrů zahrnutých do výpočtu průměru – average ± standard deviation, number in brackets means number of monthly samplings included into the calculation of average value

^{**} průkazná závislost ($P = 0,01$) – significant correlation ($P = 0,01$)

For 1 - 6 see Tab. I, ⁷ spring samplings, ⁸ autumn samplings, ⁹ average value, ¹⁰ correlation between spring samplings and average values, ¹¹ correlation between autumn samplings and average values

III. Respirace půdy a mikrobiální biomasa stanovená v polní půdě (lokalita 1, $C_{org} = 1,5$, $C/N = 10$) v letech 1986 až 1987; jsou uvedeny průměrné hodnoty pouze z odběrů se stanovenou shodnou respirací půdy; jsou uvedeny průměrné hodnoty $\pm$ směrodatná odchylka ($n = 4$) – Soil respiration and microbial biomass determined in the field soil (locality 1, $C_{org} = 1.5$, $C/N = 10$) in the years 1986 to 1987; average values of samplings with determined identical soil respiration are presented; average values $\pm$ standard deviation ($n = 4$) are presented

Datum odběru ¹	Respirace ³ ($\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}\text{.d}^{-1}$)	Mikrobiální biomasa ⁴ ($\mu\text{g C.g}^{-1}$)
9. 7. 1986	22,6 $\pm$ 0,5	159 $\pm$ 35
9. 9. 1986	22,0 $\pm$ 1,9	1047 $\pm$ 128
21. 4. 1987	21,8 $\pm$ 1,4	276 $\pm$ 11
5. 5. 1987	21,7 $\pm$ 1,3	434 $\pm$ 10
6. 7. 1987	21,7 $\pm$ 1,6	557 $\pm$ 2
26. 7. 1987	22,4 $\pm$ 3,6	395 $\pm$ 22
2. 11. 1987	22,6 $\pm$ 1,2	564 $\pm$ 31
13. 6. 1988	21,3 $\pm$ 1,1	410 $\pm$ 14
5. 7. 1988	22,3 $\pm$ 0,8	437 $\pm$ 18
2. 8. 1988	21,7 $\pm$ 0,8	571 $\pm$ 46
Průměr ²	22,0 $\pm$ 0,4	485 $\pm$ 237

¹sampling date, ²average, ³respiration, ⁴microbial biomass

IV. Respirace půdy stanovená v hnědé půdě v oblasti Chelčice - Netolice; jsou uvedeny výsledky z jednorázového podzimního odběru vzorků na plochách lišících se plodinou a osevním postupem (průměr $\pm$ směrodatná odchylka, $n = 4$) – Soil respiration determined in cambisol in the region of Chelčice - Netolice; results of single autumn sampling are presented as obtained in areas differing in crop and crop rotation (average $\pm$ standard deviation, $n = 4$)

Porost ¹	pH _{H2O}	C_{org} (%)	N_{tot} (%)	Respirace ¹⁰ ($\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}\text{.d}^{-1}$)
Kukuřice ²	6,2	2,13	0,28	14,8
Ozimá pšenice ³	5,1	1,93	0,32	35,7
Žito ⁴	6,6	1,89	0,32	8,9
Úhor ⁵	6,1	1,59	0,27	27,3
Louka 1. rok ⁶	5,9	2,42	0,24	42,1
Kosená louka ⁷	5,5	3,86	0,28	42,0
Nově založený sad ⁸	6,1	2,11	0,29	14,8
Herbicidní sad ⁹	6,6	1,55	0,46	19,2

Korelace mezi respirací a C_{org} ¹¹: $r = 0,57^{NS}$ ($n = 8$)

¹stand, ²maize, ³winter wheat, ⁴rye, ⁵fallow, ⁶meadow first year, ⁷cut meadow, ⁸newly established orchard, ⁹herbicide orchard, ¹⁰respiration, ¹¹correlation between respiration and C_{org}

V. Respirace půdy (průměr $\pm$ směrodatná odchylka, $n = 3 - 16$) stanovená v různých druzích půd z různých klimatických oblastí; pro každou oblast jsou uvedeny průměrné hodnoty z ploch lišících se způsobem obhospodařování; údaje pro každou plochu kromě půdy č. 3 byly získány ze dvou odběrů (jarní a podzimní); u půdy č. 3 jsou uvedeny hodnoty z jarního odběru – Soil respiration (average $\pm$ standard deviation, $n = 3 - 16$) determined in soils of different textures and from different climatic regions; average values for each region are presented from plots differing in agricultural practices; data for each area, except the soil 3, were obtained from two samplings (spring and autumn); in the soil 3 values of spring sampling are presented

Lokalita ¹	Druh půdy ²	Jíl ⁶ (%)	Počet ploch ⁷	Srážky ⁸ (mm)	Teplota ⁹ (°C)	C _{org} (%)	N _{tot} (%)	Respirace ¹⁰ ($\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}\text{.d}^{-1}$)
1	písčito-hlinitá ³	27	7	522	7,6	1,8	0,23	21,9 $\pm$ 11,3
2	písčito-hlinitá	16	4	686	6,8	1,5	0,19	51,9 $\pm$ 33,9
3	písčito-hlinitá	20	1	624	7,3	1,0	0,15	38,2
4	hlinitá ⁴	32	3	575	7,5	2,5	0,21	27,3 $\pm$ 7,3
5	hlinitá	37	9	590	8,1	1,4	0,18	28,4 $\pm$ 28,3
6	hlinitá	39	5	594	8,3	1,1	0,13	14,3 $\pm$ 25,5
8	jílovito-hlinitá ⁵	47	5	450	7,8	1,1	0,15	77,9 $\pm$ 10,5

Korelace mezi respirací a C_{org}¹¹: $r = -0,31^{\text{NS}}$ ($n = 7$)

^{NS} neprůkazná závislost¹² ($P = 0,05$)

¹locality, ²soil texture, ³sandy loam, ⁴loam, ⁵clay loam, ⁶clay, ⁷number of areas, ⁸precipitation, ⁹temperature, ¹⁰respiration, ¹¹correlation between respiration and C_{org}, ¹²insignificant correlation

nimum respirace (tab. I). Z měření probíhajících v měsíčních intervalech na čtyřech různých lokalitách vždy minimálně během jedné vegetační sezóny vyplývá, že maximální hodnoty respirace půdy dosahovaly 1,2- až 7,3násobku minimální hodnoty v závislosti na sezóně a způsobu obhospodařování. Půdní respirace stanovená na těchto lokalitách v časných jarních odběrech před započatím jarních prací a v pozdních podzimních odběrech byla v korelaci s průměrnou hodnotou respirace vypočtenou z měsíčních odběrů v období březen až listopad (tab. II). Na jedné z vybraných lokalit (tab. III) byly z tříletého sledování vybrány termíny, ve kterých byla stanovena stejná respirace půdy. Ačkoliv se respirace nelišila, mikrobiální biomasa stanovená v těchto termínech kolísala od 159 do 1047 $\mu\text{g C.g}^{-1}$.

Respirace půdy stanovená ve vzorcích odebraných v zemědělských půdách stejného půdního druhu a z jedné klimatické oblasti, ale lišících se plodinou a způsobem obhospodařování, se pohybovala od 8,9 do 42,1 $\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}\text{.d}^{-1}$ v závislosti na plodině a způsobu obhospodařování. Závislost na obsahu C_{org} nebyla nalezena (tab. IV).

Ve třech druzích půd (písčito-hlinitá, hlinitá, jílovito-hlinitá) ze sedmi různých klimatických oblastí, kde byly v každé oblasti odebrány vzorky z jednoho až devíti různých stanovišť, se respirace půdy měnila nezávisle na obsahu uhlíku (tab. V) a její

VI. Respirace půdy ($\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}\text{.d}^{-1}$) stanovená v polní půdě (hnědozem, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,1$, $C_{\text{org}} = 2,11\%$, $N_{\text{tot}} = 0,24\%$) na kontrolních plochách a na plochách kontaminovaných arzenem (244 mg As.kg^{-1}) a kadmíem ($2,5\text{ mg Cd.kg}^{-1}$); jsou uvedeny průměrné hodnoty $\pm$ směrodatné odchylky ($n = 3$) – Soil respiration ($\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}\text{.d}^{-1}$) determined in field soil (cambisol, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,1$, $C_{\text{org}} = 2,11\%$, $N_{\text{tot}} = 0,24\%$) in control areas and in areas contaminated by arsenic (244 mg As.kg^{-1}) and cadmium ($2,5\text{ mg Cd.kg}^{-1}$); average values $\pm$ standard deviation ($n = 3$) are presented

Plocha ¹	Odběry ³			Průměr ⁴
	V/92	VI/92	VII/92	
Kontrola ²	$12,8 \pm 0,7$	$13,8 \pm 2,2$	$26,3 \pm 0,4$	$17,6 \pm 7,5$
+ As	$15,4 \pm 2,0$	$11,8 \pm 1,7$	$29,0 \pm 0,4$	$18,7 \pm 9,1$
Kontrola	$22,7 \pm 3,3$	$16,5 \pm 2,4$	$16,6 \pm 0,8$	$18,6 \pm 3,6$
+ Cd	$22,7 \pm 0,8$	$17,0 \pm 1,1$	$24,0 \pm 0,4$	$21,2 \pm 3,7$

¹area, ²control, ³samplings, ⁴average

variabilita v rámci jednoho půdního druhu a jedné klimatické oblasti byla vysoká (variační koeficient se pohyboval mezi 14 a 178 %). Respirace půdy po kontaminaci těžkými kovy (arzenem a kadmíem) se během celé vegetační sezóny nelišila od kontrolních variant (tab. VI).

DISKUSE

Při laboratorních měřeních bazální respirace za konstantních vlhkostních a teplotních podmínek závisí množství uvolněného CO_2 z půdy pouze na množství a dostupnosti organických látek v půdním vzorku a na schopnosti přítomných organismů je využívat. Takto stanovenou respiraci půdy lze považovat za parametr biologické aktivity půdy vypovídající o teoreticky možné úrovni mineralizace OH v půdě ve standardizovaných podmínkách. Vzhledem k tomu, že společenstvo půdních organismů podílejících se na mineralizaci OH v půdě a jejich aktivita jsou proměnlivé především v závislosti na teplotě, vlhkosti, obsahu snadno rozložitelných organických látek a v závislosti na rostlinném pokryvu (tab. I), je možné porovnávat pouze ty vzorky půdy, které byly odebrány nejen ve srovnatelných vlhkostních a teplotních podmínkách, ale i v podmínkách, kdy byl nejvíce eliminován vliv čerstvých rostlinných zbytků a vliv plodiny. Pro odstranění vlivu snadno dostupných organických látek je vhodné vzorky předinkubovat jako v případě stanovení mikrobiální biomasy (Š a n t r ů č k o v á, 1993).

Při hodnocení respirace půdy je třeba brát v úvahu, že jde o parametr komplexní, který v sobě zahrnuje jak mikrobiální biomasu, tak specifickou aktivitu mikroorganismů. Vysoká respirace půdy může být tedy výsledkem vysoké aktivity malého společenstva půdních organismů, ale také výsledkem nízké aktivity velkého společenstva (tab. III). Ze sledování změn respirace půdy během roku byly vybrány ty odběrové termíny, u kterých respirace půdy dosahovala téměř stejných hodnot (va-

riační koeficient $VK = 2 \%$). Mikrobní biomasa stanovená ve stejných termínech však kolísala od 159 do 1047 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ ($VK = 49 \%$). Shodná hodnota respirace půdy tedy odrážela zcela odlišné poměry, které vyžadují i odlišnou interpretaci.

Přestože teorie respiračních testů byla široce rozpracována již v 60. letech (Novák, 1965) a v literatuře existuje velké množství údajů o respiraci půd, nelze na základě stávajících znalostí stanovit rozsah hodnot, v jakých by se respirace určitého druhu zemědělské půdy s určitým obsahem organické hmoty a v určitých klimatických podmínkách měla pohybovat. Výsledky shrnuté v tab. IV a V, které byly získány z půd odebraných v jarních a podzimních odběrech a předinkubovaných, ukazují na vysokou variabilitu respirace půdy vlivem obhospodařování. Tato variabilita byla vyšší než rozdíly mezi jednotlivými půdními druhy a oblastmi. Nebyla také nalezena závislost respirace půdy na celkovém obsahu C_{org} . Vzhledem k tomu, že z celkového množství OH v půdě je jen malá část přístupná mikroorganismům a mineralizovatelná, bylo by účelnější hledat závislost mezi respirací půdy a obsahem dostupného uhlíku (např. obsahem vodorozpustného uhlíku).

Respirace půdy odebrané z pokusných ploch (lokalita 6) lišících se pouze dávkami minerálního hnojení dusíkem (tab. II) byla průkazně nižší v půdách hnojených dusíkem. Toto snížení přetrvávalo během celé vegetační sezóny (data nejsou uvedena). Snížení respirace půdy po přidavku minerálního dusíku uvádějí také např. Söderström et al. (1983) a dlouhodobé snížení respirace zjistili i Martikainen et al. (1989).

Při stanovení vlivu těžkých kovů na biologickou aktivitu půdy (tab. VI) nebyla zjištěna inhibice respirace půdy přidavkem arzenu (244 mg.kg^{-1}) a kadmia ($2,5 \text{ mg.kg}^{-1}$). Použité koncentrace těžkých kovů byly pravděpodobně příliš nízké na to, aby se jejich toxický vliv projevil na tak komplexní aktivitě, jako je respirace půdy. Doelman, Haanstra (1984) stanovili dlouhodobý toxický vliv kadmia na respiraci půdy až od koncentrací 400 mg.kg^{-1} . Obecný charakter respiračních testů, který je na jedné straně jejich předností, nedovoluje na druhé straně postihnout změny specifických procesů, které mohou indikovat počáteční stadia změn půdy nebo toxický vliv polutantů. Ačkoliv v našich pokusech respirace půdy ovlivněna kadmíem a arzenem nebyla, inhibice nitrogenázové aktivity však škodlivou koncentraci těchto těžkých kovů prokázala (Šimek, 1993).

Literatura

- ANDERSON, J. P. E.: Soil respiration. In: PAGE, A. L. - MILLER, R. H. - KEENEY, D. R. (eds): Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. No 9 (2nd ed.), Madison, ASA-SSSA 1982, s. 831-868.
- APFELTHALER, R. - NOVÁK, B.: Změny některých biologických a chemických vlastností půdy vlivem izolovaného působení organických a minerálních hnojiv. Rostl. Výr., 15, 1969, s. 157-162.
- DOELMAN, R. - HAANSTRA, L.: Short term effects of cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc on soil microbial respiration in relation to abiotic soil factors. Pl. and Soil, 79, 1984, s. 317-327.
- DOMSCH, K. H. - JAGNOW, G. - ANDERSON, T. H.: An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. Residue Rev., 86, 1983, s. 65-105.

- DROBNÍKOVÁ, V. - DROBNÍK, J.: Soil respiration. *Zbl. Bakt. Abt. 2*, 119, 1965, s. 714-729.
- EDWARDS, N. T.: The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial systems. *Pedobiologia*, 23, 1982, s. 321-330.
- GLOSER, J. - TESAŘOVÁ, M.: Litter, soil, and root respiration measurement. An improved compartmental analysis method. *Pedobiologia*, 18, 1978, s. 76-81.
- MARTIKAINEN, P. J. - AARNIO, T. - TAAVITSAINEN, V. M. - PAIVINEN, L. - SALONEN, K.: Mineralization of carbon and nitrogen in soil samples taken from three fertilized pine stands: long term effects. *Pl. and Soil*, 114, 1989, s. 99-106.
- NOVÁK, B.: Využití biochemických testů v půdní mikrobiologii. [Habilitation práce.] Praha, 1965, 162 s. - Vys. šk. zeměd.
- NOVÁK, B. - APFELTHALER, R.: Příspěvek k metodice stanovení respirace jako indikátoru mikrobiologických pochodů v půdě. *Rostl. Výr.*, 10, 1964, s. 145-149.
- SÖDERSTRÖM, B. - BÅÅTH, E. - LUNDGREN, B.: Decrease in soil microbial activity and biomass owing to nitrogen amendments. *Can. J. Microbiol.*, 29, 1983, s. 1500-1506.
- STOTZKY, G.: Microbial respiration. In: BLACK, C. A. - EVANS, D. D. - ENSMINGER, L. E. - WHITE, J. L. - CLARK, F. E. (eds): *Methods of soil analyses. Part 2. Agron. Monogr. No 9* (2nd ed.), Madison, ASA-SSSA 1965, s. 1550-1572.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H.: Mikrobiální biomasa a její aktivita v půdě. [Kandidátská disertace.] České Budějovice, 1988, 132 s. - ÚPB ČSAV.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H.: Mikrobiální biomasa jako ukazatel biologické aktivity půdy. *Rostl. Výr.*, 39, 1993, s. 779-788.
- ŠIMEK, M.: Fixace molekulárního dusíku jako parametr biologické aktivity půdy. *Rostl. Výr.*, 39, 1993, s. 789-796.

Došlo 21. 4. 1993

ŠANTRŮČKOVÁ, H. (Institute of Soil Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, České Budějovice):

Soil respiration as a measure of soil biological activity.

Rostl. Výr., 39, 1993 (9): 769-778.

Soil respiration is one of the oldest measured parameters of biological activity in soil. In the present study, soil respiration is measured as the carbene dioxide production of unamended soil in laboratory conditions by absorption method. The study has been aimed at measuring respiration of soils different in texture and climatic regions in dependence on sampling time, C_{org} content and contamination with heavy metals, respectively.

The response of soil respiration to seasonal change in the period from March to November is expressed by proportion of its maximal and minimal values measured in that period (index of maximum respiration/minimum respiration, Tab. I). The index of maximum respiration/minimum respiration ranged between 1.2 and 7.3 in dependence on agricultural practices and year of measurement. The soil respiration measured on early spring and late autumn data closely correlated to mean values of soil respiration calculated from monthly samplings from March to November (Tab. II).

In one locality (Tab. III), the data with the same soil respiration were chosen from three-year studies. Although soil respiration did not differ, microbial biomass determined in these sampling data fluctuated from 159 to 1047 $\mu\text{g C.g}^{-1}$. An identical soil respiration

can reflect a high quantity of microorganisms with low activity, as well as low quantity of active microorganisms.

Soil respiration determined in soil samples of one type (cambisol) taken in early spring in one climatic region but differing by agricultural practices ranged from 8.9 to 42.1 $\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (Tab. IV). The relation to C_{org} was not found.

Soil respiration, which was determined in soils with different texture (sandy loam, loam and clay loam) and from various climatic regions, did not depend on C_{org} (Tab V). The variability of soil respiration in various plots within one soil texture and one climatic region was high - coefficient of variation ranged between 14 and 178 %. The differences in soil respiration due to agricultural practices were higher than those connected with soil texture and climatic region.

Soil respiration after contamination with heavy metals (arsenic and cadmium, Tab. VI) did not differ from the control during the whole vegetation period. Concentrations of heavy metals used were too low to affect apparently such a complex parameter as soil respiration is. Nitrogenase activity determined in the same soil samples was inhibited (Š i m e k , 1993).

Kontaktní adresa:

Ing. Hana Š a n t r ů č k o v á , CSc., Ústav půdní biologie AV ČR, Na sádkách 7,
370 05 České Budějovice

MIKROBNÍ BIOMASA JAKO UKAZATEL BIOLOGICKÉ AKTIVITY PŮDY

H. Šantrůčková

Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice

Mikrobní biomasa (C_{mic}) jako variabilní součást půdní organické hmoty může být indikátorem změn stavu půdy. Pro její stanovení při hodnocení biologické aktivity půdy se doporučuje používat fumigačních metod nebo metody substrátem indukované respirace. Maximální hodnoty C_{mic} stanovené v měsíčních odběrech tvořily 1,4- až 16násobek minimálních hodnot C_{mic} . C_{mic} stanovená v časných jarních a pozdních podzimních odběrech je v úzké korelaci s průměrnou C_{mic} stanovenou v měsíčních odběrech v průběhu sezóny. Z výsledků získaných v zemědělských půdách z různých klimatických oblastí dále vyplývá, že C_{mic} se mění v závislosti na obsahu C_{org} ale závislost na N_{tot} , obsahu jílu a pH nalezena nebyla. V půdě jednoho druhu z jedné klimatické oblasti odebrané z různě obhospodařovaných ploch se hodnoty C_{mic} pohybovaly mezi 122 a 560 $\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ v závislosti na obsahu C_{org} . C_{mic} není možno hodnotit samostatně, ale pouze v kontextu s fyzikálními a chemickými vlastnostmi půdy, především s C_{org} , N_{tot} , obsahem jílu a pH.

Půdní mikroorganismy zprostředkovávají přeměnu organické hmoty v půdě a současně jsou důležitým zdrojem a zásobárnou živin. Jsou živou součástí půdní organické hmoty s krátkou dobou obratu a spolu s odumřelými rostlinnými zbytky tvoří její nestabilní složku, s jejímž kolísáním jsou spojeny krátkodobé změny v obsahu organické hmoty - řádově desítky let (Jenkinson, 1990). Mikrobní biomasa jako celek v sobě zahrnuje bakterie, aktinomycety, mikromycety a malý podíl řas, prvoků a nematod o objemu menším než $5\text{ }\mu\text{m}^3$. Je důležitým indikátorem změn v obsahu půdní organické hmoty. Nejčastěji se vyjadřuje obsahem uhlíku v mikrobiálních buňkách (C_{mic}).

Metody používané ke kvantitativnímu sledování mikrobiálního společenstva jsou dosud spojeny s množstvím problémů. Mnoho studií demonstruje, že klasické metody založené na kultivaci mikroorganismů na živných médiích podhodnocují množství mikroorganismů v půdě především díky vysoké selektivitě médií (např. Tunnlid, White, 1992). Počty mikroorganismů stanovené přímými mikroskopickými metodami jsou řádově vyšší než počty stanovené kultivačními metodami a lépe odpovídají skutečnému počtu bakterií nebo délce hyf mikromycetů v půdě. Mikrobní biomasa v půdě může být stanovena také biochemickými metodami na základě stanovení specifických buněčných komponentů jako ATP, DNA, komponenty buněčných stěn aj.

V současné době se pro stanovení mikrobiální biomasy zdají být nejvhodnější metody fyziologické a metody stanovení obsahu živin v buňce. Fyziologické metody,

mezi které lze zařadit fumigační inkubační metodu (CFI) a metodu substrátem indukované respirace (SIR), jsou založeny na předpokladu, že zvýšení respirace mikrobiálního společenstva po vnesení snadno dostupného zdroje uhlíku je úměrné mikrobiální biomase. U metody CFI (Jenkinson, Powlson, 1976) slouží jako zdroj uhlíku protoplazma z buněk poškozených parami chloroformu. Metodou SIR (Anderson, Domsch, 1978) se mikrobiální biomasa stanovuje na základě zvýšení respirace v prvních hodinách po přidavku glukózy. Mezi metody stanovení obsahu živin v buňce se řadí metody fumigační extrakční (CFE) (Vance et al., 1987) a rehydratační (Blagodatskij et al., 1987). U metod CFE se stejně jako u metod CFI porušují mikrobiální buňky parami chloroformu, ale uvolněné živiny (C, N, P) se stanovují v půdním extraktu běžně dostupnými chemickými metodami. Rehydratační metody zaměňují působení par chloroformu déle trvajícím působením suchého tepla na půdní vzorek (Řížecký, 1992). Korelace mezi metodami CFI, SIR a metodou CFE je vysoká, pokud je respektována použitelnost jednotlivých metod a jsou-li dodržovány metodické postupy přípravy půdního vzorku i vlastní analýzy. Obě skupiny metod jsou vhodné pro stanovení mikrobiální biomasy v zemědělských půdách, lze je úspěšně uplatnit při terénních sledováních i monitoringu půd, kde je třeba zpracovat velké množství vzorků. Metody CFE, CFI a SIR jsou relativně jednoduché a reprodukovatelné. Jednotlivé metodické postupy a jejich použitelnost jsou podrobně popsány i v naší literatuře (Šantůčeková, 1992).

Cílem příspěvku je seznámit s metodickými postupy stanovení mikrobiální biomasy metodami CFI a CFE, uvést rozsah změn mikrobiální biomasy (C_{mic}) vlivem vnějších podmínek prostředí a ukázat na možnou interpretaci získaných dat.

MATERIÁL A METODA

V pokusech byly použity půdní vzorky odebrané v různých klimatických oblastech z pokusných ploch VÚRV Praha, ÚPB AV ČR České Budějovice, VÚKPS Pečky a z pozemků ZD Chelčice letích 1980 až 1992. Základní charakteristiky jednotlivých studovaných ploch jsou uvedeny v tab. I až IV. Půdní vzorky byly odebírány z hloubky 0 až 10 cm z pěti až 10 náhodných míst, analýzy byly prováděny ze směsných vzorků prosátých přes 2mm síto. Při sledování sezónních změn byly vzorky zpracovávány do 24 h po odběru. V případech, kdy byly prováděny pouze jarní a podzimní odběry, byly vlhké vzorky skladovány (předinkubovány) při 4 °C po dobu jednoho až dvou měsíců.

Stanovení mikrobiální biomasy (C_{mic})

a) CFI metoda (Jenkinson, Powlson, 1976), modifikace (Chaussod, Nicolardot, 1982):

Analýzy probíhaly ve čtyřech opakováních, v půdním vzorku, jehož vlhkost byla upravena na 55 % MVK. Po fumigaci byly vzorky inokulovány 2 ml půdní suspenze připravené z téže půdy nefumigované (poměr ředění suchá půda : H_2O = 1 : 10) a inkubovány v hermeticky uzavřených lahvích po dobu 14 dnů při teplotě 25 °C.

Uvolňovaný CO_2 byl jímán do 1,5N NaOH. Tvorba CO_2 byla stanovena po sedmi a 14 dnech inkubace titračně 0,5N HCl po přidavku 10% BaCl_2 s použitím fenolftaleinu jako indikátoru. Množství uhlíku mikrobiální biomasy bylo vypočítáno podle vztahu

$$C_{\text{mic}} = [F_{(0-7)} - F_{(7-14)}] / 0,45 \text{ (}\mu\text{g C.g}^{-1}\text{)},$$

kde: $F_{(0-7)}$ = $\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}$ vytvořeného v prvních 7 dnech inkubace;

$F_{(7-14)}$ = $\mu\text{g CO}_2\text{-C.g}^{-1}$ vytvořeného mezi 7. a 14. dnem inkubace;

0,45 = přepočtový koeficient udávající stupeň mineralizovatelnosti mikrobiálního uhlíku.

b) CFE metoda (Vance et al., 1987):

Analýzy probíhaly ve čtyřech opakováních, množství uhlíku bylo stanovováno titračně 0,05N Mohrovou solí v síranovém extraktu z nefumigované a fumigované půdy (půda : 0,5M K_2SO_4 = 1 : 2), po spálení v chromsírové směsi (0,4N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: H_2SO_4 : H_3PO_4 = 1 : 5 : 5).

Obsah uhlíku v mikrobiální biomase byl vypočítán podle vztahu:

$$C_{\text{mic}} = 2,64 \times (F - NF) \text{ (}\mu\text{g C.g}^{-1}\text{)},$$

kde: F = $\mu\text{g C v 1 g}$ fumigované půdy;

NF = $\mu\text{g C v 1 g}$ nefumigované půdy;

2,64 = přepočtový koeficient udávající podíl mikrobiálního uhlíku v extraktu.

VÝSLEDKY

Záměrem pokusů bylo zjistit kolísání C_{mic} během vegetační sezóny a stanovit závislost C_{mic} na vybraných faktorech vnějšího prostředí. Variabilita C_{mic} v období od března do listopadu je vyjádřena podílem její maximální a minimální hodnoty naměřené v tomto období. Z měření probíhajících v měsíčních intervalech na čtyřech různých lokalitách vždy minimálně během jedné vegetační sezóny vyplývá, že maximální hodnota C_{mic} dosahuje 1,5- až 16,6násobku minimální hodnoty v závislosti na sezóně a způsobu obhospodařování (tab. I). C_{mic} naměřená na těchto lokalitách v časných jarních odběrech před započatím jarních prací a v pozdních podzimních odběrech je v úzké korelaci s průměrnou hodnotou C_{mic} vypočítanou z měsíčních odběrů v období března až listopad (tab. II).

V zemědělských půdách stejného půdního druhu a z jedné klimatické oblasti, ale lišících se plodinou a způsobem obhospodařování, se hodnoty C_{mic} mění od 122 do 560 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ v závislosti na obsahu C_{org} . Závislost na N_{tot} a pH nalezena nebyla (korelační koeficient - tab. III). Podíl $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ se pohyboval od 0,69 do 2,38, přičemž nebyla nalezena závislost ani na jednom ze sledovaných faktorů (tab. III).

Ve třech druzích půd (písčito-hlinitá, hlinitá, jílovito-hlinitá) z osmi různých klimatických oblastí, z kterých byly v každé oblasti odebrány vzorky z jednoho až devíti různých polí, se mikrobiální biomasa mění v úzké závislosti na obsahu uhlíku (tab. IV), ale závislost na obsahu jílů a ostatních faktorech nalezena nebyla.

I. Index maximum/minimum mikrobiální biomasy (max/min) a průměrná mikrobiální biomasa ($\bar{x} \pm s_x$) v půdách odebraných od března do listopadu v měsíčních intervalech; odběry probíhaly v jednom až třech po sobě jdoucích letech; jsou uvedeny hodnoty z různých půd s různým způsobem obhospodařování – Index of maximum/minimum microbial biomass (max/min) and average microbial biomass ($\bar{x} \pm s_x$) in soils taken from March to November in monthly intervals; samplings were performed in one to three following years; values of different soils with different way of farming are presented

Lokalita ¹	C _{org} (%)	C/N	Mikrobiální biomasa ⁶ C _{mic} (μg C.g ⁻¹)					
			1. rok ⁷		2. rok		3. rok	
			max/min	průměr ⁸	max/min	průměr	max/min	průměr
1 ^a pole ² A	1,5	11	6,7	423 ± 328	3,7	412 ± 151	1,8	466 ± 100
pole B	1,3	11	8,1	299 ± 262	3,8	281 ± 108	1,8	414 ± 37
úhor ³ A	1,3	13	16,6	471 ± 425	2,0	413 ± 119	1,4	473 ± 57
úhor B	1,0	8	6,1	429 ± 478	2,0	387 ± 106	2,3	411 ± 103
louka ⁴ A	2,9	9	2,9	835 ± 369	2,8	606 ± 178	4,0	662 ± 333
louka B	1,9	10	9,8	563 ± 470	2,6	492 ± 143	1,5	604 ± 87
5 ^b pole I	1,5	8	2,3	328 ± 115	3,1	319 ± 139		
pole II	1,5	8	2,0	313 ± 71	2,1	250 ± 82		
pole III	1,5	7	1,4	330 ± 43	2,7	252 ± 101		
pole IV	1,4	8	1,4	281 ± 57	2,3	273 ± 99		
6 ^c pole 0 N	1,0	9	2,2	189 ± 58				
pole 30 N	1,1	9	2,1	175 ± 53				
pole 60 N	1,1	9	2,6	156 ± 57				
pole 120 N	1,2	10	4,3	91 ± 54				
9 sad ⁵ I	2,4	17	2,6	561 ± 191	2,3	458 ± 125		
sad II	2,4	17	2,3	578 ± 152	2,2	373 ± 63		
sad III	2,4	17	2,3	631 ± 173	1,9	480 ± 107		
sad IV	2,4	17	2,3	486 ± 185	2,4	407 ± 60		
sad V	2,4	17	2,3	626 ± 127	1,6	450 ± 108		

^a odběry z hloubky 0 - 5 cm (A) a 5 - 10 cm (B), část výsledků, podrobnou charakteristiku ploch včetně vlhkostních a teplotních podmínek uvádí Š a n t r ů č k o v á (1988) – samplings from depth of 0 - 5 cm (A) and 5 - 10 cm (B), part of results, detailed characteristics of areas including moisture and temperature conditions are reported by Š a n t r ů č k o v á (1988)

^b pole lišící se délkou opakovaného pěstování pšenice (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, nepubl.) – field differing in length of repeated growing of wheat (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, unpubl.)

^c pole se stejným osevním postupem, ale lišící se dávkou minerálního hnojení dusíkem ve formě NO₃⁻ (0 - 120 kg.ha⁻¹) – field with identical crop rotation, but differing in rate of mineral nitrogen fertilization in the form of NO₃⁻ (0 - 120 kg.ha⁻¹)

¹ locality, ² field, ³ fallow, ⁴ meadow, ⁵ orchard, ⁶ microbial biomass, ⁷ year, ⁸ average

II. Průměrná mikrobiální biomasa (C_{mic} , $\bar{x} \pm s_x$) vypočítaná z měsíčních odběrů v průběhu roku a hodnoty mikrobiální biomasy stanovené v časných jamách (před započítáním jamách prací, březen až duben) a pozdních podzemních (listopad) odběrech – Average microbial biomass (C_{mic} , $\bar{x} \pm s_x$) calculated from monthly samplings during the year and values of microbial biomass determined in early spring (prior to spring farm work, March to April) and in late autumn (November) samplings

Lokalita ¹	C_{org} (%)	C/N	Mikrobiální biomasa ⁶ C_{mic} ($\mu\text{g C.g}^{-1}$)		
			jarní odběry ⁷	podzemní odběry ⁸	roční průměr ⁹
1 ^a pole ²	1,5	10	383 ± 162 (2) ^d	240 ± 225 (3) ^d	370 ± 180 (29) ^e
úhor ³	1,2	11	390 ± 145 (2)	250 ± 211 (3)	340 ± 170 (29)
louka ⁴	2,2	9	493 ± 34 (2)	493 ± 366 (3)	550 ± 250 (25)
5 ^b pole I	1,5	8	433 ± 186 (2)	292 ± 69 (2)	325 ± 119 (12)
pole II	1,5	8	296 ± 161 (2)	257 ± 69 (2)	287 ± 79 (12)
pole III	1,5	7	307 ± 87 (2)	322 ± 62 (2)	297 ± 80 (12)
pole IV	1,4	8	211 (1)	241 (1)	279 ± 87 (9)
6 ^c pole 0 N	1,0	9	150 (1)	123 (1)	189 ± 58 (5)
pole 30 N	1,1	9	147 (1)	126 (1)	175 ± 53 (6)
pole 60 N	1,1	9	210 (1)	92 (1)	156 ± 57 (6)
pole 120 N	1,2	10	80 (1)	39 (1)	91 ± 54 (6)
9 sad ⁵ I	2,4	17	562 (1)	525 ± 12 (2)	506 ± 163 (17)
sad II	2,4	17	413 (1)	465 ± 120 (2)	481 ± 153 (17)
sad III	2,4	17	596 (1)	491 ± 71 (2)	551 ± 157 (17)
sad IV	2,4	17	462 (1)	425 ± 64 (2)	444 ± 136 (17)
sad V	2,4	17	380 (1)	410 ± 127 (2)	532 ± 145 (17)

Korelace mezi jarními odběry a ročním průměrem¹⁰: $r = 0,91^{**}$ ($n = 16$)

Korelace mezi podzemními odběry a ročním průměrem¹¹: $r = 0,97^{**}$ ($n = 16$)

^a odběry z hloubky 0 - 10 cm, část výsledků, podrobnou charakteristiku ploch včetně vlhkostních a teplotních podmínek uvádí Š a n t r ů č k o v á (1988) – samplings from depth of 0 - 10 cm, part of results, detailed characteristics of areas including moisture and temperature conditions are reported by Š a n t r ů č k o v á (1988)

^b pole lišící se délkou opakovaného pěstování pšenice (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, nepubl.) – field differing in length of repeated growing of wheat (V r a n ý, Š a n t r ů č k o v á, unpubl.)

^c pole se stejným osevním postupem, ale lišící se dávkou minerálního hnojení dusíkem ve formě NO_3^- (0 - 120 kg.ha^{-1}) – field with identical crop rotation, but differing in rate of mineral nitrogen fertilization in the form of NO_3^- (0 - 120 kg.ha^{-1})

^d průměr ± směrodatná odchylka, číslo v závorce označuje počet po sobě jdoucích let s jarními a podzemními odběry – average ± standard deviation, number in brackets means number of following years with spring and autumn samplings

^e průměr ± směrodatná odchylka, číslo v závorce označuje počet měsíčních odběrů zahrnutých do ročního výpočtu průměru – average ± standard deviation, number in brackets means number of monthly samplings included into the year of calculation of average value

^{**} průkazná závislost ($P = 0,01$) – significant correlation ($P = 0,01$)

For 1 - 6 see Tab. I, ⁷ spring samplings, ⁸ autumn samplings, ⁹ average value, ¹⁰ correlation between spring samplings and average value, ¹¹ correlation between autumn samplings and average values

III. Mikrobní biomasa (C_{mic}) v hnědé půdě v oblasti Chelčice - Netolice; jsou uvedeny výsledky z jednorázového podzimního odběru vzorků na plochách lišících se plodinou a osevním postupem – Microbial biomass (C_{mic}) in cambisol in the region of Chelčice - Netolice; the results of single autumn sampling are presented as obtained in areas differing in the crop and crop rotation

Porost ¹	pH _{H₂O}	C _{org} (%)	N _{tot} (%)	C _{mic} (μg C.g ⁻¹)	C _{mic} /C _{org} (%)
Kukuřice ²	6,2	2,13	0,28	202	0,95
Řepka ³	7,8	1,78	0,26	122	0,69
Ozimá pšenice ⁴	5,1	1,93	0,32	277	1,44
Ječmen ⁵	7,0	1,60	0,23	212	1,33
Žito ⁶	6,6	1,89	0,32	270	1,43
Úhor ⁷	6,1	1,59	0,27	273	1,72
Louka 1. rok ⁸	5,9	2,42	0,24	495	2,04
Kosená louka ⁹	5,5	3,86	0,28	560	1,45
Nově založený sad ¹⁰	6,1	2,11	0,29	361	1,71
Herbicidní sad ¹¹	6,6	1,55	0,46	369	2,38

Korelace mezi¹²

C_{mic} a C_{org} : $r = 0,74^*$ ($n = 10$) C_{mic}/C_{org} a C_{org} : $r = -0,05^{NS}$ ($n = 10$)

C_{mic} a N_{tot} : $r = 0,12^{NS}$ ($n = 10$) C_{mic}/C_{org} a N_{tot} : $r = 0,54^{NS}$ ($n = 10$)

C_{mic} a pH: $r = -0,49^{NS}$ ($n = 10$) C_{mic}/C_{org} a pH: $r = 0,36^{NS}$ ($n = 10$)

* průkazná závislost¹³ ($P = 0,05$)

^{NS} neprůkazná závislost¹⁴ ($P = 0,05$)

¹ stand, ² maize, ³ rape, ⁴ winter wheat, ⁵ barley, ⁶ rye, ⁷ fallow, ⁸ meadow first year, ⁹ cut meadow,

¹⁰ newly established orchard, ¹¹ herbicide orchard, ¹² correlation between, ¹³ significant dependence,

¹⁴ insignificant dependence

DISKUSE

Změny mikrobní biomasy v průběhu roku jsou výsledkem komplexního působení fyzikálních, chemických, biologických i antropogenních faktorů a současně výsledkem variability těchto faktorů, což se spolu s krátkou generační dobou mikroorganismů odráží ve velkém kolísání mikrobní biomasy. Variabilita C_{mic} kolem průměrné hodnoty - index maximum/minimum C_{mic} (tab. I), která přímo ovlivňuje obrát C_{mic} , je ovlivněna podmínkami v konkrétním roce a kolísání je výrazné v podmínkách vysoké variability faktorů prostředí, např. rychlé a výrazné střídání vlhkosti (tab. I, lokalita 1), jak uvádí Š a n t r ů č k o v á (1988), vliv iontů NO_3^- (tab. I, lokalita 6) aj. Variabilita C_{mic} v čase komplikuje použití této charakteristiky pro hodnocení tzv. stavu půdy, kdy se nepočítá s více než s jedním až dvěma odběry v jednom roce. V literatuře se uvádí, že hodnoty C_{mic} , které odpovídají průměrné C_{mic} , je možné získat v časném jaru před zahájením jarních prací (např. A n d e r s o n , D o m s c h , 1989), kdy je půda v relativně ustáleném

IV. Mikrobiální biomasa (C_{mic} , $\bar{x} \pm s_x$) a podíl mikrobiální biomasy v organickém uhlíku (C_{mic}/C_{org}) v různých druzích půd z různých klimatických oblastí; pro každou oblast jsou uvedeny průměrné hodnoty z ploch lišících se způsobem obhospodařování; údaje pro každou plochu kromě půdy č. 3 byly získány ze dvou odběrů (jarní a podzimní), u půdy č. 3 jsou uvedeny hodnoty z jarního odběru – Microbial biomass (C_{mic} , $\bar{x} \pm s_x$) and the proportion of microbial biomass in organic carbon (C_{mic}/C_{org}) in soils of different textures and from different climatic regions; average values for each region are presented from plots differing in agricultural practices; data for each area, except the soil 3, were obtained from two samplings (spring and autumn); in soil 3 values of spring sampling are presented

Loka- lita ¹	Druh půdy ²	Hrubý jíl ⁶ (%)	Počet ploch ⁷	Srážky ⁸ (mm)	Teplota ⁹ (°C)	C _{org} (%)	N _{tot} (%)	C _{mic} (μg C.g ⁻¹)	C _{mic} /C _{org} (%)
1	píščito-hlinitá ³	27	7	522	7,6	1,8	0,23	237 ± 151	1,3
2	píščito-hlinitá	16	4	686	6,8	1,5	0,19	271 ± 156	1,8
3	píščito-hlinitá	20	1	624	7,3	1,0	0,15	186 ± 93	1,9
4	hlinitá ⁴	32	3	575	7,5	2,5	0,21	566 ± 95	2,3
5	hlinitá	37	9	590	8,1	1,4	0,18	291 ± 116	2,1
6	hlinitá	39	5	594	8,3	1,1	0,13	130 ± 72	1,2
7	hlinitá	41	4	502	9,0	2,1	ND	408 ± 102	1,9
8	jílovito-hlinitá ⁵	47	5	450	7,8	1,1	0,15	245 ± 169	2,2

Korelace mezi¹⁰ C_{mic} a C_{org}: $r = 0,91^{**}$ ($n = 8$)

C_{mic} a N_{tot}: $r = 0,59^{NS}$ ($n = 7$)

C_{mic}/C_{org} a N_{tot}: $r = 0,06^{NS}$ ($n = 7$)

C_{mic} a % jílů: $r = 0,11^{NS}$ ($n = 8$)

C_{org} a % jílů: $r = 0,01^{NS}$ ($n = 8$)

^{**} průkazná závislost¹¹ ($P = 0,01$)

^{NS} neprůkazná závislost¹² ($P = 0,05$)

¹locality, ²soil texture, ³sandy loam, ⁴loam, ⁵clay loam, ⁶rough clay, ⁷number of areas, ⁸precipitation, ⁹temperature, ¹⁰correlation between, ¹¹significant dependence, ¹²insignificant dependence

stavu. Pro tato stanovení je třeba půdu předinkubovat po dobu jednoho až dvou měsíců, aby se eliminoval vliv teploty a rozrušení vzorku. V našich sledováních byly kromě časných jarních hodnot C_{mic} srovnávány s průměrnou hodnotou C_{mic} i hodnoty C_{mic} získané v pozdním podzimu (tab. II). Mezi hodnotami z jarních i podzimních odběrů a průměrnou C_{mic} byla stanovena statisticky významná korelace a lze doporučit oba dva odběrové termíny, i když v některých případech hodnoty C_{mic} z jednorázového stanovení neodpovídají hodnotám průměrným. Tyto rozdíly je možné vysvětlit nepříznivými podmínkami prostředí v době odběru v některých letech. Výsledky byly získány v rámci sledování sezónních změn, kdy byla dodržována pravidelnost odběrů a nebyly uvažovány příznivé půdně klimatické podmínky pro odběr vzorků a kdy vzorky byly analyzovány bezprostředně po odběru bez předinkubace.

Mezi nejvýznamnější faktory, které ovlivňují C_{mic} patří obsah C_{org} a N_{tot} , kvalita organické hmoty, pH půdy a obsah jílů v půdě. C_{mic} je v půdě většinou limitován obsahem a dostupností uhlíku a dusíku, a proto je C_{mic} v 1 g půdy v úzké pozitivní korelaci s obsahem uhlíku (tab. III a IV) a dusíku (Wardle, 1992). Podle našich výsledků závislost na obsahu dusíku nebyla prokázána pravděpodobně proto, že sledování probíhala v intenzivně obhospodařovaných půdách hnojených dusíkem a C_{mic} tak obsahem a dostupností dusíku limitována nebyla.

Pozitivní vliv přídavku živin do půdy na C_{mic} se může projevit pouze v případě, je-li přidaná živina limitujícím faktorem. Proto v literatuře uváděný vliv hnojení dusíkem na C_{mic} je v některých případech pozitivní (např. Shen et al., 1989), v jiných však závislost nalezena nebyla (např. Carter, 1986). V našich výsledcích se C_{mic} dokonce snížila po aplikaci minerálního dusíku (tab. I, lokalita 6). Toto snížení může mimo jiné souviset s vysokou nitrifikací, neboť ionty NO_3^- mají výrazně negativní vliv na C_{mic} (Okano, 1990).

Vliv pH půdy na celkovou C_{mic} je méně významný než obsah uhlíku a dusíku, avšak je významným faktorem ovlivňujícím inkorporaci organických látek do C_{mic} (Wardle, 1992). V půdách s nízkým pH je do C_{mic} inkorporován nižší podíl organického uhlíku (rozšiřuje se poměr C_{mic}/C_{org}) než při vyšších hodnotách pH. V zemědělských půdách, kde se pH ve většině případů pohybuje mezi hodnotami 5 až 7, se vliv pH nemusí průkazně projevovat (tab. III).

Insam et al. (1989) a Insam (1990) definovali vztah mezi podílem C_{mic} na celkovém uhlíku (C_{mic}/C_{org}) a koeficientem ovhčnění půdy. V dalších pracích (Anderson, Domsch, 1989) byla vyslovena a částečně i ověřena hypotéza, že v půdách v ustáleném stavu je poměr C_{mic}/C_{org} , který je daný rostlinným pokryvem, způsobem obhospodařování a koeficientem ovhčnění, stálý, nezávislý na druhu půdy. Jakákoliv odchylka od této hodnoty pak indikuje porušení rovnovážného stavu a nárůst či úbytek uhlíku v půdě. Využití této teorie pro hodnocení zemědělských půd je v současnosti prakticky nemožné mj. i vzhledem k obtížnosti získat údaje z různých agroekosystémů v ustáleném stavu, tj. z půd, u kterých alespoň 10 až 20 let nebyl měněn nejen osevní postup, ale ani hnojení a agrotechnika.

Literatura

- ANDERSON, J. P. E. - DOMSCH, K. H.: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. and Biochem.*, 10, 1978, s. 215-221.
- ANDERSON, T. H. - DOMSCH, K. H.: Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. and Biochem.*, 21, 1989, s. 471-479.
- BLAGODATSKIJ, S. A. - BLAGODATSKAJA, E. V. - GORBENKO, A. J. - PANIKOV, N. S.: Rehydration technique for microbial biomass determination in soil. *Sov. Soil Sci.*, 19, 1987, s. 119-126.
- CARTER, M. R.: Microbial biomass and mineralizable nitrogen in solonchic soils: influence of gypsum and lime amendments. *Soil Biol. and Biochem.*, 18, 1986, s. 531-537.

- CHAUSSOD, R. - NICOLARDOT, B.: Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. I. Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Rev. Écol. Biol. Sol*, 23, 1982, s. 501-513.
- INSAM, H.: Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? *Soil Biol. and Biochem.*, 22, 1990, s. 252-232.
- INSAM, H. - PARKINSON, D. - DOMSCH, K. H.: Influence of macroclimate on soil microbial biomass. *Soil Biol. and Biochem.*, 21, 1989, s. 211-221.
- JENKINSON, D. S.: The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Phil. Trans. R. Soc. London B*, 329, 1990, s. 361-368.
- JENKINSON, D. S. - POWLSON, D. S.: The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. and Biochem.*, 8, 1976, s. 167-176.
- OKANO, S.: Availability of mineralized N from microbial biomass and organic matter after drying and heating of grassland soils. *Pl. and Soil*, 129, 1990, s. 219-225.
- RŮŽEK, L.: C-biomasy půdních mikroorganismů stanovený rehydratační metodou v omíchné vrstvě půdy. In: ŠANTRŮČKOVÁ, H. (ed.): *Metody stanovení mikrobiální biomasy v půdě*. Sbor. Ref. Semin. České Budějovice, ÚPB ČSAV, ČSZ VÚRV 1992, s. 18-24.
- SHEN, S. M. - HART, P. B. S. - POWLSON, D. S. - JENKINSON, D. S.: The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: ¹⁵N-labelled fertilizer residues in the soil microbial biomass. *Soil Biol. and Biochem.*, 21, 1989, s. 529-533.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H.: Mikrobiální biomasa a její aktivita v půdě. [Kandidátská disertace.] České Budějovice, 1988, 132 s. - ÚPB ČSAV.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H.: Metody stanovení mikrobiální biomasy v půdě. Sbor. Ref. Semin. České Budějovice, ÚPB ČSAV, ČSZ VÚRV 1992, 38 s.
- TUNLID, A. - WHITE, D. C.: Biochemical analysis of biomass, community structure, nutritional status and metabolic activity of microbial communities in soil. In: STOTZKY, G. - BOLLAG, J. M. (eds): *Soil Biochemistry*, 5, New York, Marcel Dekker 1992, č. 7, s. 229-262.
- VANCE, E. D. - BROOKES, P. C. - JENKINSON, D. S.: An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. and Biochem.*, 19, 1987, s. 703-707.
- WARDLE, D. A.: A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biol. Rev.*, 67, 1992, s. 321-358.

Došlo 21. 4. 1993

ŠANTRŮČKOVÁ, H. (Institute of Soil Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, České Budějovice):

Microbial biomass as a measure of soil biological activity.

Rostl. Výr., 39, 1993 (9): 779-788.

Microbial biomass (C_{mic}) as a labile component of soil organic matter with a short turnover time may be a sensitive indicator of changes in the content of soil organic carbon in soil. At present, the fumigation methods and the method of substrate induced respiration seem to be the most suitable. The objective of the present study was to show the variability of C_{mic} during vegetation season and to establish relation between C_{mic} and C_{org} in a set of agricultural soils from different climatic regions.

The range of C_{mic} fluctuation during vegetation season was expressed by the index maximum C_{mic} / minimum C_{mic} , which was ranging from 1.5 to 16.6 in dependence on the season and agricultural practices (Tab. I). C_{mic} established on these localities on early spring and late autumn sampling data were closely correlated to mean values of C_{mic} calculated from monthly samplings (Tab. II).

C_{mic} was also established in soil samples of one type (cambisol) taken in early spring in one climatic region but differing by agricultural practices. C_{mic} ranged from 122 to 560 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ in dependence on C_{org} content while no relation with N_{tot} was found (Tab. III). This could be connected with the fact that results were obtained in soils fertilized with nitrogen where C_{mic} was not limited by nitrogen availability. C_{mic}/C_{org} ratio in these soils were fluctuating from 0.69 to 2.38 independent on the factors under study (Tab. III).

C_{mic} determined in soils with different texture (sandy loam, loam and clay loam) and from various climatic regions was related to C_{org} (Tab. IV), though no dependence on the clay content and other investigated factors was found. A possible explanation is discussed.

Kontaktní adresa:

Ing. Hana Šantrůčková, CSc., Ústav půdní biologie AV ČR, Na sádkách 7,
370 05 České Budějovice

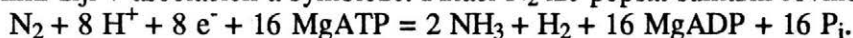
FIXACE MOLEKULÁRNÍHO DUSÍKU JAKO PARAMETR BIOLOGICKÉ AKTIVITY PŮDY

M. Šimek

Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice

Jsou shmuty možnosti měření fixace N_2 a nitrogenázové aktivity. Podrobněji je popsána metoda stanovení nitrogenázové acetylén-redukční aktivity včetně metodických postupů měření přirozené (NA) a potenciální (PNA) nitrogenázové aktivity. Jsou uvedeny výsledky měření nitrogenázové aktivity v půdách ovlivněných žížalami, v půdě jabloňových sadů s různou agrotechnikou a v půdě kontaminované arzémem a kadmíem. Přítomnost žížal v půdě zvýšila NA, ještě podstatně vyšší zvýšení NA bylo zjištěno v exkrementech žížal. V půdě jabloňového sadu aplikace herbicidů zcela potlačila NA a velmi výrazně snížila PNA. Kontaminace půdy kadmíem a zejména arzémem podstatně snížily PNA v půdě. Je diskutována možnost měření nitrogenázové aktivity v půdě jako kritéria toxicity a biologického stavu půdy.

Biologická fixace molekulárního dusíku je proces, kterým je atmosférický N_2 redukován, a tak zpřístupňován jako živina pro fixátory a případně i další organismy, jež s nimi žijí v asociacích a symbióze. Fixaci N_2 lze popsat sumární rovnicí



Reakce je katalyzována enzymem nitrogenázou, který je u všech známých fixátorů dosti podobný (Našinec, Škrdl, 1981; Škrdl, Našinec, 1982; Dilworth, Glenn, 1991). Mikroorganismy vybavené enzymem nitrogenázou patří k bakteriím (včetně aktinomycet) a sinicím. V přírodě jsou velmi rozšířené, což je dáno jejich značnou biochemickou, taxonomickou a ekologickou diverzitou. V půdě se nejčastěji vyskytují aerobní nebo mikroaerofilní bakterie rodů *Azotobacter*, *Azomonas*, *Beijerinckia*, *Azospirillum*, *Derrxia*, fakultativně anaerobní *Bacillus*, anaerobní *Clostridium*, *Desulfovibrio* a (zejména v povrchové vrstvě) sinice rodů *Nostoc*, *Anabaena* aj.

Biologická fixace N_2 je tedy na jedné straně proces vysoce specifický, vlastně pouze mikroorganismům vybaveným enzymem nitrogenázou, na druhé straně jde o proces velmi rozšířený a probíhající (i když různě intenzívně) snad v každé půdě. Je také dostatečně známá značná citlivost fixátorů N_2 k nejrozličnějším faktorům prostředí (např. Mareček, 1979). Z těchto důvodů je možné uvažovat o fixaci N_2 jako o jedné z mikrobiálních půdních charakteristik, přičemž právě určitá intenzita procesu nebo její změna mohou půdu charakterizovat či indikovat změnu tzv. stavu půdy.

Pro měření fixace N_2 byla vyvinuta řada metod a rozpracováno mnoho metodických postupů. Mezi nejdůležitější metody měření fixace N_2 patří metody založené na celkové bilanci dusíku (např. Weaver, 1986), metoda stanovení dusíkatých sloučenin v xylémové šťávě (např. Herdige et al., 1986), manometrické metody (např. Aeschbacher, 1983), metody využívající izotopy ^{15}N a ^{13}N - několik

principiálně odlišných metod (např. B e r g e r s e n , 1980; B o d d e y , 1987) a metody využívající alternativní substráty nitrogenázy. Mimořádný význam v metodologii fixace N_2 má redukce acetylénu nitrogenázou (měření acetylene reduction activity, acetylene reduction assay, ARA). Metodiky založené na této reakci dovolují zejména vyhledávání a relativní porovnávání nejrozličnějších N_2 -fixačních systémů (např. H a r d y et al., 1968; Š k r d l e t a et al., 1976; H a u c k , W e a v e r , 1986; B o d d e y , 1987 aj.). Měřené vzorky (např. půda) se inkubují v prostředí s acetylenem. Acetylen inhibuje redukci N_2 a etylen vzniklý enzymovou redukcí acetylénu se stanoví plynovou chromatografií.

Přirozená nesymbiotická nitrogenázová aktivita je v půdě většinou dosti nízká, přičemž limitujícím faktorem je často dostupný zdroj energie. Nitrogenáza může být také částečně inhibována vysokým pO_2 nebo (relativním) nadbytkem minerálního dusíku v prostředí. Metoda ARA je vysoce citlivá a dovoluje stanovit i velmi nízkou nitrogenázovou aktivitu. Přesto je někdy účelné podmínky pro nitrogenázovou redukci optimalizovat, a to 1) přidávkou lehce přístupného zdroje uhlíku, např. glukózy, 2) snížením pO_2 náhradou vzduchu za jinou plynou směs nebo inertní plyn nebo zvýšením vlhkosti vzorku, 3) předinkubací, která může zintenzívnit procesy využívající minerální formy dusíku, a tím snížit obsah N_{min} v půdě. Měřený parametr lze pak nazvat potenciální nitrogenázová aktivita.

Cílem předložené práce je zhodnotit měření nitrogenázové aktivity jako mikrobiální charakteristiky půdy, popsat vhodné metodické postupy a na příkladech ukázat možnosti použití tohoto parametru.

MATERIÁL A METODA

Pokus 1 - vliv žížal na fixaci N_2 v různých půdách

Tři různé druhy žížal, *Aporrectodea caliginosa*, *Lumbricus rubellus* a *Octolasion lacteum*, byly odděleně chovány ve třech různých hnědých půdách z okolí Českých Budějovic: v lesní půdě ($pH_{KCl} = 4,7$; $N_{tot} = 0,10\%$), v polní půdě ($pH_{KCl} = 6,8$; $N_{tot} = 0,20\%$) a v půdě z úhoru ($pH_{KCl} = 4,3$; $N_{tot} = 0,12\%$). Tři dospělí jedinci byli umístěni v nádobě s 500 g půdy a chováni při $15^\circ C$. Každý druhý den byly z povrchu půdy odstraňovány exkrementy žížal a uschovány ve vlhkém stavu při $4^\circ C$ pro pozdější analýzy. Po dvou týdnech byla měřena přirozená nitrogenázová aktivita v exkrementech, v půdách z chovných nádob a v kontrolních půdách inkubovaných bez žížal.

Pokus 2 - vliv herbicidů na fixaci N_2 v půdě jabloňového sadu

V jarním a podzimním termínu byly odebrány půdní vzorky ze dvou jabloňových sadů u Chelčic na Vodňansku: a) ze starého asi 25letého sadu celoplošně ošetřovaného nejméně 15 let herbicidy (hnědá půda; $pH_{H_2O} = 6,6$; $C_{org} = 1,59\%$; $N_{tot} = 0,24\%$), b) z nového asi pětiletého sadu, ve kterém byl v meziřadích pěstován travní porost s dominantní *Poa annua* L. a pásy pod stromy byly pomocí herbicidů udržovány bez rostlin (hnědá půda; $pH_{H_2O} = 6,1$; $C_{org} = 2,11\%$; $N_{tot} = 0,27\%$). Ve vzorcích půd byla ihned po odběru měřena přirozená a potenciální nitrogenázová aktivita.

Pokus 3 - vliv arzenu a kadmia na fixaci N_2 v polní půdě

Na pozemku u Nezamyslic na Sušicku (hnědozem; $pH_{H_2O} = 6,5$; $C_{org} = 2,2 \%$; $N_{tot} = 0,24 \%$) byl v dubnu 1992 založen modelový pokus s kontaminací půdy arzémem a kadmii. Kontrolní půdy obsahovaly $24,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ As a $0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ Cd a obsah těchto prvků byl modelově zvýšen 10x. V květnu a červnu 1992 byly odebrány půdní vzorky z vrstvy půdy 0 až 30 cm a byla měřena potenciální nitrogenázová aktivita.

Přirozená nitrogenázová aktivita (N o h r s t e d t, 1984; S k u j i n š et al., 1986; H e n d r i c k s o n, 1989; modifikace M. Šimek)

Přirozeně vlhká půda (jemnozem) se naváží do 100ml inkubačních lahví (ekvivalent 15 g suché půdy) a urovná se do tenké vrstvy. Láhve se uzavrou. Do jedné poloviny lahví (nejméně čtyři až pět opakování z každé pokusné varianty) se přidá 10 ml CO_2 opatrným, ale důkladným protřepáním se vzorek promíchá a tlak se pomocí injekční jehly vyrovná na atmosférický. Po 2 h se stejným způsobem přidá 10 ml acetylénu. Mezitím se do druhé poloviny lahví se vzorky přidá obdobně 10 ml acetylénu. Vzorky se inkubují při 20 až 25 °C nejlépe ve tmě. Paralelně se vzorky se inkubuje tzv. blank, tj. cca tři inkubační láhve bez půdních vzorků, do kterých se výše popsaným způsobem přidalo 10 ml acetylénu. Vzorky inkubační atmosféry k analýze se odebírají po 4, 24 a 48 h od přídatku acetylénu, po předchozím promíchání (protřepání) vzorku. Obvyklý objem vzorku plynů k analýze je 0,1 až 0,5 ml. Po skončení pokusu se láhve otevrou a doplní vodou, odměřením vody nebo vážením se tak zjistí objem inkubační atmosféry.

Vzorky inkubační atmosféry se analyzují plynovou chromatografií a stanoví se obsah etylénu (např. Š k r d l e t a et al., 1976). Vzorky půdy inkubované pouze s acetylenem slouží ke stanovení celkové produkce etylénu (CPE), která zahrnuje jak etylén vzniklý enzymovou redukcí acetylénu (nitrogenázová aktivita, NA), tak etylén uvolňovaný různými procesy v půdě (endogenní produkce etylénu, EPE). Vzorky inkubované s oxidem uhelnatým a s acetylenem slouží ke stanovení endogenní produkce etylénu, protože CO inhibuje nitrogenázovou redukcí acetylénu. CPE a EPE se korigují o množství etylénu v acetylénu (blank) a pro danou délku inkubace, např. $CPE_{20h} = CPE_{24h} - CPE_{4h}$ nebo při nízké NA: $CPE_{24h} = CPE_{48h} - CPE_{24h}$. Nitrogenázová aktivita se počítá podle vztahu: $NA_{20h} = CPE_{20h} - EPE_{20h}$ nebo $NA_{24h} = CPE_{24h} - EPE_{24h}$. Vyjadřuje se v množství vytvořeného etylénu na 1 g suché půdy za den.

Potenciální nitrogenázová aktivita

Po navážení půdních vzorků do inkubačních lahví se rovnoměrně na povrch půdy pipetou přidá několik ml roztoku s $0,075 \text{ g}$ glukózy ($0,5 \%$ z hmotnosti suché půdy) a doplní se destilovanou vodou na vlhkost půdy 100 % MVK. Blank se připraví tím způsobem, že se do prázdné láhve přidá roztok glukózy, voda a acetylen. Vzorky se inkubují 24 h a potenciální nitrogenázová aktivita (PNA) se pak počítá podle vztahu $PNA_{20h} = CPE_{20h} - EPE_{20h}$.

VÝSLEDKY

Vliv žízála na fixaci N₂ v půdě

Výsledky měření NA v exkrementech žízála, v půdách ovlivněných žízálami a v kontrolních půdách bez žízála jsou uvedeny v tab. I; část výsledků byla již publikována (Š i m e k et al., 1991). Z tab. I vyplývá, že i samotné půdy se lišily v přirozené NA. Přítomnost žízála v půdách zvýšila jejich přirozenou NA. Podstatně vyšší NA v porovnání s kontrolní půdou byla pak zjištěna v exkrementech žízála.

Vliv herbicidů na fixaci N₂ v půdě jabloňového sadu

Výsledky měření přirozené i potenciální NA jsou uvedeny v tab. II. Aplikace herbicidů v pásech pod stromy nového sadu zcela potlačila přirozenou NA. Potenciální NA činila jen 6, resp. 13 % potenciální NA v půdě v zatravněných meziřadích téhož sadu. V půdě starého sadu, kde se herbicidy pravidelně používaly nejméně 15 let, byla zjištěna také podstatně nižší přirozená i potenciální NA ve srovnání se zatravněným meziřadím nového sadu.

Vliv arzénu a kadmia na fixaci N₂ v polní půdě

Z výsledků měření potenciální NA v půdách modelového polního pokusu uvedených v tab. III je zřejmé, že jak zvýšená kontaminace půdy kadmii, tak zejména

I. Přirozená nitrogenázová aktivita ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) v exkrementech tří druhů žízála v půdách ovlivněných žízálami a v půdách kontrolních ($n = 4$); různá písmena indikují statisticky průkazný rozdíl v rámci určité půdy ($P = 0,05$, ANOVA, SNK-test) – Natural nitrogenase activity ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) in casts of three earthworm species, in soils inhabited by earthworms and in control soils ($n = 4$) in parentheses standard deviations; different letters within the frame of particular soil indicate significant difference ($P = 0,05$, ANOVA, SNK-test)

	Půda ⁴		
	lesní ⁵	polní ⁶	z úhoru ⁷
Exkrementy¹			
<i>A. caliginosa</i>	0,137 b	0,062 a	0,217 b
<i>L. rubellus</i>	0,135 b	0,176 b	0,206 b
<i>O. lacteum</i>	0,169 b	0,081 a	0,117 a
Půda ovlivněná²			
<i>A. caliginosa</i>	0,089 b	0,070 a	0,165 b
<i>L. rubellus</i>	0,111 b	0,099 b	0,150 a
<i>O. lacteum</i>	0,090 a	0,071 a	0,165 a
Půda kontrolní³	0,035 a	0,050 a	0,058 a

¹ casts of, ² soil inhibited by, ³ control soil, ⁴ soil, ⁵ woodlot, ⁶ field, ⁷ fallow

zvýšená kontaminace arzénem statisticky průkazně snížila potenciální NA, tj. negativně ovlivnila N_2 -fixační schopnost v půdě.

DISKUSE

Jak je zřejmé z uvedených příkladů, při stanovení nitrogenázové aktivity nemusí vždy nutně jít o výpočet velikosti fixace N_2 . V řadě případů je spíše účelné prokázat existenci či neexistenci fixace N_2 v daném prostředí, vzorku apod. Např. nulová přirozená NA a téměř zanedbatelná potenciální NA v půdě ošetřované herbicidy svědčí o vedlejších účincích aplikovaných herbicidů, které kromě potlačení plevelů zásadně ovlivnily (přínejmenším) některé půdní mikroorganismy - fixátory N_2 . Naopak zvýšení přirozené NA v půdě ovlivněné žížalami a v exkrementech žížal v porovnání s kontrolní půdou podává důkaz o specifické interakci mezi žížalami a fixátory N_2 . Nitrogenázová aktivita je jednou z možných charakteristik úrovně mikrobiálních aktivit v půdě, resp. určitou charakteristikou stavu půdy. Její změna přímo svědčí

II. Přirozená (NA) a potenciální (PNA) nitrogenázová aktivita ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) v půdách nového a starého jabloňového sadu ($n = 5$) – Natural (NA) and potential (PNA) nitrogenase activity ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) in new and old apple orchard soils ($n = 5$)

	V/1988				IX/1988			
	NA	%	PNA	%	NA	%	PNA	%
Nový sad ¹								
- zatravněno ²	0,015	100	323,0	100	0,012	100	196,2	100
- herbicidy ³	0	0	20,1	6	0	0	25,3	13
Starý sad ⁴	0,002	13	73,6	23	0,003	25	40,0	20

¹new orchard, ²grass sward, ³herbicides, ⁴old orchard

III. Potenciální nitrogenázová aktivita (PNA) v kontrolních půdách a v půdách kontaminovaných arzénem As a kadmíem Cd ($n = 4$); v závorkách směrodatné odchylky ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) – Potential nitrogenase activity (PNA) in control soils and in soils contaminated with arsenic As and cadmium Cd ($n = 4$); in parentheses standard deviations ($\text{nmol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)

	V/1992		VI/1992	
	PNA	%	PNA	%
Kontrola ¹	126,00 (21,50)	100	341,20 (74,44)	100
+ As	64,48 (9,57)	51	44,19 (10,64)	13
Kontrola	86,97 (20,82)	100	474,80 (70,19)	100
+ Cd	63,28 (7,09)	73	280,20 (36,02)	59

¹control

o změněných podmínkách pro fixátory N_2 , tj. pro jednu skupinu mikroorganismů zapojených do procesů přeměny dusíku v půdě. Tato specifická změna však může souviset s mnohem dalekosáhlejšími změnami v půdním mikrobiálním společenstvu a v půdních biotických i abiotických procesech.

Perspektivní se zdá být měření NA jako kritéria při hodnocení toxicity substrátu nebo kontaminace půdy. Skujinš et al. (1986) navrhli měření potenciální NA pro hodnocení kontaminace půd tzv. těžkými kovy. Tento parametr byl 10 až 20x citlivější na zatížení půdy mědí a chromem než ostatní testovaná kritéria, tj. potenciální nitrifikace, ureázová aktivita a produkce CO_2 . Brookes et al. (1986) zjistili silný inhibiční vliv reziduí těžkých kovů (Zn, Cu, Ni, Cd) v půdě na potenciální N_2 -fixační aktivitu půdních sinic. Měření NA půdních sinic jako kritéria toxicity využili v tzv. testech toxicity i další autoři (Dasilva et al., 1975; Bastian, Toetz, 1985). Vliv pesticidů na NA v půdě sledovali Aldag et al. (1985), na NA kultur azotobakterie Ferrer et al. (1986), na NA sinic např. Lundkvist (1970) a Wurtsbaugh, Apperson (1978). Obecněji se těmito testy toxicity a zejména zdroji možných chyb při jejich aplikaci zabývali Koenig, Toetz (1990).

V našem případě modelové zvýšení kontaminace půd arzénem a kadmii prokazatelně snížilo potenciální NA, ačkoliv další sledované půdní biologické charakteristiky nebyly ovlivněny (např. respirace půdy, mikrobiální biomasa, specifická respirační aktivita mikrobiální biomasy - H. Šantrůčková; počty bakterií, aktinomycetů a mikromycetů - V. Křišťálek; počet a biomasa půdních řas - A. Lukešová, ústní sdělení). Kromě měření přirozené NA je možné podmínky pro nitrogenázovou aktivitu optimalizovat a měřit tzv. potenciální NA. Optimalizace podmínek sice vylučuje možnost použít naměřené hodnoty k popisu reálné situace, na druhé straně však dovoluje odhlédnout od momentálního (a často se rychle a zásadně měnícího) stavu a charakterizovat půdu z hlediska dlouhodobějších trendů. Po získání dostatečného množství experimentálních dat, na jejichž základě bude možné definovat možnosti i omezující faktory metody, by se potenciální nitrogenázová aktivita mohla stát použitelným kritériem pro hodnocení toxicity půdy a snad i obecnější charakteristikou tzv. stavu půdy.

Literatura

- AE, N. - NISHI, H.: Rapid and simple method for measuring dinitrogen fixation by soybean root nodules. *Soil Biol. and Biochem.*, 15, 1983, s. 619-621.
- ALDAG, R. - MEYER, B. - WEGENER, K. E.: Einfluss von Herbiziden auf die N_2 -Fixierung und Atmungsaktivität von Mikroorganismen in Ackerböden. *Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkde*, 148, 1985, s. 379-388.
- BASTIAN, M. - TOETZ, D.: Effect of polyaromatic hydrocarbons on algal nitrogen fixation (acetylene reduction). *Bull. envir. Contam. Toxicol.*, 35, 1985, s. 258-265.
- BERGERSEN, F.J. (ed.): *Methods for evaluating biological nitrogen fixation*. Chichester - New York - Brisbane - Toronto, John Wiley and Sons 1980, 702 s.
- BODDEY, R. M.: *Methods for quantification of nitrogen fixation associated with gramineae*. *CRC Crit. Rev. Pl. Sci.*, 6, 1987, s. 209-266.

- BROOKES, P. C. - MC GRATH, S. P. - HEINEN, C.: Metal residues in soils previously treated with sewage-sludge and their effects on growth and nitrogen fixation by blue-green algae. *Soil Biol. and Biochem.*, 18, 1986, s. 345-353.
- DA SILVA, E. - HENRIKSSON, L. - HENRIKSSON, E.: Effect of pesticides on blue-green algae and nitrogen fixation. *Arch. envir. Contam. Tox.*, 3, 1975, s. 193-204.
- DILWORTH, M. J. - GLENN, A. R. (eds): *Biology and biochemistry of nitrogen fixation*. Amsterdam - New York - Oxford - Tokyo, Elsevier 1991, 438 s.
- FERRER, M. R. - GONZALES-LOPEZ, J. - RAMOS-CORMENZANA, A.: Effect of some herbicides on the biological activity of *Azotobacter vinelandii*. *Soil Biol. and Biochem.*, 18, 1986, s. 237-238.
- HARDY, R. W. F. - HOLSTEN, R. D. - JACKSON, E. K. - BURNS, R. C.: The acetylene-ethylene assay for N_2 fixation: Laboratory and field evaluation. *Pl. Physiol.*, 43, 1968, s. 1185-1207.
- HAUCK, R. D. - WEAVER, R. W. (eds): *Field measurement of dinitrogen fixation and denitrification*. Madison, SSSA Spec. Publ. 1986, č. 18, 115 s.
- HENDRICKSON, O. Q.: Implications of natural ethylene cycling processes for forest soil acetylene reduction assays. *Can. J. Microbiol.*, 35, 1989, s. 713-718.
- HERRIDGE, D. F. - O' CONNELL, P. - DONNELLY, K.: The xylem ureide assay of nitrogen fixation: sampling procedures and sources of error. *J. Exp. Bot.*, 39, 1986, s. 12-22.
- KOENIG, P. D. - TOETZ, D. W.: Evaluation of measurement errors in toxicity tests for nitrogen fixation. *Bull. envir. Contam. Toxicol.*, 45, 1990, s. 6-12.
- LUNDKVIST, I.: Effect of two herbicides on nitrogen fixation by blue-green algae. *Sven. bot. Tidskr.*, 64, 1970, s. 460-461.
- MAREČKOVÁ, H.: Vliv vnějších faktorů na biologickou fixaci dusíku a její využití v zemědělství. *Rostl. Výr.*, 25, 1979, s. 1175-1181.
- NAŠINEC, V. - ŠKRDLETA, V.: Biologická fixace molekulárního dusíku. I. *Biochemie. Biol. Listy*, 46, 1981, s. 286-299.
- NOHRSTEDT, H. O.: Carbon monoxide as an inhibitor of N_2 ase activity (C_2H_2) in control measurements of endogenous formation of ethylene by forest soils. *Soil Biol. and Biochem.*, 16, 1984, s. 19-22.
- SKUJINŠ, J. - NOHRSTEDT, H. O. - ODÉN, S.: Development of a sensitive biological method for the determination of a low-level toxic contamination in soils. I. Selection of nitrogenase activity. *Swed. J. agric. Res.*, 16, 1986, s. 113-118.
- ŠIMEK, M. - PIŽL, V. - CHALUPSKÝ, J.: The effect of some terrestrial oligochaeta on nitrogenase activity in the soil. *Pl. and Soil*, 137, 1991, s. 161-165.
- ŠKRDLETA, V. - NAŠINEC, V. - HAVLOVÁ, M.: Vztah mezi redukcí acetylenu a některými ukazateli symbiotické fixace dusíku u hrachu (*Pisum sativum* L.). *Rostl. Výr.*, 22, 1976, s. 881-888.
- ŠKRDLETA, V. - NAŠINEC, V.: Biologická fixace molekulárního dusíku. II. *Fyziologie. Biol. Listy*, 47, 1982, s. 81-95.
- TURNER, G. L. - GIBSON, A. M.: Measurement of nitrogen fixation by indirect means. In: BERGERSEN, F. J. (ed): *Methods for evaluating biological nitrogen fixation*. Chichester - New York - Brisbane - Toronto, John Wiley and Sons 1980, s. 111-138.
- WEAVER, R. W.: Measurement of biological dinitrogen fixation in the field. In: HAUCK, R. D. - WEAVER, R. W. (eds): *Field measurement of dinitrogen fixation and denitrification*. Madison, SSSA Spec. Publ. 1986, č. 18, s. 1-10.
- WURTSBAUGH, W. - APPERSON, C.: Effects of mosquito control insecticides on nitrogen fixation and growth of blue-green algae in natural plankton associations. *Bull. envir. Contam. Toxicol.*, 3, 1978, s. 193-204.

Došlo 21. 4. 1993

ŠIMEK, M. (Institute of Soil Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, České Budějovice):

Biological nitrogen fixation (nitrogenase activity) as a measure of soil biological activity.
Rostl. Vyr., 39, 1993 (9): 789-796.

Biological N_2 -fixation is a specific process carried out only by microorganisms equipped with an enzyme nitrogenase. On the other hand, this process is widely spread in natural habitats and it may be present in each soil, though with different intensity. N_2 -fixation varies in time and space in dependence on the sensitivity of N_2 -fixers to various environmental factors, for example, inorganic nitrogen content, organic carbon amount and availability, and pO_2 . Its sensitivity and common importance make the nitrogen fixation an important biological parameter of soil.

The present contribution reviews methods of the measurement of N_2 -fixation and nitrogenase activity. Quantification of nitrogenase acetylene reduction activity is described in detail, including measurement procedures of natural (NA) and potential (PNA) nitrogenase activity. The latter is measured after addition of glucose as easily available source of energy, and after pO_2 reduction induced by a high moisture. Data of nitrogenase activity in three soils inhabited by earthworms, in soils of apple orchards with different agricultural practices and in soils contaminated with arsenic and cadmium are presented, and usefulness of such measurements is discussed.

NA was found higher in all soils inhabited by earthworms as compared with controls without earthworms, the differences being statistically significant (Tab. I). A significantly higher NA was also found in earthworms casts. An application of herbicides in bands under the apple trees of a young orchard suppressed completely NA, while PNA amounted to solely 6 % or 13 % of that in soils of grassed interrows of the same orchard. In the soil of an old orchard, where herbicides have been used for 15 years, significantly lower NA and PNA in comparison with the grassed interrows in the young orchard were found (Tab. II). Increased soil contamination with cadmium and especially with arsenic significantly reduced PNA (Tab. III), i.e. affected negatively N_2 -fixation capability in soil.

From the above examples it is evident that nitrogenase activity may be employed as a measure of both positive (earthworms) and negative (herbicides, heavy metals) alterations in soil. For the purposes of toxicity tests or for more general characterization of soil status, mainly potential nitrogenase activity should be used. Optimization of assay conditions otherwise limits the possibility to use results in a description of the real status. On the other hand, it allows not only to consider the actual situation, which often quickly and principally changes, but also to characterize the soil in view of a long-time scale.

Kontaktní adresa:

Ing. Miloslav Š i m e k, CSc., Ústav půdní biologie AV ČR, Na sádkách 7,
370 05 České Budějovice

DENITRIFIKACE JAKO PARAMETR BIOLOGICKÉ AKTIVITY PŮDY

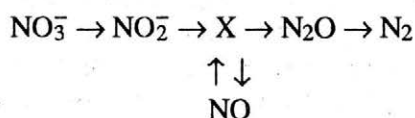
M. Šimek¹, M. Kromka²

¹Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice

²Univerzita Komenského, Přírodovědecká fakulta, Bratislava

Denitrifikační aktivita byla měřena metodou redukce přidaného N_2O a metodou inhibice redukce N_2O acetylenem. Denitrifikační aktivita v půdě sukcesních stadií sekundární sukcese se v průběhu roku velmi měnila, nejvyšší hodnoty byly změřeny na jaře. V půdním profilu černozemě na spraši byla maximální denitrifikační aktivita zjištěna v povrchové vrstvě 0 až 4 cm a poměrně rychle se snižovala s hloubkou. Jsou diskutovány různé metodické postupy měření denitrifikační aktivity při optimalizovaných podmínkách. Pro měření denitrifikace jako půdní mikrobiální charakteristiky je jako jedna z možných metod navržena metoda měření aktivity denitrifikačních enzymů.

Biologická denitrifikace je proces disimilativní redukce nitrátů (NO_3^-) nebo nitritů (NO_2^-), jehož výsledkem je tvorba plyných sloučenin dusíku, NO , N_2O a N_2 , doprovázená uvolněním energie (F i r e s t o n e et al., 1980). Denitrifikační redukční reakce probíhají zřejmě podle schématu (M c K e n n e y et al., 1982; K l e m e d t s s o n et al., 1990):



Lze proto pod pojem denitrifikace zahrnout nejen proces redukce nitrátů a nitritů na plyné sloučeniny dusíku, ale také redukcí více oxidovaných plyných forem dusíku na formy méně oxidované ($NO \rightarrow N_2O$, $N_2O \rightarrow N_2$) za podmínky, že se přitom uvolňuje energie.

Mikroorganismy vybavené denitrifikačními (respirativními) reduktázami tvoří taxonomicky velmi heterogenní skupinu bakterií i mikromycetů (K n o w l e s , 1981; B o l l a g , T u n g , 1972). Principiálně jsou to aerobové a preferují kyslík jako akceptor elektronů. Při jeho nedostatku však na rozdíl od jiných skupin mikroorganismů mohou využívat i oxidované formy dusíku.

V porovnání s jinými procesy přeměn dusíku (např. fixací N_2 nebo nitrifikací) je schopnost denitrifikace vlastností mezi půdními mikroorganismy velmi rozšířenou (T i e d j e et al., 1984) a pro denitrifikující organismy důležitou (T i e d j e et al., 1989). Z důležitosti pro početnou skupinu mikroorganismů lze odvodit značný význam denitrifikace pro půdu či ekosystém jako celek. Tato skutečnost opravňuje k závěru, že denitrifikační aktivita nebo jiná charakteristika denitrifikace je důležitým půdně mikrobiálním parametrem.

Pro měření denitrifikační aktivity byla postupně vyvinuta řada metod, které především zahrnují měření produktů denitrifikace, tj. N_2O a N_2 , a měření úbytku

substrátu, tj. NO_3^- nebo NO_2^- včetně metodických postupů využívajících izotopy ^{15}N a ^{13}N (např. M y r o l d , 1990). Za perspektivní je považována metoda měření přírůstku NO , pro kterou však dosud nejsou rozpracovány metodické postupy (P a y n e , 1991) a metoda měření úbytku přidaného N_2O (G a r c i a , 1974). Zdaleka největšího rozšíření (snad kromě některých metod s ^{15}N) však doznala metoda inhibice redukce N_2O acetylémem (F j o d o r o v a et al., 1973).

Metodické postupy měření denitrifikační aktivity metodou inhibice redukce N_2O acetylémem spočívají v inkubaci vzorků za přítomnosti acetylénu. Denitrifikace probíhá až k předposlednímu kroku, ale redukce N_2O na N_2 je inhibována. Jediným produktem denitrifikace je pak N_2O , který lze relativně snadno (v porovnání s N_2) stanovit. Mezi četné přednosti metody patří vysoká citlivost, jednoduchost, relativní levnost a flexibilita, která umožňuje nejrozličnější aplikace a měření různých typů vzorků, počínaje suchou homogenizovanou půdou ovlhčenou před měřením a konče měřením na stanovišti, za podmínek optimalizovaných pro denitrifikaci i za podmínek *in situ* v terénu (např. K n o w l e s , 1981; T i e d j e , 1982; T i e d j e et al., 1989; K n o w l e s , 1990). I tato metoda má různé nedostatky: acetylén ovlivňuje i jiné půdní procesy, např. nitrifikaci, pro úplnou inhibici redukce N_2O je zapotřebí poměrně vysoká koncentrace acetylénu v prostředí, což není vždy snadné zajistit, acetylén je metabolizován některými půdními mikroorganismy, pro jiné je toxický aj. (Ú l e h l o v á , 1987; T i e d j e et al., 1989).

Některé nedostatky zmíněné metody odstraňuje metoda měření redukce přidaného N_2O . Metoda je založena na předpokladu, že všichni nebo alespoň velká většina denitrifikátorů je vybavena N_2O -reduktázou a je tedy schopna redukovat N_2O na N_2 (G a r c i a , 1974). Do inkubační atmosféry měřeného vzorku se přidá známé množství N_2O a po určité době se měří jeho úbytek. K přednostem metody patří citlivost a přesnost stanovení. Nevýhodou lze spatřovat v nutnosti používat počáteční koncentraci N_2O v inkubační atmosféře vyšší, než se reálně vyskytuje u většiny denitrifikačních systémů (K n o w l e s , 1981), a také v tom, že zjištěné hodnoty redukce N_2O mají jen nepřímý vztah k redukci NO_3^- . Metodické postupy byly rozpracovány pro měření denitrifikace v půdě (G a r c i a , 1977; K r o m k a et al., 1991) i ve vodních sedimentech (M i l l e r et al., 1986).

Měření denitrifikační aktivity zahrnuje soubor metodických přístupů, které se na jedné straně snaží pracovat s co nejméně narušeným systémem, a tak změřit přirozenou denitrifikaci, a na druhé straně optimalizovat podmínky pro denitrifikaci a kvantifikovat schopnost půdy denitrifikovat. Optimalizace podmínek pro denitrifikaci při použití metody inhibice redukce N_2O acetylémem může spočívat ve vytvoření anaerobního prostředí a v zajištění dostatku substrátu (NO_3^-). Pro takový parametr se zdá vhodný název denitrifikační kapacita - denitrification capacity (Y e o m a n s et al., 1992). Optimalizace však může pokračovat doplněním lehce přístupného zdroje uhlíku, např. glukózy. Měřený parametr pak zřejmě odpovídá maximální schopnosti denitrifikace, čili denitrifikaci potenciální - denitrification potencial (Y e o m a n s et al., 1992). S m i t h , T i e d j e (1979) a T i e d j e (1982) rozpracovali metodický postup, který optimalizuje všechny tři nejdůležitější podmínky denitrifikace (anaerobióza, NO_3^- , uhlík). Metoda se také označuje DEA - denitrification enzyme activity (T i e d j e et al., 1989). Analogicky spočívá

částečná optimalizace podmínek pro denitrifikaci při použití metody měření úbytku přidaného N_2O v přidavku glukózy; nadbytek reakčního substrátu N_2O vyplývá ze samotné podstaty metody (K r o m k a , 1989).

Cílem této práce je popsat vhodné metodické postupy a uvést příklady stanovení denitrifikační aktivity jako mikrobiální půdní charakteristiky.

MATERIÁL A METODA

Experiment 1 - denitrifikační aktivita v půdách různých stadií sekundární sukcese

V dubnu, květnu a v září 1990 byly odebrány půdní vzorky (ve formě monolitů o průměru 28 mm a výšce 100 mm) z vrstvy půdy 0 až 100 mm ze tří sukcesních stadií na hnědé půdě u Chelčic na Vodňansku: a) na poli ($pH_{H_2O} = 5,8$; $N_{tot} = 0,13$; $C : N = 11,2$), b) na úhoru, který byl do roku 1985 obhospodařován stejně jako pole ($pH_{H_2O} = 6,0$; $N_{tot} = 0,12$; $C : N = 10,0$), c) na přibližně 15 let staré louce ($pH_{H_2O} = 5,3$; $N_{tot} = 0,24$; $C : N = 9,2$). Bezprostředně po odběru byly vzorky převezeny do laboratoře a u víceméně neporušených monolitů byla měřena denitrifikační aktivita metodou inhibice redukce N_2O acetylénem.

Experiment 2 - denitrifikační aktivita v půdních horizontech černoze na spraši

V červenci 1989 byly jednorázově odebrány půdní vzorky (ve formě směsných vzorků) z jednotlivých horizontů černoze na spraši pod porostem víceletých trav ve Strelkovské rezervaci u obce Melovce, Vorošilovská oblast, Ukrajina ($pH_{H_2O} = 6,6$; $C_{org} = 8,12\%$ v horizontu A_1). Vzorky byly uloženy při $4^\circ C$ a druhý den po odběru byla změřena denitrifikační aktivita dvěma metodami: metodou redukce přidaného N_2O (A) a metodou inhibice redukce N_2O acetylénem (B). Vzorky pro měření oběma metodami byly připraveny a inkubovány stejným způsobem (s jediným rozdílem, že ke vzorkům pro metodu B se místo 1,5 ml N_2O přidalo 10 ml acetylénu).

Denitrifikační aktivita - metoda inhibice redukce N_2O acetylénem (T i e d j e et al., 1989; Ú l e h l o v á , 1987)

Čerstvě odebrané půdní vzorky se ihned po převozu do laboratoře zvážejí a přenesou do 300ml inkubačních láhví (láhve na séra). Během transportu či při případném krátkodobém uschování se vzorky skladují při $4^\circ C$. Láhve se uzavřou a po předchozím odebrání 25 ml vzduchu se přes septum přidá 25 ml čistého acetylénu. Vzorky se inkubují při 20 až $25^\circ C$. Po stanovené době (např. po 2 a 6 h nebo po 2 a 24 h) se odeberou vzorky inkubační atmosféry k analýze na stanovení obsahu N_2O plynovou chromatografií (M o s i e r , M a c k , 1980; K l e m e d t s s o n et al., 1986; Ú l e h l o v á , 1987; T i e d j e et al., 1989). Zatopením vzorku v láhvi vodou nebo výpočtem se stanoví objem inkubační atmosféry. Vzorky plynů k analýze na plynovém chromatografu se analyzují buď ihned po odběru z inkubační láhve, nebo se skladují v předem evakuovaných zkumavkách se septy nebo vhodnými pryžovými zátkami, které neumožňují difúzi plynů. Proveďte se korekce na rozpuštěný N_2O (M o r a g h a n , B u r e s h , 1977; T i e d j e , 1982; M u n z a r o v á et al., 1983) a vypočítá se množství vzorkem uvolněného N_2O-N [ng. (g sušiny) $^{-1} \cdot d^{-1}$].

Půda (přírodně vlhká jemnozem, případně půda krátkodobě skladovaná při 4 °C) se naváží po 25 g do 100ml inkubačních láhví, přidá se 25 ml destilované vody a předinkubuje se 24 h při 28 °C. Poté se doplní 5 ml roztoku glukózy ($12,5 \text{ g.l}^{-1}$). Láhve se uzavřou a přes septum se přidá 1,5 ml N_2O . Pomocí injekční stříkačky se inkubační atmosféra promíchá. Vzorky se inkubují při 28 °C. Po 1 a 6 h se odeberou vzorky inkubační atmosféry, stanoví se obsah N_2O , zjistí se objem inkubační atmosféry a provede se korekce na rozpuštěný N_2O . Denitrifikační aktivita se vypočítá z rozdílů koncentrací N_2O po 1 a 6 h inkubace [$\mu\text{g } N_2O\text{-N} \cdot (\text{g sušiny})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$].

VÝSLEDKY

Denitrifikační aktivita v sukcesních stadiích sekundární sukcese

Výsledky měření denitrifikační aktivity v půdách ze tří stadií sekundární sukcese jsou uvedeny v tab. I. Je zřejmé, že se denitrifikační aktivita v průběhu roku velmi měnila, a to ve všech studovaných půdách. Relativně nejmenší změny denitrifikační aktivity byly zjištěny v luční půdě, relativně největší změny v půdě z úhoru. Celkově nejvyšší denitrifikační aktivitu vykazala půda z pole. Vzhledem ke značné variabilitě výsledků však byly rozdíly v porovnání s půdou z louky většinou statisticky neprůkazné. Denitrifikační aktivita v půdě z úhoru byla ve všech termínech měření průkazně nižší v porovnání s denitrifikační aktivitou v ostatních půdách.

Denitrifikační aktivita v půdních horizontech černozemě na spraši

Výsledky měření denitrifikační aktivity v jednotlivých půdních horizontech černozemě na spraši jsou uvedeny v tab. II. Maximální denitrifikační aktivita byla

I. Denitrifikační aktivita ve třech stadiích sekundární sukcese na hnědé půdě ($n = 8$); variační koeficienty v %; různá písmena indikují statisticky průkazný rozdíl mezi půdami v rámci určitého termínu odběru vzorků ($P = 0,05$, ANOVA, SNK-test) – Denitrification activity in three successive stages of a secondary succession on entric cambisol ($n = 8$); coefficients of variation in %; different letters within the frame of particular term indicate significant difference between soils ($P = 0.05$, ANOVA, SNK-test)

Půda ¹	Denitrifikační aktivita ⁵ ($\text{ng } N_2O\text{-N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)					
	IV/1990		VI/1990		IX/1990	
Pole ²	5,13 a	19 %	0,91 a	75 %	1,07 a	29 %
Úhor ³	0,73 b	84 %	0,05 b	60 %	0,11 b	27 %
Louka ⁴	3,80 a	49 %	1,11 a	36 %	2,23 c	11 %

¹ soil, ² field, ³ fallow, ⁴ meadow, ⁵ denitrification activity

II. Denitrifikační aktivita v půdních horizontech černoze na spraši ($n = 5$); variační koeficienty v %; různá písmena indikují statisticky průkazný rozdíl mezi metodami v rámci určitého půdního horizontu ($P = 0,05$, konfidenční intervaly průměrů) – Denitrification activity in the layers of mollisol ($n = 5$); coefficients of variation in %; different letters within the frame of particular soil layer indicate significant difference between methods ($P = 0.05$, confidence limits of means)

Horizont ¹	Hloubka ² (cm)	Denitrifikační aktivita ³ ($\mu\text{g N}_2\text{O-N.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$)			
		A. metoda redukce přidaného N_2O ⁴		B. metoda inhibice redukce N_2O acetylenem ⁵	
A ₀	0 - 4	1,48 a	13 %	1,04 a	19 %
A ₁	10 - 20	0,98 a	20 %	0,92 a	23 %
A ₁	30 - 40	0,88 a	17 %	0,80 a	15 %
AC	70 - 80	0,62 a	15 %	0,51 a	4 %
C	85 - 95	0,47 a	13 %	0,31 b	10 %

¹layer, ²depth, ³denitrification activity, ⁴method of reduction of added N_2O , ⁵method of acetylene inhibition of N_2O -reduction

zjištěna v povrchové vrstvě půdy 0 až 4 cm horizontu A₀ a poměrně rychle se snižovala s hloubkou odběru vzorků. Z tab. II je také zřejmé, že metoda inhibice redukce N_2O acetylenem poskytla vesměs nižší hodnoty než metoda redukce přidaného N_2O . Rozdíly však byly většinou statisticky neprůkazné.

DISKUSE

Z výsledků měření denitrifikační aktivity u půdních monolitů metodou acetylenové inhibice redukce N_2O v půdách sukcesních stadií (tab. I) vyplývá značná proměnlivost tohoto parametru v průběhu roku s maximálními hodnotami v jarním období, a to ve všech půdách. Tyto výsledky jsou vcelku v souladu s literárními údaji (např. M o s i e r et al., 1986; S v e n s s o n et al., 1991). Z údajů v tab. I je také zřejmá velká variabilita výsledků; variační koeficient dosahuje při osmi opakováních až 84 %. Zdá se, že parametr denitrifikační aktivity, změřený popsáním metodickým postupem u vzorků typu půdních monolitů, je použitelný pro okamžité porovnání např. různých pokusných variant. Představuje totiž jistou aktuální půdní charakteristiku podléhající (zřejmě) vlivu nejrozličnějších faktorů prostředí, jako jsou teplota, vlhkost, míra provzdušnění atd. Z toho pak vyplývá časová proměnlivost denitrifikace doprovázená i značnou prostorovou heterogenitou.

Řešením, které obchází tyto nevýhody, je měření denitrifikační aktivity za optimalizovaných podmínek s homogenizovanými směsnými půdními vzorky. Vhodnou metodou může být metoda redukce přidaného N_2O za částečně optimalizovaných podmínek. Výsledky měření denitrifikační aktivity touto metodou (A) uvádí tab. II, zároveň jsou uvedeny výsledky měření denitrifikační aktivity metodou inhibice redukce N_2O acetylenem (B) u stejně připravených a inkubovaných vzorků. Zřejmá je podstatně nižší variabilita výsledků v porovnání s variabilitou denitrifikační aktivity půdních monolitů (tab. I). Zde variační koeficienty dosahují nejvýše 20 % (A) nebo 23 % (B).

Snižující se denitrifikační aktivita s rostoucí hloubkou odběru vzorků potvrzuje předpoklad, že hlavním limitujícím faktorem denitrifikace v přirozených podmínkách nemusí být koncentrace nitrátů, která se v daném případě půdy s proměnným vodním režimem zvyšuje s hloubkou, ani parciální tlak kyslíku, ale především dostupnost energetického substrátu. Z tohoto hlediska můžeme denitrifikační aktivitu považovat za určitou charakteristiku aktivního půdního společenstva a zároveň za funkci dostupnosti energetického substrátu (např. kořenových exsudátů). Potom je pravděpodobné, že podobně, jako je tomu u asociativní fixace N_2 (U m a r o v , 1986), vysoká denitrifikační aktivita svědčí o potenciálně vysoké úrovni i jiných mikrobiálních procesů v půdě. Při měření denitrifikační aktivity za optimalizovaných podmínek je změřená hodnota odrazem příhodnosti nebo nepříhodnosti podmínek pro denitrifikátory a denitrifikaci na daném stanovišti v období před odběrem vzorku. Vhodnou metodou kvantifikace denitrifikace by mohlo také být měření aktivity denitrifikačních enzymů - metoda DEA (T i e d j e et al., 1989). Tuto metodu a zejména výpovědní hodnotu a možnosti interpretace výsledků je však ještě třeba testovat.

Denitrifikace je mezi prokaryoty velice rozšířená a geny pro denitrifikaci jsou v půdě mnohem čtenější než geny pro fixaci N_2 , nitrifikaci či dokonce rozklad celulózy (T i e d j e , 1988). Podle četnosti příslušných genů je denitrifikace v pořadí biogeochemických procesů v půdě druhá za respirací. Denitrifikační reduktázy, tj. enzymy provádějící denitrifikační reakce, jsou velmi konzervativní a velmi podobné u nejrozličnějších denitrifikátorů. Tak tomu bývá u enzymů, a tím u procesů pro buňku velmi důležitých. Z toho lze vyvodit, že proces důležitý pro početnou skupinu mikroorganismů je významný i z hlediska ekosystému (T i e d j e et al., 1989) a že charakteristiky denitrifikace jsou důležitým půdně mikrobiálním parametrem.

Literatura

- BOLLAGE, J. M. - TUNG, G.: Nitrous oxide release by soil fungi. *Soil Biol. and Biochem.*, 4, 1972, s. 271-276.
- FIRESTONE, M. K. - FIRESTONE, R. B. - TIEDJE, J. M.: Nitrous oxide from soil denitrification: factors controlling its biological production. *Science*, 208, 1980, s. 749-751.
- FJODOROVA, R. I. - MILECHINA, E. I. - ILJUCHINA, N. I.: Ocenka metodov „gazovogo metabolizma“ dlja obnaruženija vnezemnej žizni. Identifikacija azotfiksirujuščich mikroorganizmov. *Izv. AN SSSR, Ser. biol.*, 6, 1973, s. 797-806.
- GARCIA, J. L.: Réduction de l'oxyde nitreux dans les sols de rizières du Sénégal: mesure de l'activité dénitrifiante. *Soil Biol. and Biochem.*, 6, 1974, s. 79-84.
- GARCIA, J. L.: Evaluation de la dénitrification par la mesure de l'activité oxyde nitreux réductase. *Étud. complément. Cah. ORSTOM, ser. Biol.*, 12, 1977, s. 89-95.
- KLEMEDTSSON, L. - SIMKINS, S. - SVENSSON, B. H.: Tandem thermal conductivity and electron-capture detectors and non-linear calibration curves in quantitative N_2O analysis. *J. Chromatogr.*, 361, 1986, s. 107-116.
- KLEMEDTSSON, L. - HANSSON, G. - MOSIER, A.: The use of acetylene for the quantification of N_2 and N_2O production from biological processes in soil. In: REVSBECH, N. P. - SORENSEN, J. (eds): Denitrification in soil and sediment. New York, Plenum Press 1990, s. 167-180.
- KNOWLES, R.: Denitrification. In: PAUL, E. A. - LADD, J. N. (eds): Soil biochemistry. New York, Marcel Dekker Inc. Vol. 5, 1981, s. 323-369.

- KNOWLES, R.: Acetylene inhibition technique development, advantages, and potential problems. In: REVSBECH, N. P. - SORENSEN, J. (eds): Denitrification in soil and sediment. New York, Plenum Press 1990, s. 151-166.
- KROMKA, M.: Ekologičeskije osobennosti denitrifikacii v počvach. [Kandidátská disertace.] Moskva, 1989, 94 s. - Mosk. st. Univ.
- KROMKA, M. - STEPANOV, A. L. - UMAROV, M. M.: Vosstanovlenije zakisi azota mikrobnjoj biomassoju v počvach. Počvovedenije, 8, 1991, s. 121-126.
- MC KEENEY, D. J. - SHUTTLEWORTH, K. F. - VRIESACKER, J. R. - FINDLAY, W. I.: Production and loss of nitric oxide from denitrification in anaerobic Brookston clay. Appl. envir. Microbiol., 43, 1982, s. 534-541.
- MILLER, L. G. - OREMLAND, R. S. - PAULSEN, S.: Measurement of nitrous oxide reductase activity in aquatic sediments. Appl. envir. Microbiol., 51, 1986, s. 18-24.
- MORAGHAN, J. T. - BURESH, R.: Correction for dissolved nitrous oxide in nitrogen studies. Soil Sci. Soc. Amer. J., 41, 1977, s. 1201-1202.
- MOSIER, A. R. - MACK, L.: Gas chromatographic system for precise, rapid analysis of nitrous oxide. Soil Sci. Soc. Amer. J., 44, 1980, s. 1121-1123.
- MOSIER, A. R. - GUENZI, W. D. - SCHWEIZER, E. E.: Soil losses of dinitrogen and nitrous oxide from irrigated crops in northeastern Colorado. Soil Sci. Soc. Amer. J., 50, 1986, s. 344-348.
- MUNZAROVÁ, M. - TESAŘÍK, K. - ÚLEHLOVÁ, B.: Vliv vlhkosti na velikosti ztrát dusíku denitrifikací z luční půdy. Rostl. Výr., 29, 1983, s. 679-689.
- MYROLD, D. D.: Measuring denitrification in soils using ^{15}N techniques. In: REVSBECH, N. P. - SORENSEN, J. (eds): Denitrification in soil and sediment. New York, Plenum Press 1990, s. 181-198.
- PAYNE, W. J.: A review of methods for field measurements of denitrification. For. Ecol. Mgmt., 44, 1991, s. 5-14.
- SMITH, M. S. - TIEDJE, J. M.: Phases of denitrification following oxygen depletion in soil. Soil Biol. and Biochem., 11, 1979, s. 261-267.
- SVENSSON, B. H. - KLEMEDTSSON, L. - SIMKINS, S. - PAUSTIAN, K. - ROSSWALL, T.: Soil denitrification in three cropping systems characterized by differences in nitrogen and carbon supply. Pl. and Soil, 138, 1991, s. 257-271.
- TIEDJE, J. M.: Denitrification. In: PAGE, A. L. - MILLER, R. H. - KEENEY, D. R. (eds): Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. No 9 (2nd ed.), Madison, ASA - SSSA 1982, s. 1011-1026.
- TIEDJE, J. M.: Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In: ZEHNDER, A. J. B. (ed.): Biology of anaerobic microorganisms. New York, John Wiley and Sons 1988, s. 179-244.
- TIEDJE, J. M. - SEXSTONE, A. J. - PARKIN, T. B. - REVSBECH, N. P. - SHELTON, D. R.: Anaerobic processes in soil. Pl. and Soil, 76, 1984, s. 197-212.
- TIEDJE, J. M. - SIMKINS, S. - GROFFMAN, P. M.: Perspectives on measurement of denitrification in the field including recommended protocols for acetylene based methods. In: CLARHOLM, M. - BERGSTROM, L. (eds): Ecology of arable land. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Acad. Publ. 1989, s. 217-240.
- ÚLEHLOVÁ, B.: Stanovení denitrifikace půdy metodou acetylenové inhibice redukce N_2O na N_2 . In: RYCHNOVSKÁ, M. (ed.): Metody studia travinných ekosystémů. Praha, Academia 1987, s. 242-245.
- UMAROV, M. M.: Asociativnaja azotifikacija. Moskva, Izd. Mosk. Univ. 1986, 133 s.
- YEOMANS, J. C. - BREMNER, J. M. - MC CARTY, G. W.: Denitrification capacity and denitrification potential of subsurface soils. Commun. Soil Sci. Pl. Anal., 23, 1992, s. 919-927.

Došlo 21. 4. 1993

ŠIMEK, M. - KROMKA, M. (Institute of Soil Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, České Budějovice; Comenius University, Faculty of Natural Sciences, Bratislava):

Denitrification as a measure of soil biological activity.

Rostl. Výr., 39, 1993 (9): 797-804.

Biological denitrification is the microbial dissimilative reduction of nitrates or nitrites to produce gaseous nitrous oxide and elemental nitrogen. As reported by some authors (T i e d j e et al., 1984), the ability to denitrify is a property very much spread among soil microorganisms. For this reason and for the general importance of denitrification in the soil nitrogen cycle, denitrification activity (or any other characteristics of denitrification) can be considered as an important soil biological parameter.

The present contribution summarizes the principles of the determination of denitrification. Two methods of measuring denitrification activity are described in detail: the method of inhibition of N_2O reduction by acetylene (acetylene inhibition method) and the method of reduction of added N_2O . Results of denitrification measurement by the acetylene inhibition method in soil cores, taken from three stages of a secondary succession on entric cambisol, are presented. It follows from the results given in Tab. I, that there is a marked seasonal variability of denitrification activity - the highest values were recorded in spring. A high general variability of the results, expressed by variation coefficients, is also evident. This denitrification activity represents a certain actual soil parameter which is strongly influenced by environmental factors and characterized by considerably high space heterogeneity.

Furthermore, results of denitrification activity measurement in soil layers of mollisol in samples in the form of sieved and homogenized soil, incubated under partly optimized conditions (preincubation, glucose addition), are presented. Denitrification was measured simultaneously using two different techniques: acetylene inhibition method and method of the reduction of N_2O added. Both methods gave similar results (Tab. II). The highest denitrification activity was found in the surface layer 0 to 4 cm, and it decreased with the depth. A significantly lower variability of the results is apparent in comparison with the results presented in Tab. I.

Data on the denitrification activity measured under optimum conditions reflect the suitability or unsuitability of various environmental and soil conditions for denitrifiers and denitrification on the site prior to sampling. It was concluded that the measurement of denitrification enzyme activity - the DEA method (T i e d j e et al., 1989) should be a suitable method for quantification of denitrification as a microbial soil parameter. Using this method all three most important conditions of denitrification are optimized: pO_2 , nitrate and carbon. This possibility is to be verified.

Kontakní adresa:

Ing. Miloslav Š i m e k, CSc., Ústav půdní biologie AV ČR, Na sádkách 7,
370 05 České Budějovice

VLIV RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ HNOJENÍ DUSÍKEM NA NITRIFIKAČNÍ SCHOPNOST PŮDY

P. Růžek

Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně

V letech 1988 až 1992 byly z polního výživářského pokusu s ozimou pšenicí, založeného na třech stanovištích, odebrány v různých fázích vývoje rostlin vzorky půd na stanovení obsahu nitrátového a amonného dusíku v půdě a její nitrifikační schopnosti. Nitrifikační schopnost v půdní vrstvě 0 až 0,3 m byla zjišťována metodou týdenní aerobní inkubace 30 g zeminy ovlhčené na 60 % MVK při 28 °C a byla vyjádřena v mg N/kg/den sušiny jemnozemě. Hodnoty nitrifikační schopnosti půdy se u nehnojených variant během čtyřletého období pohybovaly od 0,3 do 1,9 mg N/kg/den. Hnojení kapalným dusíkatým hnojivem DAM 390 zvýšilo obsah anorganického dusíku i nitrifikační schopnost v půdě. Použití inhibitorů nitrifikace N-Serve a Didin při společné aplikaci s DAM 390 před setím ozimé pšenice nejvíce omezilo tvorbu nitrátů v lehké hlinitopísčité půdě v Pernolci. Působení inhibitorů nitrifikace v podzimním období se nepřímo projevilo na všech stanovištích a ve většině sledovaných ročníků zvýšením obsahu amonného dusíku a zvýšením nitrifikační schopnosti půdy v jarním období, a tím i zlepšením výživného stavu rostlin během jarní vegetace.

Při nitrifikačním procesu v půdě dochází k oxidaci NH_4^+ na NO_3^- , který je jednak nejdůležitějším zdrojem dusíku ve výživě rostlin, ale zároveň i nejčastějším zdrojem jeho ztrát z půdy. Proto jsou údaje o tvorbě a akumulaci nitrátů v půdě důležitou informací pro optimalizaci různých způsobů hospodaření na půdě.

Při hodnocení aktivity nitrifikačních procesů v půdě se používají různé metody: zjišťování počtu nitrifikátorů v půdě (zejména *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*), měření tvorby NO_3^- , popř. úbytku NH_4^+ v půdě, stanovení enzymů ovlivňujících nitrifikační a nitratační procesy v půdě. Mezi nejrozšířenější z nich patří zjišťování tvorby nitrátů v přirozených polních podmínkách nebo při aerobní inkubaci homogenizovaných, popř. neporušených vzorků půd za podmínek optimálních pro průběh nitrifikace. D a v i d s o n et al. (1991) doporučují pro sledování rychlosti mineralizace dusíku a nitrifikace v povrchových vrstvách půdy použití metody izotopického ředění dusíku. Do neporušené půdy byly pomocí injekce zapravovány roztoky se značeným $^{15}\text{NH}_4^+$ nebo $^{15}\text{NO}_3^-$. Velikost mineralizace v průběhu 24 h inkubace je vypočítána ze snížení obohacení ^{15}N v NH_4^+ a velikost nitrifikace z poklesu obohacení ^{15}N v NO_3^- . L e e, M y r o l d (1990) a H ü b n e r et al. (1991) použili při zjišťování tvorby nitrátového dusíku v polních podmínkách anionto-výměnnou pryskyřici, umístěnou ve speciálně upravených nylonových sáčcích ve vrchní vrstvě půdy. B i e l e k (1982) sledoval intenzitu akumulace NO_3^- a NH_4^+ v monolitech různých půd, umístěných v přirozených polních podmínkách. Ze získaných výsledků vyplývá, že na

každém půdně ekologickém stanovišti se za vegetační období vytvoří určité množství nitrátového dusíku, vyplývající ze specifiky ročníku a způsobu hospodaření. Současná metodická úroveň však neumožňuje v této souvislosti získat přesné údaje.

Vzhledem ke složitosti získávání údajů o intenzitě nitrifikace v přirozených půdních podmínkách zaznamenaly podstatně větší rozšíření metody aerobní inkubace odebraných vzorků půd, které zachycují bazální a potenciální nitrifikační schopnost půdy zjištěnou při optimálních podmínkách pro nitrifikaci. B r e m n e r (1965) uvádí, že aerobní inkubační metody nejlépe korelují s odběrem dusíku rostlinami a s biologickými procesy v půdě, což potvrzuje řada dalších autorů (např. S t a n f o r d, S m i t h, 1972; N u s k e, R i c h t e r, 1981; B e a u c h a m p et al., 1986; Z a k et al., 1989). Údaje o množství NO_3^- , vytvořeného za standardizovaných inkubačních podmínek s ohledem na čas, teplotu a vlhkost inkubované zeminy, mohou poskytnout důležité informace o nitrifikačním i mineralizačním potenciálu půdy, potřebné pro prognózu potřeby dusíkatých hnojiv a pro sestavování matematických modelů určených k simulaci přeměn a pohybu dusíku v půdách (S c h m i d t, 1982; K l í r et al., 1987).

Průkaznou korelaci mezi potenciální nitrifikační aktivitou hnědozemní půdy a výnosem ozimé pšenice a cukrovky zjistil A p f e l t h a l e r (1984). S c h m i d t (1982) uvádí, že u většiny půd, u kterých není nárůst biomasy mikroorganismů limitován dusíkem, probíhá oxidace NH_4^+ na NO_3^- tak rychle, jak rychle je mineralizován amonný dusík. Protože nitrifikační proces přímo návazuje na mineralizaci dusíku v půdě a oba procesy jsou spolu těsně spjaty, poskytují údaje u nitrifikační schopnosti zároveň i orientační informaci o mineralizační schopnosti půdy. Přitom v prvních sedmi dnech aerobní inkubace se většinou uvolňuje dusík z lehce hydrolyzovatelných vazeb organických látek v půdě (B e a u c h a m p et al., 1986). Při inkubaci na vzduchu vysušených vzorků půd dochází po jejich ovlhčení k vyšší mineralizaci dusíku během prvních sedmi až 14 dnů, a proto by se měly při krátkodobých inkubacích používat čerstvé vzorky půd nebo půdní vzorky uchovávané při teplotě 1 až 3 °C, popř. ve zmrzlém stavu (S t o r r i e r, 1966; R o s s et al., 1979; A d d i s c o t t, 1983).

Při zjišťování bazální nitrifikační schopnosti půdy jsou homogenizované vzorky půd aerobně inkubovány zpravidla jeden až čtyři týdny při teplotě 20 až 30 °C a vlhkosti 50 až 70 % plné vodní kapacity. Potenciální nitrifikační schopnost půdy se určuje za stejných hydrotermických podmínek po přidání zdroje dusíku většinou ve formě síranu amonného.

Na nitrifikační schopnost půdy má kromě teploty, pH, vodního a vzdušného režimu půdy a obsahu NH_4^+ v půdě značný vliv i typ pěstované rostliny spolu s prováděnými agrotechnickými opatřeními, které se významně podílejí na vytváření biologických a fyzikálně chemických vlastností půdy. Mezi agrotechnické faktory, které přímo ovlivňují intenzitu nitrifikačních procesů v půdě, patří hnojení průmyslovými hnojivy, a to zejména dusíkatými. V polních i v modelových pokusech byl většinou prokázán stimulační vliv aplikovaných dusíkatých hnojiv na aktivitu nitrifikační mikrobioty v půdě (např. S c h m i d t, 1982; A p f e l t h a l e r,

1984; Baškin, 1987). Cílem agrotechnických opatření i celkového hospodaření na půdě by mělo být omezování akumulace nitrátů v půdě, a to zejména v mimo-vegetačním období, neboť vzhledem k velké pohyblivosti nitrátového iontu v půdním profilu a jeho oxidačním vlastnostem se stává často zdrojem ztrát dusíku z půdy.

MATERIÁL A METODA

V letech 1988 až 1992 byly z polního výživářského pokusu s ozimou pšenicí, založeného na třech stanovištích, odebrány půdní vzorky na stanovení obsahu nitrátového a amonného dusíku v půdě a její nitrifikační schopnosti.

Charakteristika stanovišť

	Ruzyně	Hněvčeves	Pernolec
Výrobní typ	řepařský	řepařský	bramborářský
Půdní druh	hlinitá	hlinitá	hlinitopísčitá
Půdní typ	hnědozem na spraši	hnědozem illimerizovaná	hnědá půda
Nadmořská výška (m)	340	265	530
Dlouhodobý průměr ročních			
– srážek (mm)	450	594	624
– teplot (°C)	7,8	8,3	7,3

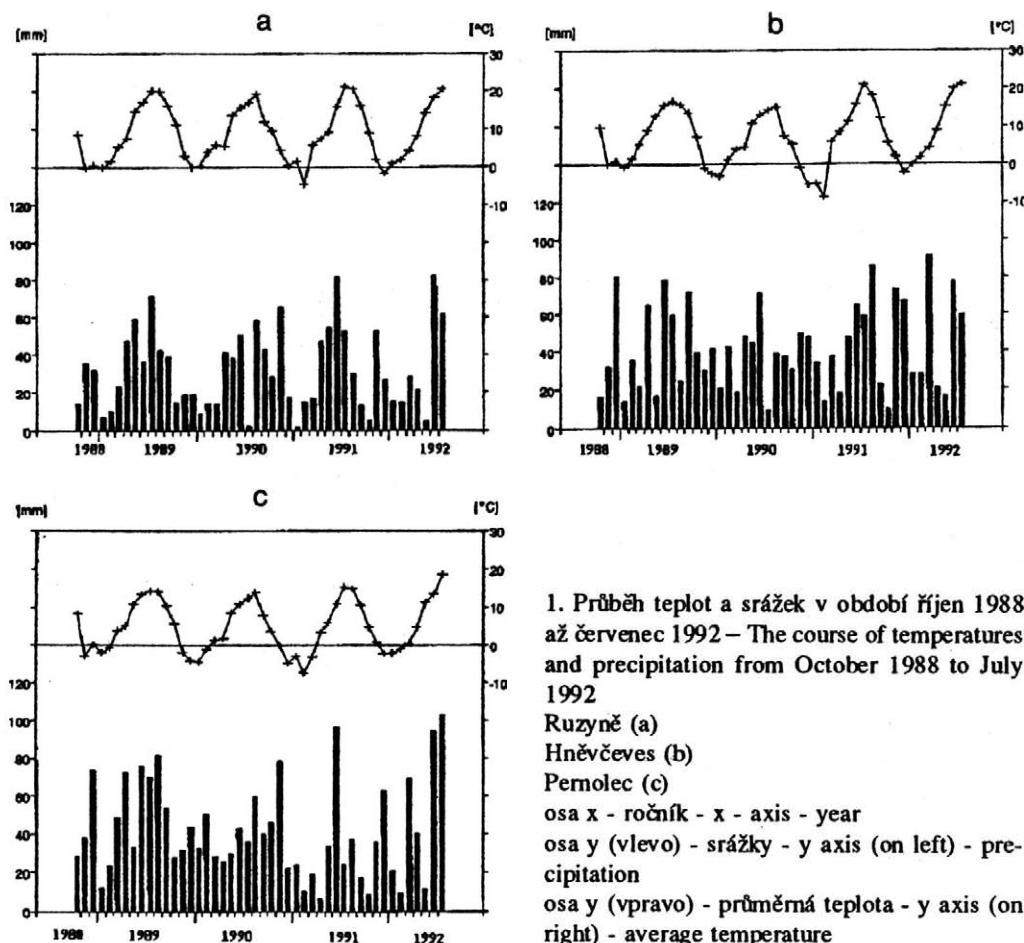
Průběh teplot a srážek ve sledovaném období na uvedených stanovištích je znázorněn na obr. 1. Charakteristiku půdních podmínek stanoviště doplňují údaje z rozborů půd odebraných z půdní vrstvy 0 až 0,3 m na podzim před založením pokusu (tab. I a II).

Ozimá pšenice (odrůda Regina) následovala v osevním postupu po jarním ječmeni a byla hnojena různými dávkami dusíkatých hnojiv (tab. III). V různých fázích vývoje a růstu rostlin byly odebrány z jednotlivých variant pokusu vzorky půd na stanovení obsahu NO_3^- , NH_4^+ a nitrifikační schopnosti v půdní vrstvě 0 až 0,3 m.

Odběry půdních vzorků:

- 1 – základní odběr, před setím a hnojením ozimé pšenice (20. 9. až 10. 10.)
- 2 – před zámrzem půdy (10. 11. až 30. 11.)
- 3 – počátek jarní vegetace, před hnojením dusíkem (březen)
- 4 – konec odnožování: f 29 (duben)
- 5 – konec sloupkování: f 37 (květen)

Při odběru č. 1 byl průměrný vzorek získán homogenizací zeminy z minimálně 16 dílčích odběrů rovnoměrně rozmístěných po celé ploše pokusného pozemku.



U dalších odběrů byly z každé parcely pokusu (jedna varianta = čtyři parcely) odebrány tři až čtyři vzorky půdy. Bezprostředně po odběru byla odebraná zemina uložena v těsně uzavřeném polyetylenovém sáčku do chladicí kabely, ve které byla přepravena do chladicího boxu a při teplotě $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) uchována do druhého dne. Před vlastním rozbořem byla zemina homogenizována na sítu o průměru otvorů 2 mm. U takto získané jemnozemi byla gravimetricky zjištěna vlhkost po vysušení při teplotě $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3 h, navážka 20 g) a obsah NO_3^- iontově selektivní elektrodou CRYTUR a výměnného NH_4^+ (amoniakovou elektrodou RADELKIS) v extraktu zeminy (50 g navážky) 1% roztokem K_2SO_4 v poměru 1 : 5.

Získané hodnoty byly vyjádřeny v mg N/kg sušiny jemnozemi. Nitrifikační schopnost půdy byla stanovena inkubací 30 g zeminy ovlhčené na 60 % MVK v otevřených plastických nádobkách ($\varnothing$ 10 cm, dvě opakování) sedm dní za aerobních podmínek ve vlhké komůrce termostatu při $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nitrifikační schopnost půdy byla zjištěna odečtením obsahu NO_3^- v zemině před inkubací od obsahu NO_3^- stanoveného po inkubaci a byla vyjádřena v mg N/kg/den sušiny jemnozemi.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Údaje o obsahu nitrátového a amonného dusíku v půdě a o její nitrifikační schopnosti, znázorněné na obr. 2, ukazují na významný vliv půdně klimatických podmínek stanoviště, povětrnosti daného ročníku a hnojení dusíkem na kvantitativní i kvalitativní změny obsahu anorganického dusíku v půdě během roku. V průběhu sledovaného období byl na všech stanovištích u hnojených i nehnojených variant obsah nitrátového dusíku v půdě vyšší a jeho sezónní změny byly intenzivnější než u dusíku amonného, což svědčí o příznivých podmínkách pro činnost nitrifikační mikroflóry v půdě. Pouze u varianty 3, u které byly přirozené nitrifikační procesy v půdě inhibovány, byl zjištěn v některých ročnících po aplikaci inhibitorů nitrifikace

I. Některé agrochemické vlastnosti půd – Some agrochemical soil properties

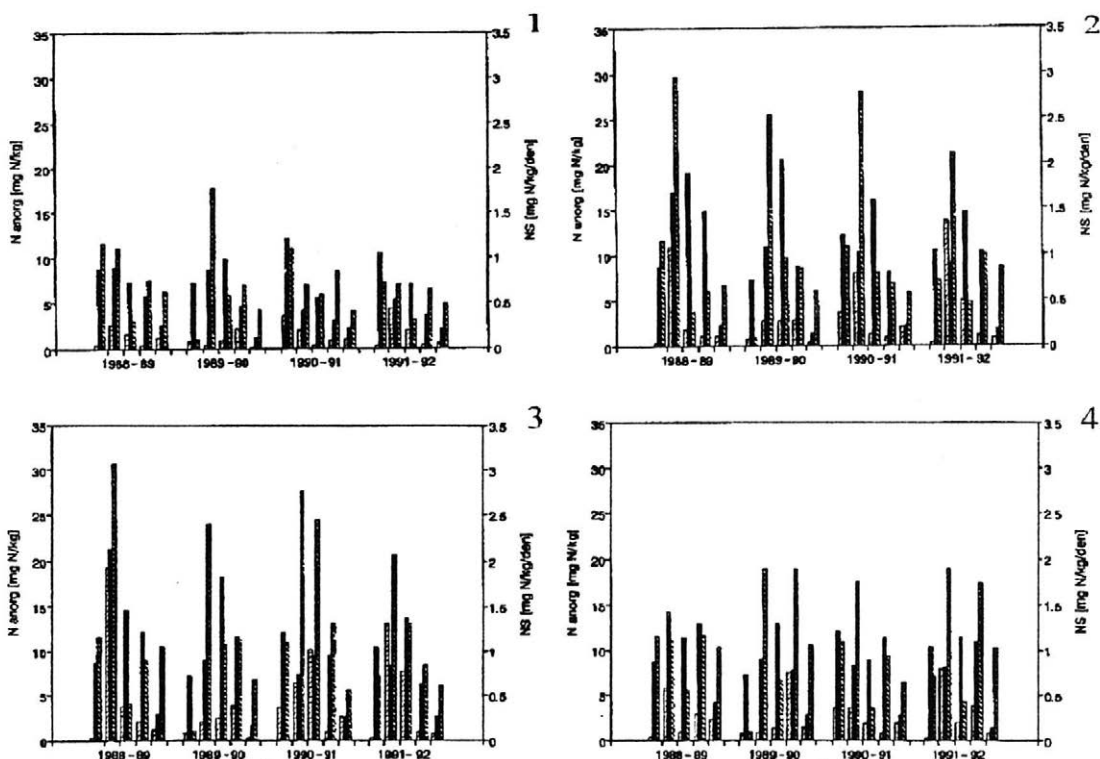
Stanoviště ¹	Rok ²	N _t (%)	C _{ox} (%)	Humus ³ (%)	pH (KCl)
Ruzyně	1988	0,11	1,03	1,78	7,3
	1989	0,14	1,01	1,74	7,2
	1990	0,11	1,19	2,06	7,3
	1991	0,14	1,30	2,24	7,3
Hněvčeves	1988	0,11	0,94	1,62	6,0
	1989	0,12	1,26	2,18	6,1
	1990	0,12	1,22	2,10	6,7
	1991	0,11	1,25	2,15	5,5
Pernolec	1988	0,12	1,19	2,05	6,1
	1989	0,15	1,18	2,03	6,4
	1990	0,14	1,56	2,69	6,5
	1991	0,13	1,33	2,30	5,6

¹ site, ² year, ³ humus

II. Zmitostní složení půd – Texture composition of soils

Stanoviště ¹	Obsah skeletu (% hmotn.) ²	Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí jemnozem ³ (mm)				
		2,0 - 0,25	0,25 - 0,05	0,05 - 0,01	< 0,01	< 0,001
Ruzyně	7,2	6,4	13,7	47,9	32,0	11,6
Hněvčeves	< 1	3,1	15,1	54,7	27,6	11,4
Pernolec	20,7	44,8	17,8	20,2	17,2	3,2

¹ site, ² content of skeleton (% of weight), ³ percentage of different fractions of fine-texture soil



2a. Obsah $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ a nitrifikační schopnost (NS) v půdní vrstvě 0 až 0,3 m při různém způsobu hnojení ozimé pšenice dusíkem (Ruzyně) – The content of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and nitrification ability (NS) in soil layer 0 to 0.3 m at different way of fertilizing of winter wheat by nitrogen (Ruzyně)

číslo v pravém horním rohu - varianta - number in right upper corner - variant

▨ $\text{NH}_4^+\text{-N}$, ■ $\text{NO}_3^-\text{-N}$, ■ NS

odběr č. 1 - začátek října - sampling 1 - start of October

odběr č. 2 - listopad - sampling 2 - November

odběr č. 3 - březen - sampling 3 - March

odběr č. 4 - duben - sampling 4 - April

odběr č. 5 - květen - sampling 5 - May

osa x - odběr/ročník - x axis - sampling/year

var. 1: 0 kg N/ha

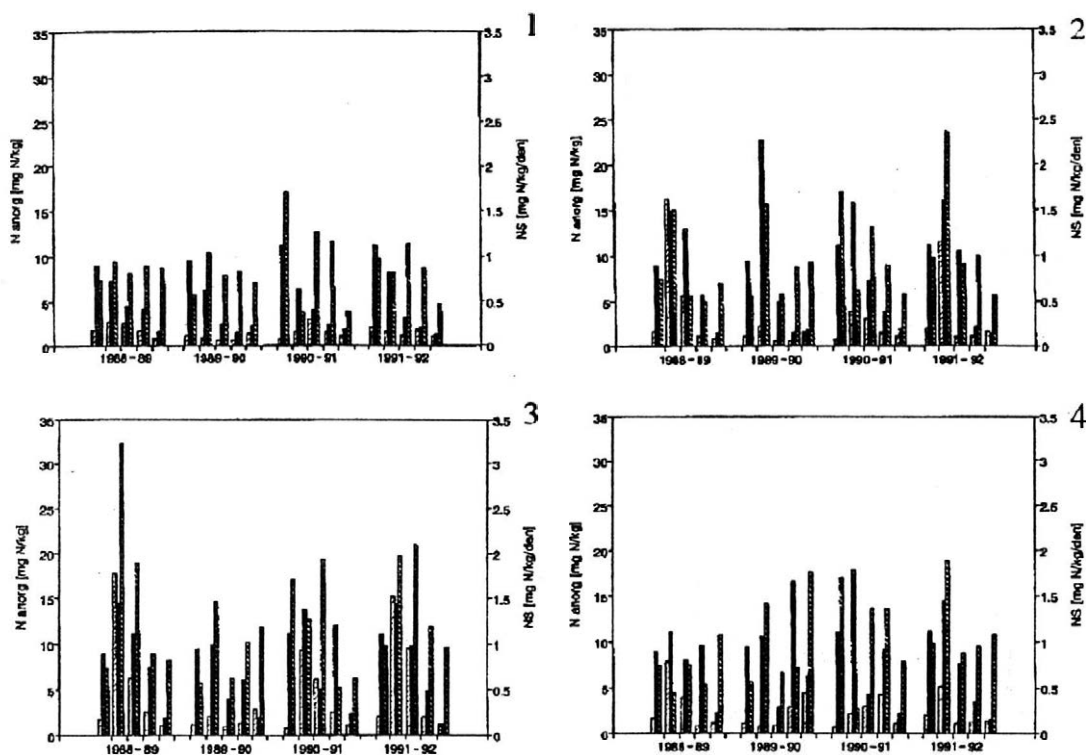
var. 2: 120 kg N/ha (1988 a 1989), 80 + 40 kg N/ha (1990 a 1991)

var. 3: 120 kg N/ha + N-Serve (1988 a 1989), 80 + 40 kg N/ha + Didin (1990 a 1991)

var. 4: dělená dávka N podle obsahu N_{anorg} v půdě - split N rate according to N_{inorg} in soil

vyšší obsah amonného dusíku v půdě. Nitrifikační schopnost půdy u nehnojených variant se během čtyřletého období pohybovala na stanovišti v Ruzyni od 0,3 do 1,8, v Hněvčevsi od 0,4 do 1,7 a v Pernolci od 0,3 do 1,9 mg N/kg/den.

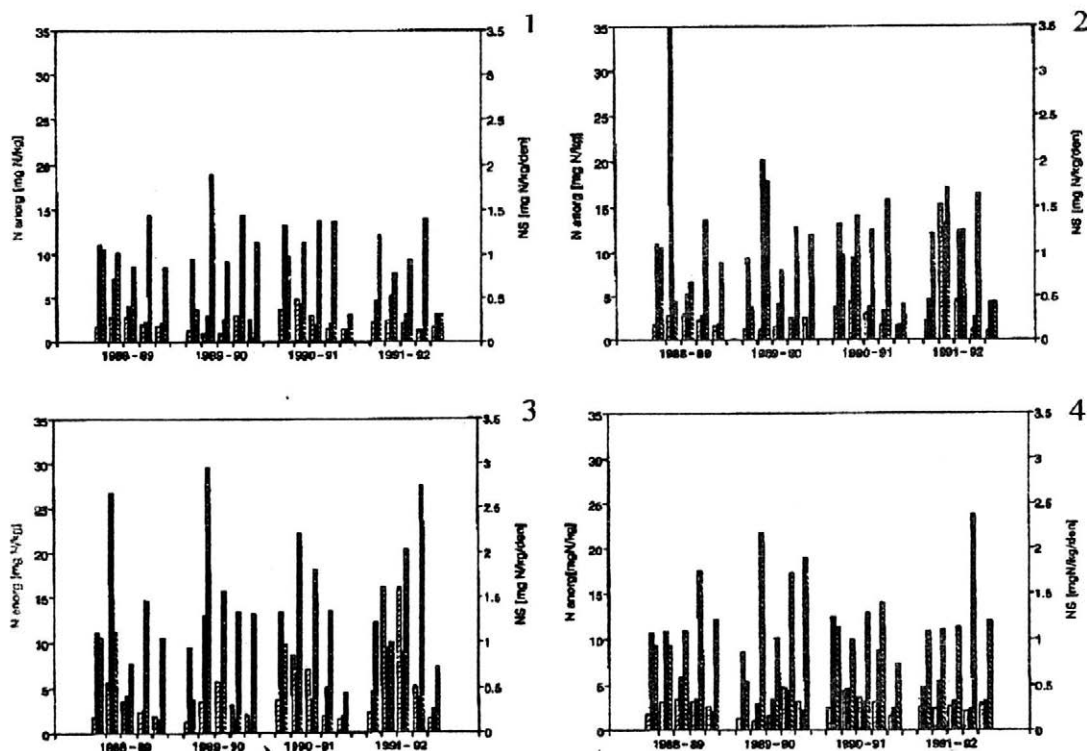
Po aplikaci dusíkatého hnojiva DAM 390 došlo v následujícím období ke zvýšení intenzity nitrifikace, a to zejména při vyšší dávce dusíku (varianta 2). Jestliže byly



2b. Obsah $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ a nitrifikační schopnost (NS) v půdní vrstvě 0 až 0,3 m při různém způsobu hnojení ozimé pšenice dusíkem (Hněvčeves) – The content of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and nitrification ability (NS) in soil layer 0 to 0.3 m at different way of fertilizing of winter wheat by nitrogen (Hněvčeves)

v půdě vytvořeny vhodné podmínky pro průběh nitrifikačních procesů a příjem dusíku rostlinou byl zanedbatelný, zvýšil se obsah nitrátového dusíku v půdě, a tím i možnost jeho ztrát z půdního profilu. To se projevilo nejvýrazněji na lehké hlinitopísčité půdě v Pernolci během teplého podzimního období v roce 1988 a 1989.

Použití inhibitorů nitrifikace N-Serve a Didin při společné aplikaci s kapalným hnojivem DAM 390 omezilo na určitou dobu nitrifikační aktivitu v půdě. Doba a intenzita působení inhibitorů nitrifikace závisela na půdních a povětrnostních podmínkách stanoviště. Tvorba nitrátů v půdě po aplikaci 120, resp. 80 kg N/ha v DAM 390 s inhibitorem nitrifikace N-Serve a Didin byla nejvíce omezena na lehké hlinitopísčité půdě v Pernolci. Při odběru vzorků půd č. 2 na podzim před zámrazem půdy byl zjištěn u varianty s inhibitorem nitrifikace ve srovnání s variantou hnojenou stejnou dávkou dusíku bez inhibitoru ve všech sledovaných ročnících na tomto stanovišti nižší obsah nitrátového dusíku a vyšší obsah dusíku amonného. Zároveň byla zjištěna zpravidla vyšší nitrifikační schopnost, což znamená, že po sedmi týdnech od aplikace inhibitoru nitrifikace do půdy se většinou neprojevil jeho inhibiční vliv na průběh nitrifikačních procesů při týdenní aerobní inkubaci vzorků půd v termostatu. Jen po velmi suchém a chladném podzimním období ročníku



2c. Obsah $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ a nitrifikační schopnost (NS) v půdní vrstvě 0 až 0,3 m při různém způsobu hnojení ozimé pšenice dusíkem (Pernolec) – The content of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and nitrification ability (NS) in soil layer 0 to 0.3 m at different way of fertilizing of winter wheat by nitrogen (Pernolec)

1991/1992 se projevil inhibiční účinek inhibitoru Didin i po sedmi týdnech působení v přirozených polních podmínkách snížením nitrifikační schopnosti půdy (varianta 3: 1,0; varianta 2: 1,7 mg N/kg/den).

Na hlinitých půdách v Hněvčevsi a v Ruzyni se použití inhibitorů nitrifikace N-Serve a Didin projevilo jen v některých ročních, a to jen s velmi malým účinkem. Působení inhibitorů nitrifikace v podzimním období se však nepřímo projevilo na všech stanovištích ve většině sledovaných ročníků zvýšením obsahu amonného dusíku v půdě a vyšší nitrifikační schopností půdy v jarním období (při odběrech č. 3 a 4), a tím i zvýšením zásob přijatelného dusíku pro rostliny na začátku jejich intenzivního růstu. Vyšší obsah amonného dusíku a vyšší nitrifikační schopnost půdy v jarním období mohou být způsobeny vyšší imobilizací NH_4^+ v podzimním období a následnou remineralizací v jarním období.

Bielek (1984) a Lišánská et al. (1987) na základě výsledků z řady pokusů předpokládají délku účinnosti působení inhibitorů nitrifikace N-Serve a Didin u našich půd zpravidla pět až osm týdnů. Potlačení aktivity nitrifikační mikroflóry omezuje množství nitrátového dusíku v půdě, a tím i jeho ztráty denitri-

III. Hnojení ozimé pšenice – Winter wheat fertilizing

1 Varianta	Dávky čistých živin ² (kg/ha)				
	před setím ³			regenerační ⁴ fáze ⁶ 21 - 25	produkční ⁵ fáze ⁶ 30 - 31
	P (SP)	K (DS)	N (DAM 390)	(DAM 390)	(DAM 390)
1	45	60	-	-	-
2	45	60	120 (1988 + 1990)	-	-
	45	60	80 (1990 + 1992)	-	40
3	45	60	120 + NS ⁺ (1988 + 1990)	-	-
			80 + DID ⁺ (1990 + 1992)	-	40
4	45	60	dělená dávka podle obsahu N _{anorg} v půdě ⁷		
	1988 - 1989	R	40	60	50
		H	40	60	55
		P	-	40	40 + 40 ⁺⁺
	1989 - 1990	R	40	60	40
		H	40	60	60
		P	-	30 + 30	40 + 40
	1990 - 1991	R	40	50	47
		H	40	50	60
		P	-	40	40 + 40
	1991 - 1992	R	40	45	50
		H	40	40	50
		P	-	40	50 + 40

R - Ruzyně H - Hněvčoves P - Pemolec

⁺ v ročních 1988 - 1989 a 1989 - 1990 byl aplikován společně s kapalným hnojivem DAM 390 inhibitor nitrifikace N-Serve a v ročních 1990 - 1991 a 1991 - 1992 byl N-Serve nahrazen inhibitorem nitrifikace Didin

⁺ in the years 1988 - 1989 and 1989 - 1990 nitrification inhibitor N-Serve was applied together with liquid fertilizer DAM 390 and in the years 1990 - 1991 and 1991 - 1992 N-Serve was replaced by nitrification inhibitor Didin

⁺⁺ jednotlivé dávky aplikovány s minimálním časovým odstupem 14 dní

⁺⁺ individual rates applied with minimum time interval of 14 days

¹ variant, ² rates of pure nutrients, ³ before sowing, ⁴ 1st spring rate, ⁵ 2nd spring rate, ⁶ phase, ⁷ split rate according to N_{inorg} in soil

fikací a vyplavováním, a současně může vyvolávat zvýšení obsahu amoniakálního dusíku v půdě. V důsledku toho může docházet k vyšší intenzitě imobilizace NH₄⁺ v půdě (Schmidt, 1982; Baskin, 1987).

Výsledky práce potvrdily význam sledování obsahu anorganického dusíku a jeho přeměny v půdě při optimalizaci hnojení dusíkem. Uvedený způsob stanovení obsahu nitrátového dusíku v půdě a její nitrifikační schopnosti lze využít při hodnocení jednotlivých způsobů hnojení dusíkem a různých systémů hospodaření na půdě s ohledem na dusíkatý režim. Ve srovnání s dosud používanými metodami N_{anorg} (N_{min}), založenými na zjišťování momentálního obsahu amonného a nitrátového dusíku v půdě, umožňuje navržená metoda získat kromě údajů o obsahu NO_3^- -N zároveň orientační informaci o nitrifikační a mineralizační schopnosti půdy. Nitrifikační schopnost půdy vyjadřuje aktuální stav mineralizačně imobilizačních procesů v půdě a úzce koreluje s obsahem amonného a lehce hydrolyzovatelného organického dusíku v půdě, který je nitrifikován během týdenní aerobní inkubace. To upřednostňuje její praktické využití přímo ke korekci dávek dusíkatých hnojiv nebo jako proměnné do operativních submodelů expertních systémů pro řízení výživy rostlin. Využití údajů o nitrifikační a mineralizační schopnosti půdy v diagnostice výživného stavu rostlin doporučují i Nuske, Richter (1981), Bielek (1984), Minejev (1990) a další.

Literatura

- ADDISCOTT, T. M.: Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories. *J. Soil Sci.*, 34, 1983, s. 343-353.
- APFELTHALER, R.: Vliv organického a organicko-minerálního hnojení na rozklad půdní organické hmoty a využití dusíku. *Rostl. Výr.*, 30, 1984, s. 1137-1143.
- BAŠKIN, V. N.: Agrochimija azota. Puščino, 1987, 270 s.
- BEAUCHAMP, E. G. - REYNOLDS, W. D. - BRASCHE-VILLENEUVE, D. - KIRBY, K.: Nitrogen mineralization kinetics with different soil pretreatments and cropping histories. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50, 1986, s. 1478-1483.
- BIELEK, P.: Intenzita akumulácie dusíkatých živín ako funkcia pedoekologického stanovišťa. *Polnohospodárstvo*, 28, 1982, s. 208-216.
- BIELEK, P.: Dusík v pôde a jeho premeny. Bratislava, *Príroda* 1984, 135 s.
- BREMNER, J. M.: Nitrogen availability indexes. *Agronomy*, 9, 1965, s. 1324-1345.
- DAVIDSON, E. A. - HART, S. C. - SHANKS, C. A. - FIRESTONE, M. K.: Measuring gross nitrogen mineralization, immobilization and nitrification by ^{15}N isotopic pool dilution in intact soil cores. *J. Soil Sci.*, 42, 1991, s. 335-349.
- HÜBNER, C. - REDL, G. - WURST, F.: *In situ* methodology for studying N mineralization in soils using anion exchange resins. *Soil Biol. and Biochem.*, 23, 1991, s. 701-702.
- KLÍR, J. - APLTAUER, J. - RŮŽEK, P.: Počítačová simulace změn vlhkosti a obsahu NO_3^- -N v půdě. *Rostl. Výr.*, 33, 1987, s. 203-213.
- LEE, C. Y. - MYROLD, D. D.: N mineralization and nitrification in forest soils: effect of chemical treatment on N adsorption by ion exchange resin. *J. Korean For. Soc.*, 79, 1990, s. 285-289.
- LIŠŤANSKÁ, J. - APLTAUER, J. - MOUCHOVÁ, H.: Vliv povětrnostních a půdních podmínek na chování dusíku v půdě. [Závěrečná zpráva.] Praha, VÚRV 1987.
- MINEJEV, V. G.: Metody optimalizacii azotnogo pitaniya. In: Dusík - hnojiva - půda - rostlina. Praha, 1990, s. 56-59.

- NUSKE, A. - RICHTER, J.: N-mineralization in Lössparabrown- Bearthes: Incubation experiments. *Pl. and Soil*, 59, 1981, s. 237-247.
- ROSS, D. J. - CAIRNS, A. - PANSIER, E. A. - BRIDGER, B. A.: Nitrogen availability in some soils from tussock grasslands and introduced pastures. 4. Further factors influencing ryegrass growth and soil nitrogen mineralization in glasshouse experiments. *N. Z. J. Sci.*, 22, 1979, s. 151-159.
- SCHMIDT, E. L.: Nitrification in soil. In: STEVENSON, F. J. (ed.): Nitrogen in agricultural soils. *Agronomy*, 22, 1982, s. 253-287.
- STANFORD, G. - SMITH, S. J.: Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36, 1972, s. 465-472.
- STORRIER, R. R.: The pre-treatment and storage of soil samples for nitrogen analyses. *J. Austral. Inst. agric. Sci.*, 2, 1966, s. 106-113.
- ZAK, D. R. - HOST, G. E. - PREGITZER, K. S.: Regional variability in nitrogen mineralization, nitrification, and overstory biomass in northern Lower Michigan. *Can. J. For. Res.*, 19, 1989, s. 1521-1526.

Došlo 18. 5. 1993

RŮŽEK, P. (Research Institute of Crop Production, Praha-Ruzyně):

The effect of different ways of nitrogen fertilizing on soil nitrification capability.

Rostl. Vyr., 39, 1993 (9): 805-816.

In the years 1988 to 1992 field fertilizer trials were conducted with winter wheat, established on three sites (Ruzyně: orthic luvisol; Hněvčeves: luvisol; Pernolec: eutric cambisol). The soil characteristics is presented in Tabs I and II and winter wheat fertilizing is in Tab. III. Fig. 1 gives the course of temperatures and precipitation for the period under study.

Soil samples were taken at different stages of the plant development to determine the contents of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ in soil and its nitrification abilities: sampling 1 - before sowing and fertilizing of winter wheat (September 20 to October 10), sampling 2 - before soil freezing (November 10 to 30), sampling 3 - start of spring vegetation, before nitrogen fertilizing (March), sampling 4 - end of tillering: f 29 (April), sampling 5 - end of shooting: f 37 (May). Nitrification ability in the soil layer of 0 to 0.3 m was finding through the method of weekly aerobic incubation of 30 g of soil wetted to 60 % of MVK (maximum water capacity) at 28 °C and was expressed in mg of N/kg/day of fine-texture soil.

The data referred to nitrate and ammonium nitrogen in soil and its nitrification abilities as presented in Fig. 2 show the significant influence of soil-climatic conditions of the site, weather conditions of the given year and nitrogen fertilizing as exerted on quantitative and qualitative changes in inorganic nitrogen content in soil during a year. Nitrate nitrogen in the soil was higher during the period under study on all sites in treated and untreated variants and its seasonal changes were more intensive than in ammonium nitrogen. Solely in the variant 3, where natural nitrification processes in soil were inhibited, a higher content of ammonium nitrogen in soil was found in some years after the application of nitrification inhibitors (IN). Soil nitrification ability in untreated variants was ranging during four-year period from 0.3 to 1.8 mg in Ruzyně site, from 0.4 to 1.7 mg at Hněvčeves, and from 0.3 to 1.9 mg of N/kg/day at Pernolec. Following the application

of nitrogen fertilizer DAM 390 (UAN), nitrification intensity increased in subsequent period, in particular with higher nitrogen rates applied in autumn period (variant 2). The use of inhibitors of nitrification N-Serve and Didin in the common application with DAM 390 before sowing of winter wheat restricted the most the creation of nitrates in sandy loam soil at Pernolec. The action of nitrification inhibitors applied in autumn period was manifested indirectly on all sites and in most studied years by increased content of ammonium nitrogen and by increased nitrification ability of soil in spring period, that is by improvement of fertilizing conditions of plants during the spring vegetation.

Soil nitrification ability expresses the actual conditions of mineralization and immobilization processes in soil and it is in close correlation with the content of ammonium and slightly hydrolyzable organic nitrogen in soil which can be nitrified during a week aerobic incubation. This is preferred by its practical utilization directly for the correction of rates of nitrogen fertilizing or as variable in operational submodels of expert systems for management of plant nutrition.

Kontaktní adresa:

Ing. Pavel R ů ž e k , CSc., Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507,
161 06 Praha 6-Ruzyň

ENZYMOVÁ AKTIVITA PŮDY JAKO UKAZATEL JEJÍ BIOLOGICKÉ AKTIVITY

R. Šíša

Vysoká škola zemědělská, Praha

Vybrané enzymové aktivity půdy (kataláza, dehydrogenáza, amyláza, invertáza) signalizovaly degradaci biologické aktivity dlouhodobě zavlážených půd mnohem dříve než pokles výnosů zemědělských plodin. Vybranými enzymovými aktivitami půdy bylo možno rovněž postihnout změny biologické aktivity půd v průběhu rekultivací v oblasti postižené povrchovou těžbou hnědého uhlí. Enzymové aktivity půdy je potřeba hodnotit v kontextu s dalšími fyzikálně chemickými vlastnostmi půdy (C_{ox} , pH) a testy respirometrickými.

Mezi úrodností půdy a její biologickou aktivitou existuje nesporně pozitivní vztah. K charakterizaci biologické aktivity půdy byla vypracována řada metod. Tyto metody sledují např. početnost půdní mikroflóry a zastoupení důležitých fyziologických skupin, biomasu mikroorganismů, potenciální respirometrické testy a řadu dalších biologických charakteristik.

Všechny biotransformace v půdě probíhají za aktivní účasti enzymů jako biokatalyzátorů, mohou proto být i enzymové aktivity půdy citlivým ukazatelem její biologické aktivity. Půda je schopna enzymy produkované půdní mikroflórou, faunou a rostlinami imobilizovat, a tím stabilizovat jejich strukturu a chránit je před proteolýzou a nepříznivými podmínkami (Š č e r b a k o v a et al., 1970; G a l s t j a n, 1974; M c L a r e n, 1974; C h a z i j e v, 1979, 1982; C h a z i j e v, G u l k o, 1991; Š č e r b a k o v a, 1983; K i s s et al., 1975, 1986).

Enzymy, které se do půdy dostávají a podílejí se na enzymové aktivitě půdy, jsou svým původem jednak enzymy mimobuněčné, produkované živými mikrobiálními buňkami a kořeny rostlin, jednak vnitrobuněčné enzymy živých půdních organismů. Dále se na enzymové aktivitě půdy podílejí enzymy postmortálně akumulované v půdě, buď volné, nebo vázané na buněčné fragmenty (K i s s, 1975). Část enzymů, které se do půdního prostředí dostanou, podlehnou proteolýze, které se účastní nejen mikroorganismy, ale i v půdě imobilizované proteolytické enzymy. Další část enzymů může být nevratně denaturována působením různých fyzikálně chemických faktorů. Ovšem převážná většina jich zůstává zachována v aktivním stavu imobilizací v půdě.

Při imobilizaci enzymů se významně uplatňuje půdní sorpční komplex, zvláště jílové minerály (A m b r o ž, 1969; K i s s et al., 1986) a humusové látky (A b r a m j a n, G a l s t j a n, 1987).

Imobilizace enzymů je jedním ze závažných půdotvorných procesů (Š č e r b a - k o v a , 1983). Absorbované enzymy zpravidla vykazují nižší aktivitu, ovšem jsou značně odolnější vůči působení proteáz mikroorganismů, specifickým i nespecifickým inhibitorům, vysokým a nízkým teplotám atd. Uplatňují se pak jako nezbytné specifické biochemické regulátory procesů tvorby humusu, výživy rostlin a udržení ekologické rovnováhy.

Na formování půdního enzymového komplexu, jeho stabilizaci a aktivitě se uplatňují fyzikální (C h a b i r o v , 1979), chemické a sorpční vlastnosti půdy. Dále se na jeho formování z hlediska kvality i kvantity podílejí početnost a aktivita mikrobiální populace a biomasy rostlin. V půdách přirozených ekosystémů, ve kterých jsou ekologické parametry ve stavu dynamické rovnováhy, je i dynamika enzymové aktivity půdy poměrně stabilní a je podmíněna hlavně přirozenými výkyvy hydrotermického režimu, mikrobiální aktivity a rozvojem rostlin. Půdní procesy v půdách zemědělsky obhospodařovaných jsou ovlivňovány řadou agroekologických zásahů, které se projevují změnami chemického složení půd, jejich fyzikálních vlastností, ale i změnami mikro- a fytocenózy. Množství enzymů, které se dostávají do půdy, závisí na biomase a aktivitě půdní mikroflóry a rostlin. Antropogenní fytocenózy se vyznačují chudou druhovou skladbou, převládají monokultury s poměrně nevelkým objemem rhizosféry. To má za následek podstatné snížení druhového zastoupení a změny vzájemných vztahů mezi jednotlivými druhy nebo skupinami mikroorganismů, což má samozřejmě vliv i na omezení množství a rozmanitosti enzymů dostávajících se do půdy. Sumární metabolická aktivita kořenů rostlin a půdní mikroflóry za takovýchto podmínek vede k formování specifického enzymového komplexu s převahou jedné nebo několika enzymových tříd. V této souvislosti se mohou uplatňovat i alelopatické efekty, které mohou u agroekosystémů s dominujícími monokulturami plodin souviset s tvorbou metabolitů a toxických látek způsobujících únavu půdy (C h a z i j e v , G u l k o , 1991).

Procesů, jimiž jsou zabezpečovány koloběhy hlavních makrobiogenních prvků, se účastní hlavně enzymy hydrolytické. Kromě rozkladných procesů jsou nedílnou součástí půdního metabolismu i procesy syntetické, na nichž se aktivně podílejí rovněž oxidoredukční enzymy, jejichž výsledkem je biosyntéza humusových látek. Proto je specifický systém imobilizovaných enzymů v půdě velmi významný (Z v j a g i n c e v , 1979; M c L a r e n , 1974).

Řada autorů se věnovala problematice vypracování metod stanovení enzymových aktivit půdy (např. K u p r e v i č , Š č e r b a k o v a , 1966; S k u j i n s , 1967; G a l s t j a n , 1974; C h a z i j e v , 1976), případně stanovení enzymových aktivit ve spojitosti s různými frakcemi humusových látek (A b r a m j a n , G a l s t j a n , 1987; N a n n i p i e r i et al., 1988). Někteří autoři se snažili o unifikaci metod za účelem porovnatelnosti získaných výsledků (např. G a l s t j a n , 1978).

Imobilizované enzymy v půdě jsou různého původu (mikrobiálního, rostlinného či živočišného). I když obecně katalyzují tentýž typ reakce, nemusejí být optimální podmínky pro průběh jejich reakce nutně identické. Proto je třeba při stanovování enzymových aktivit empiricky metody optimalizovat, tj. ověřit u konkrétní zkoumané půdy např. optimální množství vzorku, koncentraci substrátu, teplotu a pH atd.

Lokality

1. Mělník - Hořín: dlouhodobý polní závlahový pokus 1966 až 1987 (varianty zavlažovaná a nezavlažovaná), půda hlinitá až písčitohlinitá, půdní typ hnědozem černozemní; odebráný profil 0 až 20 cm;
2. Vršany: předpolí lomu a deponie, půdní typ černozem na spraši; neselektivní skryvkou a deponováním došlo k promíchání ornice s podorničním substrátem - materiál značně heterogenní; odebírané profily 0 až 20 cm a 20 až 40 cm;
3. Užín: na výsypce zrušeného lomu jsou realizovány rekultivace - přímá zemědělská, zemědělská překryvem ornice a lesnická; půdy šedé miocenní jíly; odebráný profil 0 až 20 cm;
4. Střimice - Svoboda: na výsypce lomu tvořené heterogenní směsí písčitých zemín miocenního původu, vyznačující se různým stupněm sterility a příměsí toxických látek, je na části realizována zemědělská rekultivace překryvem ornice a zemědělská rekultivace překryvem vrstvou bentonitu a vrstvou ornice; pro porovnání jsme odebírali vzorky i z plochy nerektivované, ponechané přirozené sukcesi; odebráný profil 0 až 20.

Půdní vzorky jsme odebírali klasicky rýčem, po přepravě do laboratoře homogenizovali a proseli sítem o průměru 2 mm a analyzovali v čerstvém stavu všemi sledovanými testy s výjimkou stanovení C_{ox} . Odběry jsme prováděli na lokalitě 1 v letech 1985 až 1987 v průběhu vegetačního období devětkrát, na lokalitě 2 a 3 v letech 1984 až 1987 v průběhu vegetačního období třikrát a na lokalitě 4 v letech 1986 a 1987 rovněž třikrát.

Byly sledovány tyto enzymové aktivity půdy: aktivita katalázy (A m b r o ů , 1956), vyjádřená v ml 0,1N $KMnO_4$ / 2 g suché půdy / 15 min; aktivita dehydrogenázy (G l a t h e , T h a l m a n , 1970), vyjádřená v mg TTF / 10 g suché půdy / 20 h; aktivita invertázy (F r a n k e n b e r g e r , J o h a n s o n , 1983), vyjádřená v mg redukujících látek / 2 g suché půdy / 24 h; aktivita amylázy (D r o b n í k , 1955), vyjádřená v ml 0,05N $Na_2S_2O_3$ / 2 g suché půdy / 47 h. Dále proběhl potenciální respirometrický test (N o v á k , A p f e l t a l e r , 1964), vyjádřený v mg CO_2 / 100 g suché půdy / 1 h a byly stanoveny organické látky C_{ox} (V a l l a e t a l . , 1980), vyjádřené v hmotnostních procentech .

VÝSLEDKY A DISKUSE

Při studiu enzymových aktivit půdy většinou nelze z technických důvodů měřit příliš široké spektrum enzymů. Proto s ohledem na sledovaný děj nebo proces studujeme enzymové aktivity půdy vybraných enzymů. Mezi enzymovými aktivitami půdy jednotlivých tříd enzymů lze do jisté míry předpokládat korelační vztahy, proto je účelné vybrat vhodné zástupce hlavních tříd, tj. oxidoreduktáz a hydroláz, případně určitou enzymovou aktivitu půdy se zaměřením na určitý specifický problém.

Vypovídací schopnost testů enzymových aktivit půdy při studiu určitých procesů probíhajících v půdě či při studiu vlivu agrotechnických zásahů na biologickou akti-

I. Degradace biologické aktivity půdy dlouhodobými závlahami; průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů (souhrn 1985 až 1987) – Degradation of biological activity of soil by long-term irrigations; average values of studied parameters (summary for the years 1985 to 1987)

Ukazatel ¹	x	Rozmezí ²	%	s	α
Kataláza ³ (ml 0,1N KMnO ₄ /2 g suché půdy ⁸)					
z	3,23	0,36 - 9,23	64	1,96	0,01
n	5,06	1,08 - 14,06	100	2,63	
Dehydrogenáza ⁴ (mg TTF/10 g suché půdy/20 h)					
z	480,98	81,0 - 1205,0	72	171,78	0,01
n	669,52	118,0 - 1361,0	100	213,24	
Amyláza ⁵ (ml 0,05N Na ₂ S ₂ O ₃ /2 g suché půdy/47 h)					
z	2,40	0,90 - 9,21	120	0,99	0,01
n	2,00	0,06 - 4,37	100	0,80	
Invertáza ⁶ (mg redukujícího substrátu ⁹ /2 g suché půdy/24 h)					
z	13,87	6,95 - 21,77	86	2,45	0,01
n	16,01	9,53 - 23,14	100	2,58	
C _{ox} (%)					
z	1,01	0,83 - 1,31	94	0,12	0,01
n	1,08	0,84 - 1,60	100	0,13	
Sušina ⁷ (%)					
z	86,66	81,55 - 92,88	100,3	2,33	0,05
n	86,37	78,67 - 92,75	100,0	3,01	
pH					
z	7,03	5,86 - 8,41	87	0,52	0,01
n	8,01	6,96 - 8,68	100	0,37	
Respirometrický test ¹⁰					
B (mg CO ₂ /100 g suché půdy/1 h)					
z	0,46	0,19 - 0,76	96	0,11	0,05
n	0,48	0,21 - 1,47	100	0,15	
NG (mg CO ₂ /100 g suché půdy/1 h)					
z	13,88	2,40 - 26,29	93	5,07	0,05
n	14,96	3,07 - 26,84	100	5,76	
G : B					
z	6,57	1,01 - 40,80	94	4,55	0,05
n	7,02	0,75 - 26,50	100	3,84	
NG : B					
z	31,25	3,60 - 88,06	95	13,60	0,05
n	32,96	6,13 - 74,00	100	13,77	

Vysvětlivky k tab. I – Explanations to Tab. I:

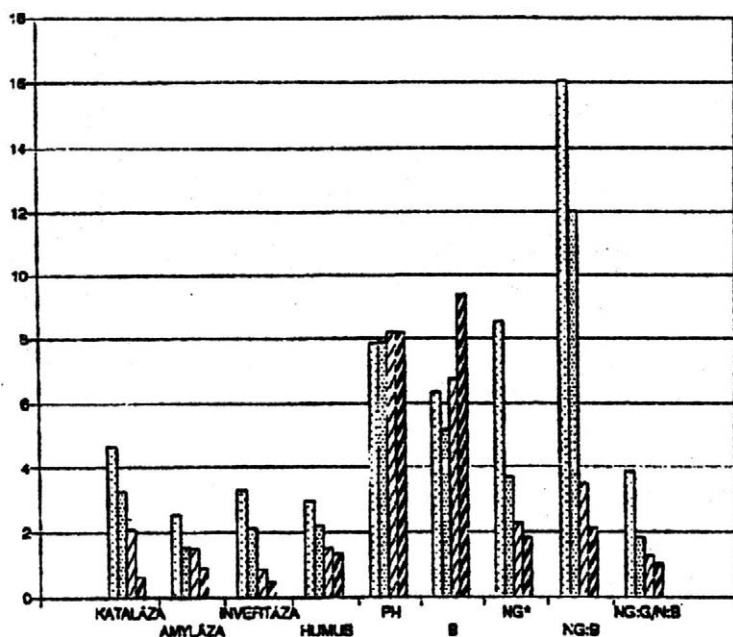
s - směrodatná odchylka¹¹

z - varianta zavlažovaná¹²

n - varianta nezavlažovaná¹³

α - průkaznost rozdílu¹⁴

¹parameter, ²range, ³catalase, ⁴dehydrogenase, ⁵amylase, ⁶invertase, ⁷dry matter, ⁸g of dry soil, ⁹mg of reducing substrate, ¹⁰respirometric test, ¹¹standard deviation, ¹²irrigated variant, ¹³non-irrigated variant, ¹⁴significance of difference



1. Degradace biologické aktivity půdy v průběhu rekultivací; vliv neselektivní skrávky (lokalita Vršany) – Degradation of biological activity of soil during recultivations; the effect of non-selected removal (locality Vršany)

▨ předpolí - fore-land (0 - 20 cm)

▨ předpolí - fore-land (20 - 40 cm)

▨ deponie - dump (0 - 20 cm)

▨ deponie - dump (20 - 40 cm)

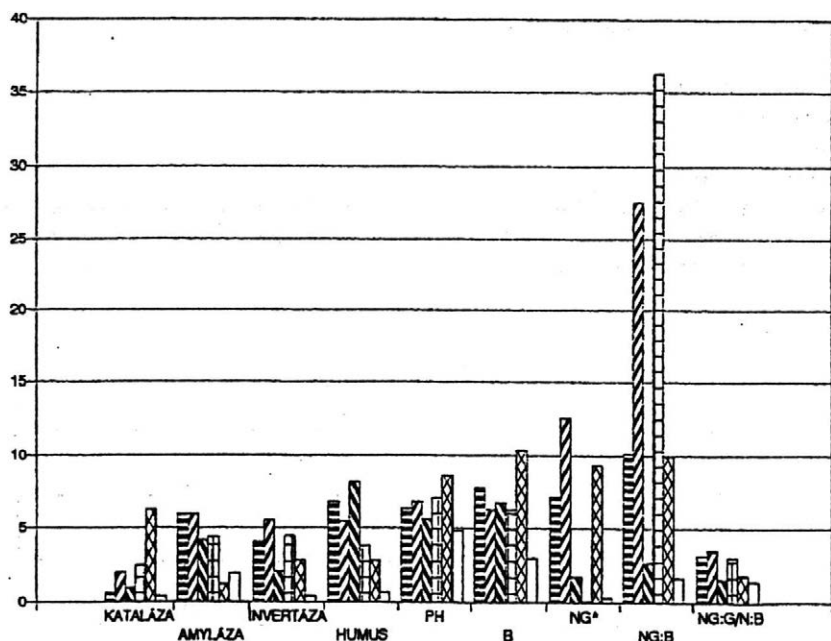
Aktivita - Activities:

kataláza - catalase (ml 0,1N KMnO₄ / 2 g suché půdy / 15 min - ml 0,1N KMnO₄ / 2 g of dry soil / 15 min)

amyláza - amylase (ml 0,05N Na₂S₂O₃ / 2 g suché půdy / 47 h - ml 0,05N Na₂S₂O₃ / 2 g of dry soil / 47 h)

invertáza - invertase (mg redukujícího substrátu / 2 g suché půdy / 24 h - mg of reducing substrate / 2 g of dry soil / 24 h)

respirace - respiration (mg CO₂ / 100 g suché půdy / 1 h - mg CO₂ / 100 g of dry soil / 1 h)



2. Biologická aktivita rekultivovaných půd různých typů zemědělských a lesnických rekultivací – Biological activity of recultivated soils of different types of agricultural and silvicultural recultivations

- Úžín (přímá zemědělská - agricultural)
- ▨ Úžín (zemědělská překryvem - agricultural by overlaying)
- Úžín (lesnická - silvicultural)
- ▨ Svoboda (zemědělská překryvem - agricultural by overlaying)
- ▨ Střimice (zemědělská + bentonit - agricultural + bentonite)
- Střimice (nerekultivované toxické písky - non-recultivated toxic sands)

vitu půdy je poměrně velmi dobrá, což lze dokumentovat našimi výsledky. Při posuzování vlivu jednoho z hlavních ekologických faktorů, tj. vlhkosti, na biologickou aktivitu půdy byly vybrány enzymové aktivity půdy citlivým ukazatelem. Výsledky získané při sledování dlouhodobého závlahového polního pokusu svědčí po 20letém provozu závlah o postupném snižování biologické aktivity dlouhodobě zavlažovaných půd (Š í š a , 1991; Š í š a , 1992). Potvrzují to vybrané enzymové aktivity půdy v našich sledováních (tab. I).

Dlouhodobé zavlažování se projevilo snížením aktivity katalázy o 36 % a dehydrogenázy o 28 %. Rovněž aktivita invertázy se snížila o 14 %. Výjimkou byla aktivita amylázy, u které došlo naopak dlouhodobým zavlažováním k zvýšení aktivity o 20 %. Degradace půdy při tomto agrotechnickém zásahu se projevila ve snížení enzymových aktivit vybraných enzymů mnohem dříve než v poklesu výnosů zemědělských plodin. Rozdíly mezi výsledky enzymových testů variant zavlažovaných a nezavlažovaných byly vysoce statisticky průkazné ($\alpha = 0,01$). O degradaci zavlažovaných půd svědčil rovněž statisticky vysoce průkazný pokles obsahu orga-

nických látek (C_{ox} celkový) o 6 % a rovněž pokles stability půdní organické hmoty a zhoršení hydrofyzikálních vlastností půdy (Š í š a , 1991). V souladu s těmito výsledky došlo k snížení četnosti, biomasy a aktivity půdní mikroflóry (K u b i s t a , 1988; R ů ž e k , 1988). Neumíme si prozatím vysvětlit, proč došlo na rozdíl od ostatních enzymových aktivit ke zvýšení aktivity amylázy, ale zvýšení aktivity amylázy zavlažováním konstatuje i J o s e (1982).

Vybrané enzymové aktivity půd jsme sledovali i při výzkumu změn biologické aktivity půd během rekultivací v SHR Most (Š í š a , 1988; Š í š a , B e l a t k o - v á , 1991). Výsledky enzymových a ostatních testů ukazují (obr. 1), že je skrývána kvalitní černozem a že deponováním orníc a podorničních vrstev dochází k poklesu biologické aktivity těchto substrátů, zvláště není-li skrývka prováděna selektivně.

Při porovnávání biologické aktivity rekultivovaných půd různými typy zemědělských a lesnické rekultivace (obr. 2) se jako nejefektivnější, ne však nejlevnější ukázala rekultivace překrytím orníc. Tímto způsobem rekultivace se enzymové aktivity půd, potenciální aktivita mikroflóry ve využívání zdrojů uhlíku a dusíku, obsah půdní organické hmoty a její stabilita a rovněž fyzikální vlastnosti a reakce blíží optimu, tj. hodnotám dosud neporušených půd dané oblasti.

Všechny biologické transformace v půdě probíhají za aktivní účasti enzymů jako biokatalyzátorů. Půda je schopná enzymy produkované půdní mikroflórou, faunou a rostlinami imobilizovat, a tím stabilizovat jejich strukturu a chránit je před proteolýzou a nepříznivými podmínkami. Enzymové aktivity půdy mohou být citlivým ukazatelem biologické aktivity půdy. Umožňují postihnout biologickou aktivitu půdy jak z širšího hlediska studiím vybraného okruhu enzymových aktivit půdy, tak i studiím určitého procesu probíhajícího v půdě, charakterizovaného specifickou enzymovou aktivitou půdy. To dokumentují naše výsledky, které prokazují snížení biologické aktivity dlouhodobě zavlažovaných půd a deponovaných půd při procesu rekultivací. Rovněž umožňují porovnávat biologickou aktivitu technogenních půd různých typů rekultivací.

L i t e r a t u r a

ABRAMJAN, S. A. - GALSTJAN, A. Š.: Opredelenije fermentativnoj aktivnosti gumusovych veščestv. Met. Rukov. NII Počvoved. Agrochim. Arm. SSR, Jerevan, 1987.

AMBROŽ, Z.: Sledování aktivity půdních enzymů v závislosti na činnosti mikroorganismů. Rostl. Výr., 29, 1956, č. 12, s. 1269-1282.

AMBROŽ, Z.: O působení bentonitu na enzymovou aktivitu půdní mikroflóry. Rostl. Výr., 15, 1969, č. 2, s. 209-214.

DROBNÍK, J.: Rasčepjenje krachmala enzymatičeskim količestvom počv. Folia biol., 1, 1955, s. 24-50.

FRANKENBERGER, W. T. JR. - JOHANSON, J. B.: Method of measuring invertase activity in soils. Pl. and Soil, 74, 1983, s. 301-311.

GALSTJAN, A. Š.: Fermentativnaja aktivnosť počv Armenii. Jerevan, Ajastan 1974.

GALSTJAN, A. Š.: Opredelenije aktivnosti fermentov počv. Met. Ukaz. NII Počvoved. Agrochim. Arm. SSR, Jerevan, 1978.

GLATHE, H. - THALMANN, A.: Über die mikrobielle Aktivität und Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen einiger Ackerfoden unter besonderer Berücksichtigung der Dehydrogenaseaktivität (TTC-Reduktion). 2. Mitt. Bestim. TTC-Reduktion im Boden in Laboratoriumsversuchen. *Zbl. Bakt.*, 124, 1970, č. 1, s. 24-36.

CHABIROV, I. K.: Fyzičeskije svojstva i fermentativnaja aktivnosť počv. In: *Ekologičeskije uslovija i fermentativnaja aktivnosť počv*. AN SSSR, UFA 1979, s. 99-111.

CHAZIJEV, F. H.: *Fermentativnaja aktivnosť počv*. Moskva, Nauka 1976.

CHAZIJEV, F. H.: Osnovy systemno-ekologičeskogo analiza fermentativnoj aktivnosti počvy. In: *Ekologičeskije uslovija i fermentativnaja aktivnosť počv*. AN SSSR, UFA 1979, s. 3-17.

CHAZIJEV, F. H.: Systemno-ekologičeskij analiz fermentativnoj aktivnosti počv. Moskva, Nauka 1982.

CHAZIJEV, F. H. - GULKO, A. E.: Fermentativnaja aktivnost počv agroceozov i perspektivy jejo izučeniya. *Počvovedeniye*, 8, 1991, s. 88-103.

JOSE, M. W.: Efeito do metodo de irrigacao a ativada de amilasee hidrolase em um latosol. *Scientifica*, 10, 1982, č. 1, s. 41-48.

KISS, S. - DRAGAN-BULARDA, M. - RADULESCU, D.: Biological significance of enzymes accumulated in soil. *Adv. Agron.*, 27, 1975, s. 25-87.

KISS, S. - DRAGAN-BULARDA, M. - PASCA, D.: Activity and stability of enzyme molecules following their contact with clay mineral surfaces. *Studie Univ. Babes Boliai, Biol.*, 31, 1986, č. 2, s. 3-24.

KUBISTA, K.: Vliv závlah na mikrobiální složku půdy a na mineralizaci organické hmoty. [Závěrečná zpráva.] Praha, VŠZ 1988.

KUPREVIČ, V. F. - ŠČERBAKOVA, T. A.: *Počvennaja enzymologija*. Nauka i Techn. (Minsk), 1966.

MC LAREN, A. D.: Soil as a system of bound enzymes. *Chem. and Ind.*, 7, 1974, s. 316-322.

NANNIPIERI, P. - CECANTI, B. - BIANCHI, D.: Characterization of humus-phosphatase complexes extracted from soil. *Soil Biol. and Biochem.*, 20, 1988, č. 5, s. 683-691.

NOVÁK, B. - APFELTALER, R.: Příspěvek k metodice stanovení respirace jako indikátoru mikrobiologických pochodů v půdě. *Rostl. Výr.*, 10, 1964, č. 2, s. 145-150.

RŮŽEK, L.: Rozsah biologické degradace půdy po dvacetiletém zavlažování. In: *Sbor. Vys. Šk. zeměd. Praha, Řada A*, 48, 1988, s. 115-124.

SKUJINS, I. I.: Enzymes in soil. In: MC LAREN, A. D. - PETERSON, G. H. (eds): *Soil Biochem.*, Marcel Dekker, 1967.

ŠČERBAKOVA, T. A.: *Fermentativnaja aktivnosť počv i transformacija organičeskogo veščestva*. Nauka i Techn. (Minsk), 1983.

ŠČERBAKOVA, T. A. - MAXIMOVA, V. P. - GALUŠKO, N. A.: Vydělení z počvy fermentativního komplexu, obladajícího amylolytickou aktivnost. *Dokl. AN BSSR*, 14, 1970, č. 7, s. 661-663.

ŠÍŠA, R.: Výzkum změn biologické aktivity půd v procesu rekultivací v SHR Most. [Dílčí zpráva.] Praha, VŠZ 1988.

ŠÍŠA, R.: Degradace biologické aktivity půdy dlouhodobými závlahami. In: *Sbor. Vys. Šk. zeměd. Praha, Řada A-C*, 53, 1991, s. 79-90.

ŠÍŠA, R.: Příspěvek k poznání biologické aktivity dlouhodobě zavlažovaných půd. In: 19. Sjezd Čes. Spol. mikrobiol. ČSAV, Košice, 1992.

ŠÍŠA, R. - BELATKOVÁ, P.: Effect of recultivation of enzymatic activity and respiration of soil. In: *Humus et Planta*, 10th Int. Symp. Praha, 1991.

TABATABAI, M. A. - BREMNER, J. M.: Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. and Biochem.*, 1, 1969, s. 301-307.

ŠÍŠA, R. (University of Agriculture, Praha):

Enzyme activity of soil as an indicator of biological activity.

Rostl. Výr., 39, 1993 (9): 817-825.

Statistically significant drop in selected enzyme activities (catalase by 36 %, dehydrogenase by 28 %, invertase by 14 %) indicated degradation of biological activity of soils irrigated for a long time identically with the decline in soil organic mass content (C_{ox} by 6 %) and by respirometric tests much earlier than the decrease of yields of agricultural crops. Changes in soil biological activity during recultivation in the region affected by surface lignite mining could be better grasped by selected soil enzyme activities.

Soil enzyme activities are to be evaluated in the context together with other physical and chemical properties of soil (C_{ox} , pH) and it is to be added with respirometric tests.

Kontaktní adresa:

Ing. Rostislav Š í š a , Vysoká škola zemědělská, 165 21 Praha 6-Suchbát

METEOROLOGICKÝ SLOVNÍK VÝKLADOVÝ A TERMINOLOGICKÝ

MŽP ČR, Academia 1993, cena 100 Kč

Slovník v rozsahu 594 stran obsahuje 162 literárních citací a 4089 hesel, z nichž 3200 je výkladových. Abecední rejstříky jsou uvedeny též ve slovenštině, angličtině, francouzštině, němčině a ruštině (na s. 414 až 420 s odbornými zkratkami).

Toto ojedinělé dílo bylo započato již v roce 1965, pracovali na něm odborní redaktoři RNDr. K. K r š k a, CSc. (P - ČHMÚ Brno), a RNDr. J. M u n z a r, CSc. (GÚ ČSAV Brno), a dalších 37 odborníků, díky nimž byl slovník přes mnohé peripetie dokončen.

Jména recenzentů zaručují odbornou úroveň této unikátní publikace (v návaznosti na slovník ČS BKS z roku 1980), která poslouží jak odborníkům, tak širší veřejnosti.

Slovník lze objednat na adrese: Český hydrometeorologický ústav, OVTEI, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany.

RNDr. Zdeněk S m o l í k, CSc.

ÚČINNOST KOMERČNÍCH INOKULAČNÍCH PREPARÁTŮ PRO SÓJU

S. Kálalová, T. Šimon

Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně

V nádobovém pokusu se zeminou a v polním pokusu byla testována účinnost několika komerčních inokulačních preparátů pro sóju. V nádobovém pokusu byla sledována nodulace pokusných rostlin, růstové a výnosové faktory, v polním pokusu struktura výnosu. Byly použity dva závlahové režimy. Omezená závlaha redukovala signifikantně tvorbu hlízek, jejich hmotnost i nitrogenázovou aktivitu u všech použitých variant ošetření. Průkazné rozdíly mezi jednotlivými inokulanty byly nalezeny ve výnosových parametrech. Kvalitní inokulace částečně redukovala nepříznivý efekt deficitu vody.

Inokulace osiva leguminóz se během tohoto století stala významnou součástí pěstování těchto plodin a je používána téměř celosvětově. Nejčastěji jsou vyráběny práškové inokulanty na bázi rašeliny, obsahující rhizobia. Tyto přípravky jsou těsně před setím míchány s osivem (Brockwell, 1977; Roughtley, 1988). Při použití tohoto způsobu inokulace se za příznivých podmínek vytvoří brzy velký počet hlízek na hlavním kořeni, blízko pod povrchem půdy (Mc Dermott, Graham, 1989). Z tohoto důvodu je tento způsob inokulace považován za nejlepší (Vincent, 1970). Přesto se vedou o účinnosti inokulací polemiky.

Účinnost závisí především na kvalitě kmenů rhizobií obsažených v preparátu a na prostředí, do kterého je preparát spolu s osivem introdukován. Hiltbold et al. (1980) uvádějí, že naději na úspěch mají inokulace, při kterých je na semeno dodáváno 10^5 až 10^6 bakterií, naopak inokulace, při nichž je na semenech 10^3 či méně bakterií inokulačního kmene, jsou neúčinné.

Vedle nutnosti vybrat nejlepší metodu inokulace je nutné znát velikost přirozených populací rhizobií v půdách, na kterých má být inokulace osiva použita. Početné populace nativních rhizobií mohou svou konkurenceschopností efekt inokulace výrazně snížit nebo zcela eliminovat. Tyto případy jsou velmi častým jevem při pěstování sóje v USA (Nelson et al., 1978; Kamicker, Brill, 1986). Příznivější situace nastává v těch případech, jsou-li do některých oblastí zaváděny nové druhy leguminóz, pro které v půdách chybí nativní rhizobia schopná nodulovat nově pěstovanou leguminózu. Inokulace osiva účinnými preparáty se pak stává nezbytností (Bromfield, Ayana, 1980). Tato situace nastala do určité míry i v Čechách, kde v posledních letech dochází k rozšiřování pěstitelských ploch sóje. Inokulace je proto v těchto nových oblastech nepostradatelná. Při použití kvalitních inokulačních preparátů lze v těchto podmínkách zvýšit výnosy zrna sóje o 20 až 50 % (Šimon et al., 1992).

Pro dosažení vysokých výnosů sóje je nutný správný výběr inokulantu, který má být použit. Porovnáním několika komerčních výrobků se zabývala naše práce. Testa-

ce probíhaly za optimálních i zhoršených vláhových podmínek, v nádobovém a polním pokusu.

MATERIÁL A METODA

Pro pokusy bylo získáno pět komerčních inokulačních preparátů pro sóju. Šlo o výrobky : Nitragin (USA), NPPL (Velká Británie), Biodoz (Francie), Gold Coat (Rakousko) a Rizobin (ČR). Všechny preparáty s výjimkou preparátu Gold Coat, byly vyrobeny na bázi jemně mleté rašeliny, zaočkované suspenzí *Bradyrhizobium japonicum*. V preparátu Gold Coat je rašelina nahrazena jemně mletými minerály. Preparáty byly vyrobeny v roce 1992. Před založením pokusů byl proveden mikrobiologický rozbor preparátů a stanovena jejich vlhkost (tab. I).

I. Mikrobiologický rozbor preparátů – Microbiological analysis of inoculants

Preparát ¹	Počet rhizobií v 1 g ²	Počet plísní v 1 g ³	Ostatní kontami- nace v 1 g ⁴	Vlhkost ⁵ (%)
Nitragin	$1,79 \cdot 10^9$	$7,50 \cdot 10^5$	$7,80 \cdot 10^7$	34,2
Biodoz	$5,29 \cdot 10^9$	$2,00 \cdot 10^7$	$5,00 \cdot 10^9$	35,2
NPPL	$1,75 \cdot 10^9$	0	$1,20 \cdot 10^6$	54,4
Gold Coat	$2,59 \cdot 10^8$	$2,88 \cdot 10^5$	$6,28 \cdot 10^7$	37,2
Rizobin	$7,58 \cdot 10^8$	0	0	43,8

¹inoculant, ²number of rhizobia in 1 g, ³number of fungi in 1 g, ⁴other contamination in 1 g, ⁵moisture

Mikrobiologický rozbor preparátů

10 g preparátu bylo sterilně přidáno do 90 ml vody a třepáno 1 h. Po vytřepání byla připravena postupným ředěním řada od 10^{-1} do 10^{-8} . Z každého stupně ředění byl odebrán 2 x 1 ml suspenze a kultivován na miskách s hrachovým agarem po dobu sedmi dnů při 28 °C. Po nárůstu kultur na miskách byl počítán celkový počet kolonií a vypočten celkový počet kolonie tvořících jednotek (CFU) *B. japonicum* v 1 g preparátu. Podobným způsobem za použití Jensenova agaru byla provedena kultivace ke stanovení plísní a další kontaminace. Zároveň byla stanovena sušina preparátu.

Pokus 1 (vegetační hala)

Vždy osm semen sóje (odrůda Polanka) bylo seto do plastických nádob s otvory ve dně. Nádoby byly plněny 7 kg přesáté a promíchané zeminy, pocházející z pozemků VÚRV Praha-Ruzyně. Půda v této lokalitě je hnědozem na spraši, obsah základních živin před založením pokusu: P 76, K 580, Mg 193 (mg/kg), N_t 0,133, C_{ox} 1,58, humus 2,73 (%), pH_{KCl} 7,0. Inokulace osiva preparáty byla provedena pro-

mícháním vodou ovlhčených semen s příslušným inokulantem. V případě inokulace Rizobinem byla voda nahrazena melasou (400 ml melasy + 400 ml vody/100 kg osiva). Osivo bylo u všech preparátů inokulováno v souladu s návodem na použití. Okamžitě po inokulaci byla semena zasetá. V kontrolní variantě byla seta neinokulovaná semena. Povrch nádob byl potom zasypán 1 až 2 cm vrstvou křemičitého písku a zalit vodou. Během vegetace byly nádoby s rostlinami umístěny ve skleněné vegetační hale. Byly použity dva závlahové režimy. V prvním byla udržována vlhkost půdy pravidelným zaléváním, ve druhém bylo zalévání redukováno na polovinu optimálního režimu. Nebylo použito umělé přisvěcování. Denní teploty se pohybovaly v rozmezí 22 až 32 °C, noční 12 až 18 °C. Po vyklíčení byly rostliny jednoceny na tři v nádobě. Každá varianta měla 10 opakování. Na začátku kvetení (42 dní od založení pokusu) byly rostliny odebrány ke stanovení celkové nitrogénové aktivity TNA (Hardy et al., 1973), počtu a hmotnosti sušiny hlízek a hmotnosti biomasy rostlin. Sklizeň pokusu proběhla v plné zralosti semen. Byly stanoveny výnosové parametry. Statistické zpracování bylo provedeno analýzou variance.

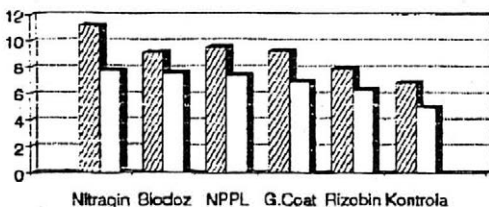
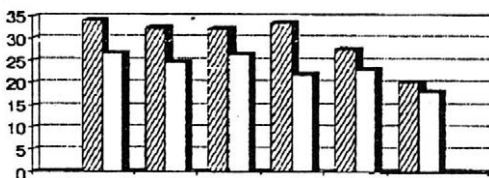
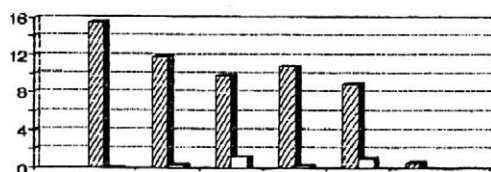
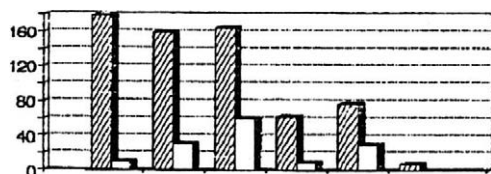
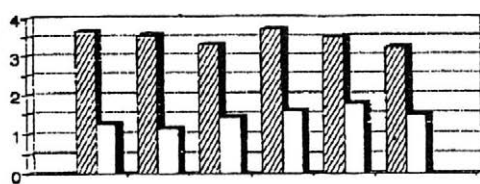
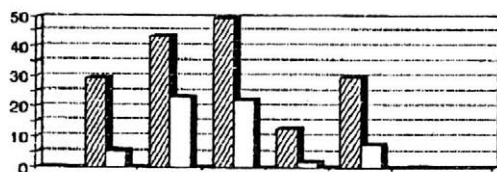
Pokus 2 (polní)

Pokus byl založen na pokusné stanici VÚRV Tišice (okres Mělník). Jde o stanoviště s lehkou hlinitopísčitou půdou, nadmořská výška je 168 m. Před setím byl obsah základních živin v půdě P 160, K 200 a Mg 65 (mg/kg), humus 2,5 %, pH_{KCl} 7,0. Předplodinou pro sóju byla ozimá pšenice. Po běžné jarní přípravě půdy bez hnojení dusíkatými hnojivy byla 6. 5. 1992 vyseta sója (odrůda Polanka) do parcelék 2,5 x 5 m v meziřádkové vzdálenosti 30 cm. Těsně před setím bylo osivo sóje ovlhčeno vodou (u přípravku Rizobin roztokem melasy) a promícháno s příslušným inokulantem. Počty živých buněk bakterií na jednom semeni jsou uvedeny v tab. II. Jako první byla zasetá neošetřená varianta. Po zasetí každé inokulované varianty byl zásobník secího ústrojí vypláchnut vodou a vytřen do sucha. Každá varianta měla tři opakování zavlažovaná a tři nezavlažovaná. Zavlažováno bylo postřikem v sedmi dávkách (21. 5. - 10 mm, 26. 5. - 25 mm, 29. 5. - 25 mm, 11. 6. - 20 mm, 3. 7. - 23 mm, 31. 7. - 22 mm, 7. 8. - 20 mm) v celkovém úhnu 135 mm. Po zasetí byl realizován postřik proti plevelům (Afaon 3 kg/ha). Rostliny začaly vzcházet 22. 5., počátek kvetení byl zaznamenán 26. 7., začátek tvorby lusků 3. 8. Sklizeň pokusu proběhla v plné zralosti

II. Přehled použitých preparátů – List of inoculants used

Preparát ¹	Hmotnost ha dávky ² (g)	Počet rhizobií na semenech při setí ³
Nitragin	476	$1,04 \cdot 10^6$
Biodoz	400	$2,65 \cdot 10^6$
NPPL	250 (na 75 kg osiva)	$9,12 \cdot 10^5$
Gold Coat	600	$1,94 \cdot 10^5$
Rizobin	800	$7,58 \cdot 10^5$

¹inoculant, ²weight of dose per hectare, ³number of rhizobia on seeds



1. – 7. Růstové a výnosové parametry sóje z nádobového vegetačního pokusu – Growth and yield – forming soybean parameters of pot experiment

▨ optimální závlaha - optimal irrigation

□ redukovaná závlaha - reduced irrigation

osa x: inokulanty - x axis: inoculants

osa y - y axis:

1. počet hlízek na rostlinu - nodule number per plant

2. sušina hlízek (mg/rostlina) - nodule dry weight (mg/plant)

3. TNA (μmol/rostlina/h - μmol/plant/hour)

4. sušina nadzemní hmoty (g/rostlina) - shoot dry weight (g/plant)

5. sušina kořenů (g/rostlina) - root dry weight (g/plant)

6. počet lusků na rostlinu - pod number per plant

7. výnos semen (g/rostlina) - grain yield (g/plant)

od 28. 9. do 7. 10. Byla stanovena délka rostlin v závěru vegetace a výnosové parametry při sklizni zrna. Zjištěné hodnoty byly zpracovány analýzou variance.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Pokus 1

Při inokulaci osiva testovanými preparáty bylo do půdy dodáno 10^5 až 10^6 buněk *B. japonicum* na semeno (tab. II). Toto množství je považováno za minimálně

8. – 10. Výnosové charakteristiky sóje z polního pokusu – Yield characteristics of soybean field experiment

▨ závlaha - irrigation

□ bez závlahy - without irrigation

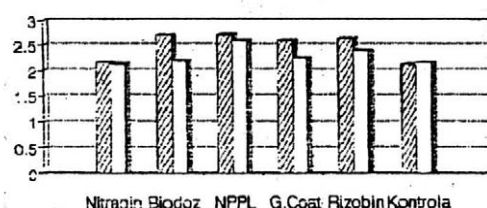
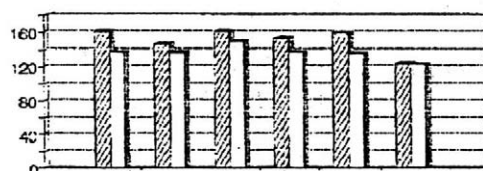
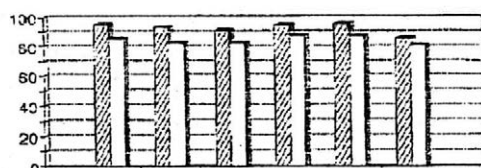
osa x: inokulanty - x axis: inoculants

osa y - y axis:

8. délka rostlin - plant length (cm)

9. HTS - TKW (g)

10. výnos semen - grain yield (t/ha)



potřebné k tomu, aby se projevil efekt inokulace a byl omezen vliv nekontrolovatelných ztrát způsobených metodou inokulace (C a t r o u x , A m a r g e r , 1992).

Poměrně vyrovnané počty buněk bradyrhizobií dodané s osivem do půdy tvořily signifikantně odlišné počty hlízek na rostlinách (obr. 1), a to jak vzhledem ke kontrolní neinokulované variantě, u které se tvořil vzhledem k velmi nízké přítomnosti nativních bradyrhizobií v použité půdě minimální počet hlízek, tak mezi jednotlivými variantami ošetření. Nejvyšší nodulace byla zaznamenána po inokulaci preparátu NPPL a Biodoz, naopak nejmenší po aplikaci inokulantu Gold Coat. Podobný trend byl zaznamenán i u hmotnosti hlízek (obr. 2).

Omezená závlaha redukovala signifikantně tvorbu hlízek i jejich hmotnost u všech použitých inokulantů. Markantně se projevil negativní vliv nedostatku vody v nitrogenázové aktivitě hlízek, která byla tímto zásahem v době měření téměř zcela inhibována (obr. 3). Redukovaná závlaha způsobila též značné snížení produkce biomasy rostlin u všech inokulovaných variant (obr. 4, 5). Potvrdil se tak předpoklad (K i r d a et al., 1987), že fixace N_2 je na vodní deficit velmi citlivá a rostliny jsou za tohoto stavu spíše zásobovány půdním N, jehož příjem není nedostatkem vody tak výrazně omezen. Za příznivých vláhových podmínek nebyly v tvorbě biomasy rostlin mezi jednotlivými inokulovanými variantami nalezeny signifikantní rozdíly (obr. 4, 5, tab. III). Menší počet a nižší hmotnost hlízek se negativně neprojevily na tvorbě sušiny nadzemní hmoty (obr. 4).

Výnos sóje je znázorněn na obr. 6, 7. Je patrné, že o výnosech semen rozhodlo především nasazení lusků na rostlině a jejich počty, které se signifikantně lišily

III. Statistické hodnocení pokusů – Statistical evaluation of experiments

Pokus ¹	Parametry ⁴	Inokulace ¹⁶	Závlaha ¹⁷	Inokulace x závlaha ¹⁸
Nádobový ²	počet hlízek ⁵ sušina hlízek ⁶ TNA ⁷ sušina nadzemní hmoty ⁸ sušina kořenů ⁹	odběr během vegetace ¹⁹		
		31,038 ^x	43,224 ^x	3,201 ^x
		5,964 ^x	50,883 ^x	2,797 ^{NS}
		14,210 ^x	306,336 ^x	16,852 ^x
		1,564 ^{NS}	374,517 ^x	1,050 ^{NS}
		0,819 ^{NS}	51,078 ^x	1,215 ^{NS}
	počet lusků na rostlině ¹⁰ počet semen v lusk ¹¹ HTS ¹² výnos semen ¹³	odběr během sklizně ²⁰		
		25,998 ^x	147,556 ^x	4,359 ^x
		2,831 ^x	1,542 ^{NS}	1,643 ^{NS}
		4,405 ^x	1,369 ^{NS}	7,441 ^x
		20,677 ^x	89,786 ^x	10,958 ^x
Polní ³	délka rostlin ¹⁴ počet lusků na rostlině ¹⁰ počet semen na rostlině ¹⁵ HTS ¹² výnos semen ¹³	odběr během sklizně ²⁰		
		3,114 ^x	32,282 ^x	0,274 ^{NS}
		1,185 ^{NS}	0,284 ^{NS}	0,653 ^{NS}
		1,959 ^{NS}	1,733 ^{NS}	0,713 ^{NS}
		5,873 ^x	14,973 ^x	0,978 ^{NS}
		4,156 ^x	5,367 ^x	1,131 ^{NS}

^x signifikantní rozdíly na hladině významnosti²¹ $P = 0,05$ %

^{NS} nesignifikantní rozdíly²²

¹ experiment, ² pot, ³ field, ⁴ parameters, ⁵ number of nodules, ⁶ nodule dry weight, ⁷ total nitrogenase activity, ⁸ shoot dry weight, ⁹ root dry weight, ¹⁰ number of pods per plant, ¹¹ number of seeds per pod, ¹² 1000 seed weight, ¹³ seed yield, ¹⁴ plant length, ¹⁵ number of seeds per plant, ¹⁶ inoculation, ¹⁷ irrigation, ¹⁸ inoculation x irrigation, ¹⁹ sampling during vegetation, ²⁰ sampling during harvest, ²¹ significant differences at level, ²² insignificant differences

(tab. III). Průměrné počty semen v lusk¹¹ se pohybovaly od 2 do 2,5 a použitím závlahy nebyly významně ovlivněny. Průměrná hmotnost tisíce semen (HTS) byla od 120 do 140 g. Nejvyšší výnos byl zaznamenán po aplikaci přípravku Nitragin, poněkud nižší výnosy byly dosaženy po aplikaci ostatních přípravků. I zde byly nalezeny signifikantní rozdíly (tab. III). Inokulace osiva se příznivě odrazila zvýšením výnosu i u variant s redukovanou závlahou. U výnosových parametrů byly nalezeny signifikantní vlivy interakcí ošetření x závlaha.

Pokus 2

Výnosy polního pokusu, HTS a délka rostlin jsou uvedeny na obr. 8 až 10. Doplňková závlaha zvětšila délku rostlin (obr. 8), avšak nasazení lusků (17 až 25

na rostlinu) ani počet semen (35 až 50 na rostlinu) neovlivnila (tab. III). Příznivě (signifikantně) se projevila v hmotnosti tisíce semen (obr. 9), čímž se zvýšil i celkový výnos semen u všech variant inokulace (obr. 10). Bergersen et al. (1989) uvádějí, že zavlažovaná sója prodlužuje průběh fixace N_2 , čímž dochází ke zvýšení hladiny proteinů v semenech i celkového výnosu.

Při porovnání účinnosti jednotlivých preparátů lze konstatovat, že v polních podmínkách byl preparát Nitragin neúčinný. Naopak Rizobin a NPPL v tomto pokusu zvýšily výnosy v průměru o 10 až 24 % nad úroveň kontrolní neinokulované varianty jak při použití závlahy, tak bez ní (obr. 10). Odlišnost efektivity preparátu v nádobovém a polním pokusu může být způsobena rozdílným půdním prostředím, do kterého byly přípravky vneseny, přestože počty bradyrhizobií aplikovaných na semena byly podobné.

Při komerčním využívání inokulantů různé provenience může docházet i k nekontrolovatelnému uvolňování neznámých mikroorganismů do půdy, k jejich usídlení a přežívání. Tento problém se týká především kontaminovaných inokulantů (Cattroux, Amarger, 1992). Z tohoto pohledu je vhodné používat kvalitní inokulanty, vyráběné na bázi sterilního nosiče. Těmto požadavkům v našem pokusu nejvíce vyhovoval český preparát Rizobin (tab. I), který žádné další mikroorganismy neobsahoval.

Literatura

- BERGERSEN, F. J. - BROCKWELL, J. - GAULT, R. R. - MORTHORPE, L. - PEOPLES, M. B. - TURNER, G. L.: Effects of available soil nitrogen and rates of inoculation on nitrogen fixation by irrigated soybeans and evaluation of ^{15}N methods for measurement. *Austral. J. agric. Res.*, 49, 1989, s. 763-780.
- BROCKWELL, J.: Application of legume seed inoculants. In: HARDY, R. W. F. - GIBSON, A. H. (eds): A treatise on dinitrogen fixation. John Wiley and Sons 1977, s. 277-309.
- BROMFIELD, E. S. P. - AYANABA, A.: The efficacy of soybean inoculation on acid soil in Tropical Africa. *Pl. and Soil*, 54, 1980, s. 95-106.
- CATROUX, G. - AMARGER, N.: Rhizobia as soil inoculants in agriculture. In: DAY, M. J. - ORY, J. C. (eds): Environmental release of genetically engineered and other microorganisms. Cambridge Univ. Press 1992, s. 1-13.
- HARDY, R. W. F. - BURNS, R. C. - HOLSTEN, R. D.: Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil Biol. and Biochem.*, 5, 1973, s. 47-81.
- HILTBOLD, A. E. - THURLOW, D. L. - SHIPPER, H. D.: Evaluation of commercial soybean inoculants by various techniques. *Agron. J.*, 72, 1980, s. 675-681.
- KAMICKER, B. - BRILL, W. J.: Identification of *Bradyrhizobium japonicum* nodule isolates from Wisconsin soybean farms. *Appl. env. Microbiol.*, 51, 1986, s. 487-492.
- KIRDA, C. - DANSO, S. K. A. - ZAPATA, F.: Temporal water stress on nodulation, nitrogen accumulation and growth of soybean. *Pl. and Soil*, 120, 1989, s. 49-55.
- MC DERMOTT, T. R. - GRAHAM, P. H.: *Bradyrhizobium japonicum* inoculant mobility, nodule occupancy, and acetylene reduction in the soybean root system. *Appl. env. Microbiol.*, 55, 1989, s. 1711-1716.
- NELSON, D. W. - SWEARINGIN, M. L. - BECKHAM, L. S.: Response of soybean to commercial soil applied inoculants. *Agron. J.*, 70, 1978, s. 517-518.

ROUGHLEY, R. J.: Legume inoculants; their technology and application. In: BECK, D. P. - MATHERON, L. A. (eds): Nitrogen fixation by legumes in mediterranean agriculture. Icarda, 1988, s. 259-269.

ŠIMON, T. - KÁLALOVÁ, S. - ŠINDELÁŘOVÁ, M.: Study of nodulation and yield parameters of soybean after application of two types of inoculants on different conditions of irrigation. Scientia Agric. bohemosl., 24, 1992, s. 215-229.

VINCENT, J. M.: A manual for the practical study of the root - nodule bacteria. Blackwell, Oxford, IBP Handbook 1970, č. 15.

Došlo 10. 2. 1993

KÁLALOVÁ, S. - ŠIMON, T. (Research Institute of Crop Production, Praha-Ruzyně):

Efficiency of commercial inoculants for soybean.

Rostl. Výr., 39, 1993 (9): 827-834.

To reach high soybean yields, it is suitable to use inoculants, especially in those growing areas where soils do not contain native populations of appropriate rhizobia or where their occurrence is limited. To observe growth and yields of soybean treated by different commercial inoculants, was the object of this paper.

Pot vegetation experiment with soil, as well as field experiment, were carried on. The influence of different irrigation doses upon soybean growth and yield was established in both types of experiments. Five commercial inoculants (originating in the USA, Great Britain, France, Austria and the Czech Republic) were used in the experiment. Before starting the experiments, their quality was tested from the point of view of rhizobial cells quantity in 1 g of inoculant, as well as from that of their microbial purity. For control, non-inoculated variants were found. Inoculation was done by mixing moistened seed with appropriate quantity of inoculant close to sowing. The Czech variety Polanka was used in the experiment. Nodulation, as well as the number, weight and nitrogenase activity of nodulated roots, were observed during the plant vegetation. In the moment of full ripeness yield parameters and their structures were observed.

During seed inoculation 10^5 to 10^6 *Bradyrhizobium japonicum* cells were added to each seed. This quantity is considered as minimal necessary for the inoculation effect to be evident. Relatively balanced bradyrhizobia cells quantities formed significantly distinguished numbers of nodules per plant in dependence to the inoculant used, but no significant differences were found in the plant biomass. Limited irrigation significantly reduced the nodule formation, their weight and nitrogenase activity with all the inoculants. The seed yield too was highly reduced at limited irrigation. Seed yield was dependent mainly on pod spreading on the plant and on their weight. Significant differences were found in inoculants as far as the seed yield is concerned, application of each inoculant increased the soybean seed yield above the level of the untreated variant. Some significant influences of interactions inoculation x irrigation were found.

Kontaktní adresa:

RNDr. Sylvie Kálalová, Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507,
161 06 Praha 6-Ruzyně

VYUŽITÍ FOREM PŮDNÍHO FOSFORU PRO CHARAKTERISTIKU VÝŽIVNÉHO STAVU ČERNOZEMĚ

V. Macháček

Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně

Část dlouhodobého polyfaktoriálního výživářského pokusu z období 1982 až 1987 založeného na černoze (Pohořelice), z něhož jedna část zahrnuje stupňované hnojení fosforem, byla využita pro charakteristiku fosforečného režimu pomocí různých forem půdního fosforu. Bylo zjištěno, že dominantní úlohu ve výživě rostlin má obsah vodorozpustného fosforu, který na této půdě přednostně stanovuje Olsenova a CaCl_2 metoda. Egnerova metoda je nevhodná, protože stanovuje především pohyblivý a chemicky vázaný fosfor, a tím nadhodnocuje obsah přístupného fosforu. Mehlichova metoda II tvoří mezičlánek mezi oběma typy metod. Hnojení fosforem zvyšuje především obsah pohyblivého fosforu a jen nepatrně obsah vodorozpustného fosforu, a to proto, že tato půda má velkou adsorpční mohutnost. Jsou uvedena kritéria zásobenosti půd fosforem pro použité metody.

Všeobecně je známo, že fosfor přístupný rostlinám je součtem různých forem půdního fosforu. V každém případě zahrnuje obsah vodorozpustného fosforu a pak další nedefinovatelné formy, které se stanovují různými chemickými nebo fyzikálně chemickými způsoby. Tyto nedefinovatelné formy půdního fosforu jsou nazývány různě: pohyblivý, výměnný, fixovaný, adsorbovaný, labilní, metastabilní apod. fosfor nebo nebo též jsou zahrnuty do obecného názvu kapacita. Jejich stanovení je problematické, protože při jakékoliv extrakci dochází k nedefinovatelnému rozpouštění různých sloučenin půdního fosforu. Obecně však platí, že druh extrakčního činidla a půdní typ - subtyp rozhoduje o tom, která forma fosforu je přednostně extrahována z půdy.

Různých forem a ukazatelů půdního fosforu ke studiu fosforečného režimu půd již využili někteří autoři: Ryden, Syers (1977) - studium labilních forem fosforu v půdě; Richter, Flossmann (1988) - volný, dostupný a těžko rozpustný fosfor; Sharpley et al. (1989) - labilní, sorbovaný a celkový fosfor; Buzás (1988) - celkový, přístupný a rovnovážný fosfor po hnojení; Shaviv, Shachar (1989) - vodorozpustný, přístupný a neextrahovatelný fosfor. K řešení podobné problematiky byla využita metoda s katexem, pomocí níž lze stanovit přímým a nepřímým způsobem tři formy půdního fosforu: vodorozpustný (P_v), pohyblivý (P_k) a přístupný ($P_k + P_v$) fosfor (Macháček, 1986b). Ze stanovení rychlosti uvolňování fosforu z půdy pomocí katexu lze vypočítat obsah tzv. labilních forem, které pro kinetickou studii zavedli Sharpley, Ahuja (1981) a pou-

žil také M a c h á ě k (1986a). Výpočtem lze zjistit i tzv. uvolnitelné formy (M a c h á ě k 1986c).

Stanovením forem půdního fosforu se získá dokonalejší přehled o tom, která metoda pro stanovení přístupného fosforu je nejvhodnější pro určitý půdní typ, do jakých forem přechází fosfor z fosforečných hnojiv, jak se bude z nich uvolňovat a která forma na dané půdě je nejdůležitější pro výživu rostlin (M a c h á ě k , 1990; M a c h á ě k , Š v a r c , 1990, 1991 aj.).

MATERIÁL A METODA

Ke splnění uvedeného cíle byly použity průměry z výsledků každoročního sledování v období 1982 až 1987 ze tří variant dlouhodobého polyfaktoriálního pokusu, který byl založen na pokusné stanici v Pohořelicích v roce 1979. Na dané lokalitě je černozem illimerizovaná (ČMi), hlinitá na spraši. Výchozí výsledky z roku 1979: pH 7,3; Egner 95 mg P.kg⁻¹; Schachtschabel 230 mg K.kg⁻¹, 85 mg Mg.kg⁻¹; sorpční index 2,41; rychlost uvolňování fosforu $R_k + R_v$, R_v a R_k je 9,3; 8,1; 1,2 mg P.kg⁻¹.min^{-1/2} (M a c h á ě k , 1990).

Plodiny a dávky hnojiv v jednotlivých letech: 1982 - ozimá pšenice (125 - 70 kg N-K.ha⁻¹); 1983 - jarní ječmen (90 - 50 kg N-K.ha⁻¹); 1984 - cukrovka (150 - 150 kg N-K.ha⁻¹, hnůj 40 t.ha⁻¹); 1985 - jarní ječmen (60 - 50 kg N-K.ha⁻¹); 1986 - 1987 - vojtěška (40 - 100 kg N-K.ha⁻¹). Při uvedených dávkách hnojení N-K bylo stupňované P-hnojení o dávce 0; 40; 80 kg P.ha⁻¹ (varianta 1, 2, 3). Pro sledování změn obsahu fosforu v půdě v závislosti na dávce P-hnojiva, obsah fosforu při dávce 20 a 60 kg.ha⁻¹ se dopočetl metodou klouzavých křivek (P a v e l et al., 1985).

Ke sledování fosforečného režimu byly použity tyto ukazatele:

1. přístupný fosfor (E g n e r et al., 1938; O l s e n et al., 1954; M e h l i c h , 1978 - úprava ÚKZÚZ Brno);
2. katexová metoda - obsah celkově přístupného ($P_k + P_v$), pohyblivého (P_k) a vodorozpustného (P_v) fosforu (M a c h á ě k , 1986b);
3. labilní formy přístupného ($O_k + O_v$), pohyblivého (O_k) a vodorozpustného (O_v) fosforu - výpočtem z rychlosti uvolňování fosforu v čase $t = 0$ (M a c h á ě k , 1986a).
4. uvolnitelné formy přístupného ($D_k + D_v$), pohyblivého (D_k) a vodorozpustného (D_v) fosforu - výpočtem z rozdílu mezi ukazateli, uvedené v době 2 a 3 (např. $D_k + K_v = P_k + P_v - O_k + O_v$ atd. (M a c h á ě k , 1986c).
5. CaCl₂-extrakce 0,01 M CaCl₂ (A s l y n g , 1954); tento ukazatel dříve nazývaný intenzita.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Přehled výsledků statistických ukazatelů obsahu různých forem půdního fosforu za sledované období je uveden v tab. I, a to pouze jako průměry hodnot ze tří variant; z toho varianta 2 je uvedena dvakrát, protože z praktického hlediska má na pokusné parcele dvojnásobné opakování (dávka 91,7 kg P₂O₅.ha⁻¹).

I. Přehled průměrů výsledků sledovaných statických ukazatelů (mg.kg^{-1}) – The survey of average results of parameters observed (mg.kg^{-1})

Varianta ¹	$P_k + P_v$	P_v	P_k	Egner	Olsen	Mehlich	CaCl_2 ($\mu\text{l.1000 ml}^{-1}$)
1	219	21	198	110	42	74	142
2	249	30	219	131	57	92	253
2	252	39	217	129	61	97	247
3	325	32	293	156	64	107	275
	$O_k + O_v$	O_v	O_k	$D_k + D_v$	D_v	D_k	Odběr ² P (kg.ha^{-1})
1	147	15	132	72	6	66	24,4
2	156	23	133	93	7	86	24,0
2	158	24	134	94	10	84	25,7
3	197	22	175	128	11	118	27,0

¹variant, ²uptake

II. Přehled regresních a korelačních koeficientů polynomu prvního řádu mezi odběrem P a výsledky jednotlivých ukazatelů – The survey of regression and correlation coefficients of polynomial first order of relationship between P uptake and respective parameters

Metoda ¹	a	b	r		a	b	r
$P_k + P_v$	22,5	0,010	0,347	$O_k + O_v$	22,0	0,019	0,317
P_v	20,6	0,159	0,706	O_v	21,8	0,166	0,498
P_k	23,2	0,009	0,271	O_k	25,2	0,001	0,048
Egner	22,1	0,024	0,331	$D_k + D_v$	23,2	0,022	0,370
Olsen	20,8	0,080	0,577	D_v	20,2	0,591	0,966
Mehlich	21,5	0,041	0,530	D_k	23,7	0,018	0,293
CaCl_2	22,3	0,012	0,606				

Vysvětlivky k tab. II až IV – Explanations for Tabs II to IV:

0,878 - průkazný vztah – significant relationship

0,959 - vysoce průkazný vztah – highly significant relationship

r - korelační koeficient – correlation coefficient

rovnice – equation $Y = a + bx$

¹method

Z hodnot korelačních koeficientů (tab. II) vyplývá, že ukazatele stanovující vodorozpustné formy (P_v , O_v , D_v) mají nejvyšší vztahy s odběrem fosforu, z nichž pouze velmi průkazný vztah má D_v . Olsenova, Mehlichova a $CaCl_2$ metoda mají výrazně vyšší vztahy než Egnerova metoda. To znamená, že o odběru fosforu na této půdě bude rozhodovat obsah vodorozpustného fosforu stanovený jakoukoliv metodou. Egnerova metoda společně s obsahem pohyblivých forem (P_k , O_k , D_k), z kterých se hlavně doplňuje fosfor do půdního roztoku, mají nejnižší neprůkazné vztahy. Z hodnot regresních koeficientů vyplývá, že se stoupajícím obsahem vodorozpustného fosforu bude se úměrně zvyšovat jeho příjem, a to nezávisle na obsahu půdní zásoby. Podle těchto vztahů lze ověřované metody rozdělit do dvou skupin:

1. skupina - metody stanovující na této půdě přednostně vodorozpustný fosfor (Olsenova a $CaCl_2$ metoda);
2. skupina - metody stanovující na této půdě přednostně pohyblivý, sorbovaný fosfor (Egnerova metoda a podobné metody).

Metody a ukazatele, které byly zařazeny do stejných skupin, mají mezi sebou nejvyšší vztahy (tab. III). Mehlichova metoda má nejmenší rozptyl hodnot korelačních koeficientů s metodami, resp. ukazateli zařazenými do obou skupin. Potom lze vyvodit závěr, že Mehlichova metoda bude na této půdě tvořit mezičlánek mezi první a druhou skupinou metod.

V tab. IV je uveden přehled závislostí ukazatelů, resp. metod na dávce fosforu pomocí polynomu prvního a druhého řádu. Pro skupinu metod, resp. ukazatelů, které mají malý rozdíl mezi hodnotami korelačních koeficientů u jednotlivých polynomů, je možné pro výpočet relativního zvýšení obsahu fosforu v půdě použít rovnic obou polynomů (Egner, Mehlich, $P_k + P_v$, P_k , $D_k + D_v$, D_k a D_v). Pro ostatní ukazatele, resp. metody je vhodnější použít polynomu druhého řádu.

Vlastnost půdy různě ovlivňuje extrahovatelnost forem fosforu, což je potvrzeno různými znaménky (+ nebo -) u regresních koeficientů rovnic polynomu druhého řádu (tab. IV). Tento jev je zřejmý z průběhu závislostí na obr. 1 a 2. Z obr. 1 vyplývá, že dávky fosforu výrazně ovlivňují zvyšování pohyblivých forem P_k (křivka 2), které tvoří podstatnou část celkově přístupného fosforu $P_k + P_v$ (křivka 1). Obsah vodorozpustného fosforu P_v (křivka 3 - vyšrafovaná část) se však výrazně nezvyšuje a má lineární průběh. Na obr. 2 jsou znázorněny závislosti metod stanovujících přístupný fosfor. Tvar křivek je závislý na tom, jak je která forma půdního fosforu danou metodou přednostně stanovována. Egnerova metoda (křivka 1) je ovlivňována pohyblivým, adsorbovaným fosforem P_k , který je extrahován extrakčním činidlem z půdního komplexu, a proto má lineárnější závislost. Olsenova metoda (křivka 3) přednostně stanovuje vodorozpustný fosfor P_v , který je na této půdě výrazně ovlivňován sorpčními vlastnostmi půdy a z toho důvodu přechází v kvadratickou závislost při vyšších dávkách P-hnojiva. Mehlichova metoda (křivka 2) svým průběhem potvrzuje mezičlánek mezi metodami první a druhé skupiny. Při dávce fosforu přibližně do $55 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ je u všech metod závislost téměř lineární a nad tuto dávku přechází podle druhu extrakčního činidla v závislost kvadratickou.

Z praktického pohledu využití metod a forem fosforu v půdě pro interpretaci výsledků je důležité znát hodnocení obsahu fosforu v půdě. Vypočtená pětistupňová

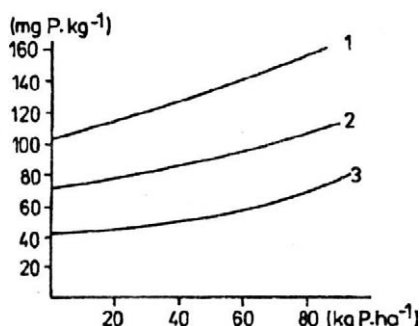
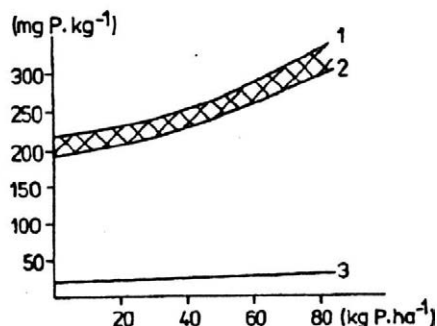
III. Přehled regresních a korelačních koeficientů polynomu prvního řádu vztahů mezi výsledky ukazatelů – The survey of regression and correlation coefficients of polynomial first order of relationship between results of parameters

		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
Egner	Olsen	25,9	0,240	0,656	Olsen	Egner	24,4	1,789	0,656
	Mehlich	8,5	0,642	0,966		Mehlich	7,6	1,444	0,797
	CaCl ₂	10,9	1,783	0,696		CaCl ₂	-141	6,699	0,960
	P _k + P _v	22,3	1,844	0,951		P _k + P _v	16,9	4,420	0,732
	P _v	11,37	0,141	0,614		P _v	-3,9	0,589	0,935
	P _k	10,9	1,703	0,939		P _k	44,7	3,185	0,644
Mehlich	Egner	-3,9	1,453	0,966	CaCl ₂	Egner	60,9	0,272	0,696
	Olsen	17,1	0,439	0,796		Olsen	23,9	0,137	0,960
	CaCl ₂	-56,5	3,276	0,851		Mehlich	36,9	0,221	0,851
	P _k + P _v	15,9	2,670	0,915		P _k + P _v	134	0,507	0,669
	P _v	4,6	0,277	0,796		P _v	8,3	0,089	0,987
	P _k	11,3	2,394	0,877		P _k	125	0,418	0,590

IV. Přehled regresních a korelačních koeficientů polynomu prvního a druhého řádu závislosti ukazatelů a odběru P na dávce P – The survey of regression and correlation coefficients of polynomial first and second order of relationship of parameters and P uptake on the dose P

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> 10 ⁻³	<i>r</i>
Mehlich	75	0,417	0,960	73	0,636	-2,7	0,966
CaCl ₂	172	1,673	0,707	137	4,894	-38,6	0,935
Egner	108	0,583	0,993	110	0,442	1,7	0,997
Olsen	45	0,278	0,872	41	0,597	-3,9	0,957
P _k + P _v	207	1,345	0,944	219	0,260	13,3	0,998
P _v	22	0,176	0,817	21	0,337	-1,9	0,972
P _k	183	1,206	0,890	198	-0,194	17,2	0,999
O _k + O _v	139	0,635	0,883	147	-0,129	9,4	0,998
O _v	17	0,126	0,827	15	0,312	-2,3	0,997
O _k	121	0,547	0,748	132	-0,480	12,7	0,999
D _k + D _v	68	0,710	0,982	72	0,390	3,9	0,999
D _v	6	0,051	0,935	5	0,026	0,3	0,910
D _k	62	0,659	0,970	66	0,285	4,6	0,995
Odběr P	24	0,017	0,527	24	-0,011	0,4	0,299

rovnice – equation $Y = a + bx$; $Y = a + bx + cx^2$



1. Vliv dávky P na obsah forem P – The effect of P dose on the content of P forms

osa x - dávky P – x axis - P doses

osa y - obsah forme P – y axis - content of P forms

1 - přístupný P ($P_k + P_v$) - available P ($P_k + P_v$)

2 - pohyblivý P (P_k) - movable P (P_k)

3 - vodorozpustný P (P_v) - water soluble P (P_v)

vyšrafovaná plocha - vodorozpustný P (P_v) –

hatched area - water soluble P (P_v)

2. Vliv dávky P na obsah přístupného P – The effect of P dose on the content of available P

osa x - dávky P – x axis - P doses

osa y - obsah přístupného P – y axis - content of available P

1 - Egnerova metoda – Egner's method

2 - Mehlichova metoda – Mehlich's method

3 - Olsenova metoda – Olsen's method

V. Hodnocení obsahu fosforu (mg.kg^{-1}) v půdě stanoveného různými metodami – The evaluation of phosphorus content (mg.kg^{-1}) in soil determined by different methods

Obsah ¹	Olsen	CaCl_2 ($\mu\text{g.1000 ml}^{-1}$)	Mehlich II
Malý ²	do ⁷ 32	do 64	do 28
Střední ³	33 - 42	65 - 127	29 - 50
Dobry ⁴	43 - 46	128 - 154	51 - 60
Vysoký ⁵	46 - 55	155 - 225	61 - 86
Velmi vysoký ⁶	nad ⁸ 56	nad 226	nad 87
	$P_k + P_v$	P_v	P_k
Malý	do 78	do 12	do 66
Střední	79 - 142	13 - 21	67 - 121
Dobry	143 - 170	21 - 23	122 - 146
Vysoký	171 - 244	24 - 28	147 - 216
Velmi vysoký	nad 245	nad 29	nad 217

¹ content, ² low, ³ medium, ⁴ good, ⁵ high, ⁶ very high, ⁷ to, ⁸ above

kritéria zásobenosti půd fosforem jsou uvedena v tab. V. Následné určení dávek hnojiv podle získaných kritérií bude pravděpodobně v rozporu s komplexní metodikou výživy rostlin, protože metodika vychází z jiných principů použité metody. Nebere se v úvahu obsah vodorozpustných forem fosforu, nýbrž větší část pohyblivého, adsorbovaného fosforu a je tak výrazně ovlivněna interpretace výsledků získaných Egnerovou metodou a částečně i Mehlichovou metodou.

Z výsledků lze formulovat tyto závěry:

- Obsah vodorozpustného fosforu, který převážně stanovuje Olsenova a CaCl_2 metoda, je hlavním ukazatelem pro výživu rostlin. Metoda podle Mehlicha je vhodnější než Egnerova metoda.
- Hnojení fosforem zvyšuje především obsah pohyblivého, adsorbovaného fosforu P_k , který je hlavně stanovován Egnerovou metodou, čímž bude na této půdě nadhodnocován obsah přístupného fosforu. Chemisorpce bude převládat nad fyzikálně chemickou, výměnnou sorpcí.
- Uvolňování fosforu z půdního komplexu do formy rostlinám nejlépe přijatelné je velmi nízké a není adekvátní půdní zásobě ve formě adsorbovaného fosforu.
- Vysoké dávky P-hnojiva na této půdě nebudou působit depresivně, protože půda vzhledem k vysokému obsahu pohyblivého fosforu a nízkému obsahu vodorozpustného fosforu má dobré pufrací vlastnosti.
- Do dávky $55 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ je závislost všech obsahů forem téměř lineární a pak podle druhu extrahované formy přechází různě v kvadratickou závislost.

Literatura

- ASLYNG, H. C.: The lime and phosphorus potentials of soils. Yearb. roy. veter. agric. Coll. (Copenhagen), 1954.
- BUZÁS, I.: Kinetisches Model pflanzenverfügbarer Nährstoffe. In: Charakterisierung pflanzenverfügbarer Nährstoffe im Boden. Tagungsberichte (Dtsch. Akad. Landwirtsch.), 1988, č. 267, s. 25-30.
- EGNER, H. et al.: Die Laktatmethode zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphorsäure in Ackerböden. K. Lantbr.-Höogsk. Ann., 6, 1983.
- MACHÁČEK, V.: Determination of rate releasing of phosphorus from soil. Patent number: AO 247-522, 1986a.
- MACHÁČEK, V.: Determination of releasing reserve of phosphorus from soil. Patent number: AO 247-986, 1986b.
- MACHÁČEK, V.: Verification of a new method determining the rate of phosphorus release from the soil. Rostl. Výr., 32, 1986c, č. 5, 473-480.
- MACHÁČEK, V.: Characterization of phosphate regime factors in chernozem. Rostl. Výr., 36, 1990, č. 2, s. 119-130.
- MACHÁČEK, V. - ŠVARC, J.: Improvement of the method of the determination of phosphorus in soil. Agrochémia, 30, 1990, č. 9, s. 278-281.
- MACHÁČEK, V. - ŠVARC, J.: Supplemental methods of defining the plant nutrition by phosphorus. Rostl. Výr., 37, 1991, č. 5, s. 463-472.
- MEHLICH, A. et al.: New exctractant for soil test evaluation of phosphorus potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. Commun. Soil. Sci. Pl. Ann., 9, 1978, č. 6, s. 477-492.

OLSEN, S. R. et al.: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dep. Agric. Stat., 1954, 39 s.

PAVEL, L. et al.: Transport of solute with soil solution. Praha, VŠZ 1985.

RICHTER, D. - FLOSSMAN, R.: Charakterisierung der Phosphor-Freisetzung und des schwerlöslichen Phosphors in den Böden der DDR. In: Charakterisierung pflanzenverfügbarer Nährstoffe im Boden. Tagungsberichte (Dtsch. Akad. Landwirtsch.), 1988, č. 267, s. 31-38.

RYDEN, J. C. - SYERS, J. K.: Origin of the labile phosphate pool in soil. Soil Sci., 123, 1997, č. 6, s. 353-361.

SHARPLEY, A. N. - AHUJE, L. R.: The kinetics of phosphorus desorption from soil. Soil Sci. Soc. Amer. J., 49, 1981, s. 493-496.

SHARPLEY, A. N. - SINGH, V. et al.: Modelling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils. Soil Sci. Soc. Amer. J., 53, 1989, č. 1, s. 153-158.

SHAVIV, A. - SHACHAR, N.: A kinetic-mechanistic model of phosphorus sorption in calcareous soils. Soil Sci., 148, 1989, č. 3, s. 172-178.

Došlo 24. 2. 1993

MACHÁČEK, V. (Research Institute of Crop Production, Praha-Ruzyně):

The use of soil phosphorus forms to characterize the nutrition conditions of chernozem.
Rostl. Výr., 39, 1993 (9) : 835-843.

Averages of results from yearly observation of a longterm polyfactorial trial performed in the period of 1982 - 1987 were used to characterize the nutritional level of chernozem.

The soils were analyzed by the following methods:

1. Available P: Egner et al. (1938); Olsen et al. (1954); Mehlich et al. (1978); 0,01 M CaCl_2 - Aslyng (1954);
2. Method with cation-exchanger resin, total forms: available P ($P_k + P_v$); movable P (P_k); water-soluble P (P_v) - Macháček (1986a);
3. Labile forms: available P ($O_k + O_v$); movable P (O_k); water-soluble P (O_v) - Macháček (1986b);
4. Releasable forms: available P ($D_k + D_v = P_k + P_v - O_k + O_v$); movable P ($D_k = P_k - O_v$); water-soluble P ($D_v = P_v - O_v$) - Macháček (1986c).

Water-soluble forms of soil phosphorus have the highest relationship with P uptake and the D_v form releasable from them has the highest significant relationship. Olsen's, Mehlich's and CaCl_2 methods have expressively higher relationships than Egner's method (Tab. II). Water-soluble P content will decide about the best P uptake, that is independently on the movable (P_k), absorbed phosphorus content. The methods may be divided into two groups according to the relationship with P uptake by soil phosphorus forms:

1. Methods determining mainly the water-soluble P (Olsen's and CaCl_2 method);
2. Methods determining movable phosphorus (Egner's method and other methods) preferentially.

The methods and parameters, ranked among identical groups, have the best mutual relationships (Tab. III). Mehlich's methods is a connecting link between the 1st and the 2nd group of the methods, as it equally extracts both forms of soil phosphorus.

For calculation of relative increase of phosphorus content in soil after fertilization in all the spectrum it is better to use the equation of polynom of the 2nd order. The dependence is almost linear for all the parameters up to the dose of 55 kg P.ha⁻¹ (126 kg P₂O₅.ha⁻¹) and therefore it is possible to calculate the increasing phosphorus content in the soil by the equation of polynom of the 1st order (Tab. IV and Figs 1 and 2). The shape of curve is dependent on the phosphorus form extracted from the soil. Egner's method has a more linear curve than the Olsen's one because, besides the water-soluble phosphorus, it extracts also movable phosphorus. Olsen's method extracts mainly the water-soluble phosphorus. The Mehlich's method is a connecting link between Egner's and Olsen's methods which is showed again by the form of extraction curve (Fig. 2, curve 2). The content of water-soluble phosphorus (Fig. 2, curve 3) is slightly increasing after fertilization with regard to increasing movable phosphorus content (Fig. 2, curve 3).

The determination of fertilizers doses should be based on criteria of the content of water-soluble forms or of such a content of movable forms that will ensure a suitable content of water-soluble form. This idea is in controversy to the contemporary theory of plant nutrition methods which get out from other principles of the used method (Egner - Mehlich II). This method over-evaluates the content of available phosphorus for this soil type. The calculated 5-level criteria of soil supply of phosphorus are presented in Tab. V. They take into consideration the suitable content of water-soluble phosphorus and the quantity of movable phosphorus which must be in the soil to ensure the required content of water-soluble phosphorus.

The following conclusions can be formulated from the results:

- the content of water-soluble P is a leading parameter for plant nutrition which is determined by Olsen's method and method with CaCl₂. Egner's method is unsuitable. Mehlich's method is a connecting link among these methods;
- P-fertilization increases the content of movable, adsorbed P which is determined by Egner's method and this method overestimates the level of available phosphorus. Chemical adsorption is dominant over physical-chemical adsorption;
- the release of phosphorus into forms which are the best available to plants is very low and is not adequate to soil reserve in the form of adsorbed phosphorus;
- high doses of P-fertilizer will not act depressively on this soil as it has a very good buffer capacity;
- for calculation of increasing of phosphorus content up to the dose of 55 kg P.ha⁻¹ it is possible to use equations of polynom of the first order;
- criteria of soil supply with phosphorus take into consideration water-soluble forms levels of soil phosphorus.

Kontaktní adresa:

RNDr. Václav Macháček, CSc., Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507,
161 06 Praha 6-Ruzyně



**VÝHODNÝ LEASING
STROJŮ A ZAŘÍZENÍ
NEJEN PRO ZAČÍNÁJÍCÍ
PODNIKATELE**

ADEKO a. s. Vám nabízí

- ☐ kapitálovou účast v jiných podnikatelských subjektech
- ☐ společné podnikání
- ☐ poradenskou, konzultační a zprostředkovatelskou činnost v oboru ekologie
- ☐ investorskou a investiční činnost
- ☐ řešení odbytových potíží výrobcům a obchodním organizacím formou leasingového financování

**ADEKO a. s.
Slezská 7
120 56 Praha 2**

**tel.: 258 342
fax: 207 229**



DYNAMIKA PŮDNÍCH FOSFÁTŮ A JEJICH ZMĚNY V PODMÍNKÁCH ZÁVLAHY

J. Rikanová¹, R. Rozsypal²

¹Vysoká škola zemědělská, Brno

²Výzkumný ústav ekoagrotechniky, Hrušovany u Brna

V polních pokusech v letech 1984 až 1987 v kukuřičné výrobní oblasti na černozemní půdě byl sledován fosfátový režim v půdě pod závlahou a bez závlah s třemi variantami hnojení a plodinou kukuřice na zrno. Víceleté zavlažování kukuřice vyvolalo v průběhu pokusných let jen nepatrné snížení pH/KCl. Z výsledků frakcionace anorganických půdních fosfátů Chang-Jacksonovou metodou vyplývá, že nastaly změny u všech pěti frakcí minerálních fosfátů na zavlažovaných variantách. Závlaha zvyšovala tvorbu železitých fosfátů (Fe - P) a současně s tím nastal pokles vápenatých fosfátů (Ca - P) a V. frakce (zbytkový fosfor). Rovněž byl zaznamenán pokles fosfátů labilních (L - P) a hlinitých (Al - P).

Zdrojem fosforu pro rostlinu je malé množství fosfátu nacházející se v půdním roztoku. Je-li tento fosfor z roztoku využíván pro výživu rostlin, je rovnováha narušena a začíná být využíván fosfor v labilní frakci. Není pravděpodobné, že by nelabilní (chemicky pevně vázaný) fosfor v pevné fázi půdy významně přispíval k zásobování rostlin fosforem. Do živného režimu půd zasahuje celá řada faktorů. Mezi nejvýznamnější řadíme závlahu (B aňoch, Hájek, 1980). Macháček (1990) uvádí jako prakticky jediný zdroj výživy rostlin fosforem půdu. Z půdy, která má dobrou půdní úrodnost, přijímají rostliny asi 45 až 60 % celkového fosforu. Další část rostliny odčerpávají z fosforečných a organických hnojiv.

Kolář (1985, 1987) se zabýval hnojením minerálními a organickými hnojivy a úpravou pH. Organické hnojení spolu s minerálním hnojením na kyselých půdách značně zvyšuje Al - P; k malému zvýšení dochází u frakce Ca_{II} a ke snížení u frakce Ca_{III}. Při úpravě pH půdy vápněním dochází ke snížení Fe - P, Al - P a ke zvýšení všech Ca - P frakcí. Působením různých faktorů na jednotlivé frakce anorganického fosforu se zabývala celá řada autorů (Hamán, 1978, 1985; Damaška, Voplakal, 1980; Pírk, Voplakal, 1985 a další). Pro vyhodnocení studií týkajících se anorganických frakcí fosforu v půdě je důležité zjištění, že frakční složení půdních fosfátů charakterizuje spíše genezi podmíněné zastoupení anorganických fosfátů než redistribuci fosforu v důsledku hnojení, a to hlavně při nízké úrovni vnášeného fosforu.

Cílem řešení předložené práce byla dynamika fosforečných sloučenin a charakteristika jejich změn v podmínkách dlouhodobé závlahy na černozemních půdách.

MATERIÁL A METODA

Polní pokus byl založen pracovníky VÚEA Hrušovany u Brna v letech 1971 až 1987. Problematika byla řešena formou stacionárního polyfaktoriálního pokusu, vedeného klasickým schématem hnojení podle Wágnera a systematickým působením doplňkové závlahy v průměrné dávce 66,8 mm za rok a základních prvků agrotechniky. Závlahový objekt ve Velkém Dvoře - Pohořelice (okres Břeclav) leží v kukuřičné výrobní oblasti. Půda je černozem hnědozemní, varieta degradovaná (ČMH). Průměrné hodnoty AZP před sledováním pokusu v roce 1984 byly: pH/KCl - 7,2; P - 69; K - 269,3; Mg - 118,7 mg.kg⁻¹ zeminy.

V předložené práci je hodnocen experiment v letech 1984 až 1987 ve vybraných variantách:

- vláhový režim: K - nezavlažovaná kontrola,
Z - zavlažovaná část (při poklesu na 60 % VVK);
- osevní postup: B - bez předplodiny vojtěška,
V - s předplodinou vojtěška + vápnění;
- zpracování půdy: tradiční orba (27 - 30 cm);
- hnojení: 0 - nehnojení,
NPK + H (průmyslová hnojiva + hnůj, 30 t.ha⁻¹ hnoje aplikováno na podzim v roce 1984, průmyslová hnojiva jako varianta NPK),
NPK - průmyslová hnojiva (160 kg N; 52,8 kg P; 149,4 kg K.ha⁻¹);
- vápnění: na podzim roku 1985 2,5 t.ha⁻¹ mletého vápence na variantách s předplodinou vojtěška;
- hnojení ve všech letech: N - močovina, P - 18% superfosfát, K - 40% draselná sůl.

V roce 1984 byla do osevního postupu zařazena ozimá pšenice, sklizená před podzimním odběrem půdních vzorků. V roce 1985/1987 byla seta kukuřice na zmo. Velikost hnojených parcel byla 54 m² (9 x 6 m) a sklizňových parcel 28 m² (7 x 4 m). Odběry půdních vzorků byly realizovány po sklizni pokusné plodiny vždy na podzim do hloubky 0 - 15 cm, 15 - 30 cm, 30 - 45 cm, 45 - 60 cm a upraveny běžným způsobem pro potřebu chemických analýz.

V půdních vzorcích byla sledována: půdní reakce výměnná pH/KCl, frakcionace minerálních půdních fosfátů I. až IV. frakce podle Chang Jacksona v letech 1984 až 1987 a v roce 1984 a 1987 pak V. frakce (zbytkový fosfor).

Výsledky chemických analýz půd jsou vyhodnoceny analýzou variancí pomocí vícečetného vyváženého třídění a průkaznost diferenciací hodnocena Tukeovým *T*-testem.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky získané v letech 1984 až 1987 jsou uvedeny v tab. I a navazují na dlouhodobý pokus založený v roce 1971. Závlaha ovlivňuje pH/KCl ve všech letech výsoce statisticky průkazně oproti kontrolní variantě (kromě roku 1985) snížením pH (tab. I). Toto snížení se však v průběhu let podstatně nemění. Dosažené výsledky nepotvrzují jednoznačně již publikované poznatky (H a m a n , 1978, 1985) o výrazném a stále se prohlubujícím poklesu pH na variantách se závlahou v černozemních půdách tak, jak se projeví v prvních letech pokusu. Průkazný vliv závlah

na snížení pH byl eliminován u varianty NPK + H. Tento příznivý vliv hnoje je patrnější u variant se závlahou. S výškou odběru se zvyšuje alkalita půdy. Vliv předplodiny vojtěšky a vápnění na kontrolní variantě není výrazný oproti variantě se závlahou, u které nastává mírné zvýšení pH, i když v průměru let statisticky neprůkazné.

Hodnotíme-li první tři frakce anorganických fosfátů, lze konstatovat, že nejvíce jsou v zemině zastoupeny hlinité fosfáty před fosfáty železitými a labilními (tab. I). Výrazné snížení těchto tří frakcí nastává až ve spodní vrstvě odběru, a to hlavně u Al - P a Fe - P bez rozdílu, zda jde o variantu kontrolní nebo zavlažovanou. Posuzujeme-li změny frakcí anorganického fosforu u zavlažované a nezavlažované varianty, vidíme, že protichůdný vývoj změn obsahu Al - P a Fe - P u obou variant, pozorovaný v ornici v prvních dvou letech pokusu, se neprojevil v následujících letech, stejně jako v průměru let.

Tvorba hlinitých fosfátů probíhá v širokém rozmezí pH (D a m a š k a , V o p l a k a l 1980; H a m a n , 1978, 1985, K o l á ř , 1985, 1987), tj. v půdách kyselých až alkalických, a fosfor je v nich uvolňován do půdního roztoku nezávisle na pH půdy. Železité fosfáty se naopak tvoří a rozpouštějí v těsné závislosti na změně pH v půdním prostředí. Proto nemůže být a není fosfor z těchto dvou anorganických fosfátů v daných půdních podmínkách stejně dostupný rostlinám. Z tohoto důvodu nelze považovat vazbu Al - P a Fe - P za rovnocennou.

Vzrůst železitých fosfátů v zavlažované ornici je velmi významný. Potvrzuje to i statistické vyhodnocení (tab. I). Závlaha tedy vytvářela vhodné podmínky pro tvorbu železitých fosfátů. Naopak hladina vápenatých fosfátů (tab. I) byla ve všech hloubkách zavlažované ornice významně nižší než u kontrolní varianty. Nárůst železitých fosfátů a pokles vápenatých fosfátů však není oproti počátečnímu stavu pokusu tak výrazný, jak uvádí H a m a n (1978, 1985), což můžeme částečně vysvětlit snížením rozdílu změn pH během pokusných let 1984 až 1987. Významný vliv na změny obsahu fosforu měl snižující se obsah uhličitánů v celém profilu půdy vyvolaný závlahou a pozorovaný od založení pokusu v roce 1971.

Tyto změny jsou nejzávažnějšími důsledky, které vyvolává dlouhodobé používání závlahy ve fosforečném režimu černozemní půdy. Na jedné straně je to pozitivní jev, kdy závlaha může zmobilizovat značná kvanta půdního fosforu i z velmi stabilních forem, na druhé straně je třeba upozornit, že pokračující snižování fosforu v metastabilních hlinitých a vápenatých fosfátech (a dokonce i ve frakci zbytkového fosforu), které jsou základním zdrojem pro rostliny, a naopak tendence zvýšení tvorby železitých fosfátů jasně dokládají negativní vliv závlahy na fosforečný režim zkoumané půdy.

Z hodnocení variant hnojení v závlahách vyplývá, že přes negativní vliv závlah na labilní fosfáty se ve všech letech (kromě roku 1985) projevuje vysoce statisticky průkazný vliv minerálního hnojení ve spojení s chlévským hnojem oproti variantě hnojené pouze průmyslovými hnojivy. Obdobná tendence je i u hlinitých fosfátů. U železitých fosfátů již závlaha nevyvolala tak výrazné rozdíly mezi hnojenými variantami. Významný rozdíl byl pozorován mezi hnojenými variantami a variantou kontrolní. Na variantě zavlažované vykazují vápenaté fosfáty nejvyšší hodnotu při hnojení průmyslovými hnojivy ve spojení s chlévským hnojem.

I. Průměrné hodnoty a minimální difference sledovaných ukazatelů (průměr let 1984 až 1987) – to 1987)

Ukazatel ¹			pH			L - P		
			pH	D _T		mg.kg ⁻¹	D _T	
				0,05	0,01		0,05	0,01
Hnojení ²	K	0	7,22	0,072		3,66	-	
		NPK + H	7,13			13,20		
		NPK	7,23			8,36		
	Z	0	7,13	0,093		3,10	1,38	
		NPK + H	7,17			7,25		
		NPK	6,79			4,28		
Hloubka odběru ³ (cm)	K	0 - 15	7,06	0,092		12,29	1,36	
		15 - 30	7,15			12,93		
		30 - 45	7,23			5,02		
		45 - 60	7,33			2,83		
	Z	0 - 15	6,83	0,117		6,95	1,73	
		15 - 30	7,01			10,60		
		30 - 45	7,09			3,14		
		45 - 60	7,20			2,64		
Předplodina ⁴	K	B	7,21	-		9,98	-	
		V	7,18			6,83		
	Z	B	6,97	-		4,83	0,97	
		V	7,08			4,92		
Kontrola ⁵			7,19	-		8,27	-	
Závlaha ⁶			7,04			0,066		
Průměr ⁷			7,11	0,092	0,117	6,57	1,36	1,73

K - kontrola – control

Z - závlaha – irrigation

0 - nehnojeno – untreated

NPK + H - hnojení průmyslovými hnojivy + hnůj – fertilizing with fertilizers + manure

NPK - hnojení průmyslovými hnojivy – fertilizing with fertilizers

B - bez vojtěšky – without lucerne

V - vojtěška – lucerne

¹parameter, ²fertilization, ³depth of sampling, ⁴forecrop, ⁵control, ⁶irrigation, ⁷average

Al - P			Fe - P			Ca - P			Zbytkový fosfor ⁸		
mg.kg ⁻¹	D_T		mg.kg ⁻¹	D_T		mg.kg ⁻¹	D_T		mg.kg ⁻¹	D_T	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
47,01	-	7,13	41,84	3,60	4,69	248,03	9,97	12,98	229,31	11,82	-
79,87			52,82			254,95			252,98		
66,09			36,39			289,23			254,95		
36,45			36,87			231,95			219,62		
69,60			51,89			240,63			226,79		
55,34			49,16			229,83			210,18		
94,99	7,04	8,92	63,19	4,61	5,87	285,71	12,76	16,23	274,29	15,41	22,12
92,09			60,13			283,85			266,37		
44,35			31,56			239,07			234,62		
25,86			19,87			247,65			207,66		
79,67			63,87			247,47			233,98		
73,18			59,18			245,36			237,23		
39,45			39,34			207,65			202,60		
22,90			21,49			236,06			201,66		
67,34	3,68	-	43,37	-	-	267,29	-	-	258,55	7,69	-
61,31			44,01			260,85			232,97		
55,75			47,88			229,03			213,56		
51,85			44,06			239,24			224,17		
64,32	-	5,04	43,68	-	-	264,08	-	9,18	245,74	-	11,65
53,80			45,97			234,14			218,87		
59,06	7,01	8,92	44,83	4,61	5,87	249,11	-	-	232,31	-	-

Vliv závlahy na V. frakci v průběhu let je charakterizován postupným snižováním obsahu zbytku fosforu po extrakci prvních čtyř frakcí oproti variantě kontrolní (tab. I). Tato diference je způsobena intenzivnější tvorbou organického fosforu a vyšším odběrem fosforu rostlinami, které již pozoroval H a m a n (1978) a které rovněž zjistila R i k a n o v á (1992).

Literatura

- BAŇOCH, Z. - HÁJEK, L.: Cesty k optimalizaci hnojení v závlahových podmínkách. Rostl. Výr., 26, 1980, č. 8, s. 799-806.
- DAMAŠKA, J. - VOPLAKAL, K.: Vliv vysokých dávek průmyslových hnojiv na skupinové složení půdních fosfátů. Rostl. Výr., 26, 1980, č. 8, s. 839-846.
- HAMAN, F.: Studium změn fosfátového režimu v ornici zavlažované černozemě. [Habilitation.] Brno, VŠZ 1978.
- HAMAN, F.: Studium parametrů fosfátového režimu zavlažované půdy. [Závěrečná zpráva.] Brno, VŠZ 1985.
- KOLÁŘ, L.: Agrochemické zvláštnosti ovlivňují soustavu hnojení v oblasti Šumavy. [Doktorská disertace.] Praha, 1985. - Vys. Šk. zeměd.
- KOLÁŘ, L.: Změny frakcí organického a minerálního fosforu v hnědých kyselých půdách po intenzivním organickém hnojení. Rostl. Výr., 33, 1987, č. 8, s. 819-826.
- MACHÁČEK, V.: Charakteristika ukazatelů fosforečného režimu černozemě. Rostl. Výr., 36, 1990, č. 2, s. 119-129.
- PIRKL, J. - VOPLAKAL, K.: Výzkum problematiky půdních fosforů a jeho perspektivy v ČSFR: Agrochémia, 25, 1985, č. 1, s. 10-13.
- RIKANOVÁ, J.: Studium fosfátového režimu v závlahách. [Kandidátská disertace.] Brno, 1992, s. 163. - Vys. šk. zeměd.

Došlo 2. 2. 1993

RIKANOVÁ, J. - ROZSYPAL, R. (University of Agriculture, Brno; Institute of Agroecology and Soil Management, Hrušovany u Brna):

The dynamics of soil phosphates and their changes in conditions under irrigation.

Rostl. Výr., 39, 1993 (9) : 845-850.

In field trials performed in the years 1984 to 1987, in maize growing region, established on chernozem, soil phosphate regime under irrigation and without it was studied with three variants of fertilizing, untreated variant, variant treated with fertilizers and manure and the variant fertilized solely with industrial fertilizers, in crop rotations with lucerne and liming, and without liming and lucerne.

The studies were carried out to the depth of 0 to 60 cm, with 15 cm layers. Fractions of inorganic phosphorus were determined by the method after Chang-Jackson (first fractions of L - P, Al - P, Fe - P, Ca - P and residual phosphorus as fraction V) in soil samples. Exchangeable pH/KCl was determined as well.

Irrigation reduced significantly pH compared with unirrigated variant, in particular in interaction with fertilizing. This unfavourable effect was eliminated by organic manuring.

Long-term irrigation resulted usually in significant reduction of the content of all phosphorus fractions, except for Fe - P. The most significant changes were recorded with the fraction Ca - P and residual phosphorus (fraction V). These differences were caused by more intensive formation of organic phosphorus and increased crop yield.

Kontaktní adresa:

Ing. Jaroslava R i k a n o v á, CSc., Vysoká škola zemědělská, Zemědělská 1, 613 00 Brno

POROVNÁNÍ KOŘENOVÉHO SYSTÉMU, PŘÍJMU ŽIVIN A VODY U STARÉ A SOUČASNÉ ODRŮDY OZIMÉ PŠENICE PŘI RŮZNÉM HNOJENÍ DUSÍKEM

J. Haberle

Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně

V tříletém polním pokusu byl v průběhu růstu sledován rozvoj kořenů a nadzemních částí, příjem živin a odběr vody u moderní odrůdy ozimé pšenice Vala a u 85 let staré odrůdy Chlumecká 12. Hmotnost kořenů v orniční vrstvě obou odrůd se průkazně lišila v průběhu růstu jen v sušším roce 1984, průkazné rozdíly v jednotlivých vrstvách a fázích růstu však byly zaznamenány ve všech třech letech. Odrůda Vala dosahovala v pokusných letech většinou vyšší hmotnost kořenů v ornici v průměru o 10,1; 3,3 a 23,7 % ve srovnání s odrůdou Chlumecká 12. Rozdělení hmoty kořenů v orničním profilu se mezi těmito odrůdami průkazně odlišovalo spíše ve vlhčích letech 1983 a 1985, avšak bez jednoznačného trendu. Koncentrace dusíku, fosforu a draslíku v nadzemních částech byla většinou vyšší u odrůdy Chlumecká 12, naopak tomu bylo u koncentrace vápníku a hořčíku. Průběh odběru vody z ornice byl do konce kvetení u obou odrůd téměř stejný. V době dozrávání měla odrůda Chlumecká 12 v letech 1983 a 1985 vyšší spotřebu půdní vláhy vzhledem k delší době dozrávání. Vyšší sklizňový index odrůdy Vala (0,44 až 0,53) oproti odrůdě Chlumecká 12 (0,30 až 0,37), vyšší výnos zrna, podobný či nižší obsah živin v nadzemních částech a podobné či nižší odčerpání vody z půdy znamená, že odrůda moderního typu Vala dosahovala výrazně vyššího hospodářského výnosu na jednotku vody odebrané z orniční vrstvy a na jednotku přijatých živin.

Při hledání genotypů plodin lépe přizpůsobených k nižšímu obsahu živin v půdě, vyšší kyselosti apod. (Bláha, Haberle, 1990; Clark, Duncan, 1991; Bláha, 1992) se výzkum zaměřuje i na staré a místní odrůdy.

Oproti některým původním předpokladům se ukázalo, že celková produkce nadzemní nebo celkové sušiny je u starých odrůd pšenice při pěstování za stejných podmínek vesměs podobná či vyšší než u odrůd moderních (Feil, Geisler, 1988a; Mehrhoft, Kühbauch, 1990; Siddique et al., 1990a; Slafer et al., 1990). Pouze Austin et al. (1989) zaznamenali u odrůd ozimé pšenice z minulého století (nejstarší z roku 1831) mírně nižší celkovou nadzemní sklizňovou hmotu ve srovnání s novými odrůdami. Staré a nové odrůdy pšenice se také výrazněji neliší v parametrech *LAI*, intercepce *PAR* a fotosyntézy listu (Gent, Kiyomoto, 1985; Slafer et al., 1990). Rozhodující rozdíl mezi starými a moderními odrůdami, vyjadřující přínos šlechtění za minulé období, spočívá v distribuci, ukládání a redistribuci fotosyntátů do generativních orgánů. Výsledkem je výrazně vyšší sklizňový index moderních odrůd (Austin et al.,

1989; Gent, Kiyomoto, 1989; Mehrhoff, Kühbauch, 1990; Slafer et al., 1990).

Daleko méně údajů však existuje z porovnání kořenových systémů starých a moderních odrůd; výsledky jsou většinou z modelových podmínek a z raných období růstu. Výsledky srovnání si na rozdíl od údajů o nadzemních částech často odporují, což jen potvrzuje rozdílnou reakci odrůd na různé stanovištní podmínky, zásobení vodou a živinami či na patogenní činitele. V minulosti se předpokládalo, že moderní odrůdy pšenice, především krátkostébelné až zakrslé, budou mít menší kořenový systém či menší hloubku prokořenění ve srovnání se starými odrůdami. Tato obava se však nepotvrdila (např. Lupton et al., 1974; Stöppeler et al., 1991). Rovněž se předpokládalo, že moderní odrůdy dokáží lépe využít zvýšené množství přístupných živin v půdním prostředí či závlahu. Určitou paralelu nabízí Chapman (1980), který z bohatého literárního přehledu vyvozuje, že druhy rostlin adaptované z hlediska obsahu živin na neproduktivní půdy nejsou efektivnější v získávání, využití nebo udržení (retenci) živin než druhy adaptované na vysoce úrodné půdy.

Cílem předložené práce bylo porovnat rozvoj nadzemních částí a kořenů, příjem živin a vody u ozimé pšenice moderního typu odrůdy Vala a staré dlouhostébelné odrůdy ozimé pšenice Chlumecká 12 v podmínkách úrodné půdy bez hnojení dusíkem a při vysoké až nadměrné dávce dusíku.

MATERIÁL A METODA

V letech 1983 až 1985 se v polních pokusech oddělení agroekologie VÚRV Praha-Ruzyně sledovala produkce kořenové a nadzemní biomasy ozimé pšenice odrůd Vala a Chlumecká 12. Pokusné pozemky v Praze-Ruzyni (350 m n. m.) se nacházejí v řepařsko-pšeničné výrobní oblasti a náleží k půdnímu typu hnědozem. Ornice je jílovitohlinitá, o mocnosti 24 až 28 cm, s těmito agrochemickými vlastnostmi: obsah humusu 2,3 %; pH (KCl) 5,9; P (Egner) 59 mg; K (Schachtschabel) 136 mg a Mg 90 mg.kg⁻¹ půdy. V podorničí přechází do jílovitohlinité až jílovité zeminy s příměsí skeletu opuky. Základní údaje o povětrnostních podmínkách pokusných let 1983 až 1985 v Praze-Ruzyni jsou uvedeny v tab. I.

Charakteristika sledovaných odrůd

Odrůda ozimé pšenice Vala je středně raná, má dobrý zdravotní stav, je odolná proti listovým chorobám a chorobám pat stébel, k poléhání a porůstání, přezimování je dobré. Odrůda byla povolena v roce 1980 a vyřazena z povoleného sortimentu v roce 1989. Stéblo je krátké, tvar trsu v době odnožování je vzpřímený, intenzita odnožování slabší. Je to vhodná odrůda do intenzivních výrobních podmínek, náročná na dobrou předplodinu a vyžaduje půdy s dobrou zásobou živin.

Odrůda ozimé pšenice Chlumecká 12 je stará česká odrůda typu tzv. červenek (Dragerova česká červená 12), byla povolena v roce 1910 a restringována v roce 1970. Vyznačuje se vysokým produktivním odnožováním, nízkým sklizňovým indeksem okolo 0,35, nízkým počtem zrn v klasu a nízkou hmotností tisíce zrn. Má rovněž nízkou odolnost k poléhání a chorobám.

Předplodinou sledovaných pšenic byly brambory hnojené hnojem v dávce 30 t.ha⁻¹. Po ozimé pšenici následoval v osevním postupu jarní ječmen. Bylo použito výsevní množství pro odrůdu Vala 5,0 mil. a pro odrůdu Chlumecká 12 4,0 mil. klíčivých zrn na 1 ha.

Variety dávek dusíku byly pro obě odrůdy stejné: 0; 150 a 200 kg N.ha⁻¹ (označeno N0, N1, N2). Jedna polovina dávky dusíku byla aplikována před setím v síranu amonném, druhá polovina v ledku amonném s vápencem časně z jara (40 kg) a zbytek ve fázi plného odnožování. Fosforem a draslíkem bylo hnojeno 72 kg a 100 kg čistých živin na 1 ha. Veškerá agrotechnika včetně chemické ochrany v případě potřeby probíhala ve stejnou dobu a ve stejné kvalitě pro obě odrůdy.

Prokořeněná zemina byla odebírána ocelovým válcem o průměru 10 cm a výšce 7 cm po vrstvách 7 cm do celkové hloubky 21 cm (v roce 1983) nebo 28 cm (v letech 1984 a 1985) v šesti opakováních. Kořeny byly vyplaveny na sadě síť, ručně dočištěny a vysušeny při teplotě 75 °C.

Současné byly zjišťovány parametry nadzemních částí včetně sklizňových znaků rostlin odebraných ze stejných míst jako kořeny. Nadzemní hmota byla analyzována na obsah živin v sušině u obou odrůd ve stejných termínech, protože průběh vývoje se až do kvetení téměř nelišil. Pouze čtvrtý termín odběru, tj. v plné zralosti, byl u odrůdy Chlumecká 12 o 7 až 14 dní pozdější než u odrůdy Vala. V průběhu pokusu byla zjišťována vázkově vlhkost půdy z varianty nehnojené a hnojené 200 kg N.ha⁻¹ a redukována objemová hmotnost půdy jednotlivých vrstev ornice.

Termíny odběrů byly konec odnožování až začátek sloupkování, metání, konec kvetení až začátek nalévání zrna a plná zralost. U nadzemních částí byly podle možností realizovány odběry i v dalších termínech. Podrobnější údaje o stanovišti, metodách, materiálu a vlhkosti půdy uvádíme v dřívější práci (H a b e r l e, 1986a).

I. Měsíční sumy srážek a průměrná teplota vzduchu v letech 1982 až 1985 v Praze-Ruzyni – Month sums of precipitation and average air temperature in the years 1982 to 1985 in Praha-Ruzyně

	Ročník ¹	Období roku (měsíc) ²						
		1. - 12.	4. - 8.	4.	5.	6.	7.	8.
Úhm srážek ³ (mm)	1983	581,1	461,8	39,6	159,6	54,0	35,4	173,2
	1984	531,1	300,2	43,7	101,6	27,3	59,5	68,1
	1985	649,4	450,4	28,1	78,5	100,6	121,8	121,4
	průměr 50 let ⁵	517,0	306	41	57	68	72	68
Průměrná teplota ⁴ (°C)	1983	8,53	15,36	9,4	12,7	16,2	20,8	17,7
	1984	7,30	12,74	5,9	11,1	13,7	15,6	17,4
	1985	7,38	14,56	8,2	14,7	13,9	18,3	17,7
	průměr 50 let	7,90	14,38	7,8	12,9	16,2	17,9	17,4

¹year, ²period of year (month), ³sum of precipitation, ⁴average temperature, ⁵average for 50 years

Vzhledem k velkému množství údajů jsou v této práci v případě koncentrace živin porovnány průměrné hodnoty ze všech variant dávek dusíku nebo v případě hmoty kořenů a jejich rozdělení průměr hodnot z variant N1 a N2 s údaji z varianty kontrolní, nehnosené dusíkem.

Vliv odrůdy a dávky dusíku na sušinu kořenů a jejich rozdělení v profilu ornice byl zjišťován analýzou rozptylu dvojnásobného třídění pro faktor odrůda a dávka dusíku. Pro údaje o vlhkosti půdy a obsahu živin nebyla většinou k dispozici opakování.

VÝSLEDKY

Kořeny

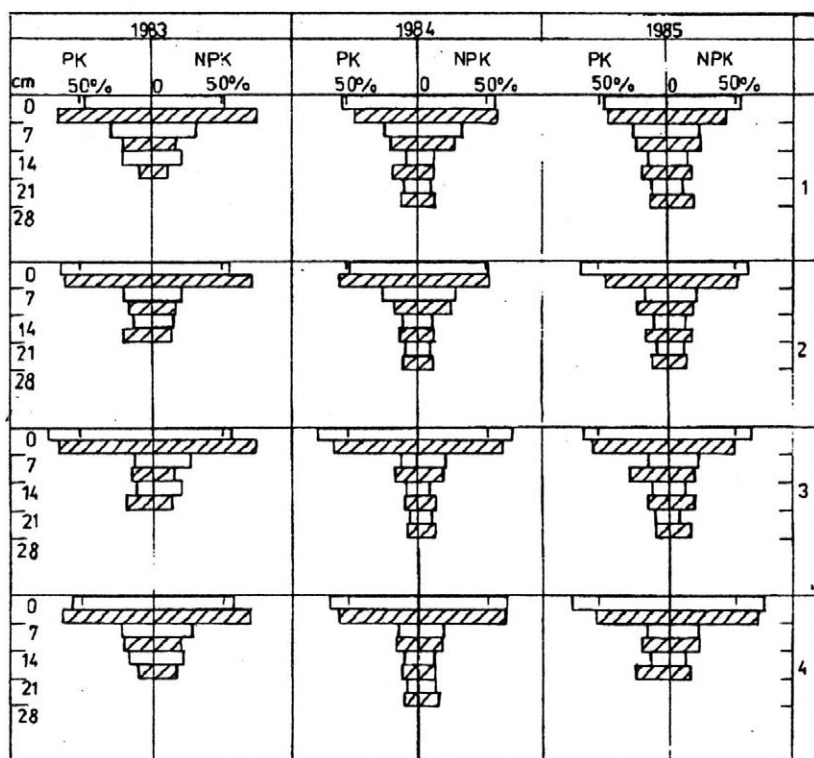
Celková hmotnost kořenů v ornici odrůd Vala a Chlumecká 12 se průkazně lišila jen v roce 1984, avšak průkazné rozdíly v jednotlivých vrstvách ornice a fázích růstu byly nalezeny ve všech letech, zvláště v roce 1983 a 1985 (tab. IIA). Rozdíly v rozdělení kořenů v orniční vrstvě mezi oběma odrůdami byly rovněž menší v roce 1984, ale také ve vrstvě 7 až 14 cm v roce 1985 (tab. IIB). Pro analýzu rozptylu byly použity hodnoty ze všech tří variant dávek dusíku, tj. N0, N1 a N2. V roce 1985 měla odrůda Vala vyšší podíl kořenů v povrchové vrstvě, zatímco odrůda Chlumecká 12 měla vyšší podíl kořenů v hlubších vrstvách ornice, v ostatních letech nebyly rozdíly mezi sledovanými odrůdami v rozdělení kořenové hmoty konzistentní

II. Statistická průkaznost rozdílů v hmotnosti kořenů (A) a v rozdělení hmoty kořenů v profilu ornice (B) mezi odrůdami ozimé pšenice Vala a Chlumecká 12 v jednotlivých odběrových termínech (1 až 4); výsledky analýzy rozptylu dvojnásobného třídění ($f = 1$): ***, **, *, +, - označují hladinu významnosti pro faktor odrůda v odpovídajícím pořadí $P < 0,01$; 0,05; 0,1; 0,2 a $P > 0,2$; tučný tisk indikuje průkaznost vlivu dávky dusíku ($f = 2$) pro $P < 0,1$ – Significant differences in dry root matter (A) and in dry root matter distribution in plough layer (B) between winter wheat cv. Vala and Chlumecká 12 at the start of shooting (1), heading (2), the end of anthesis (3) and maturity (4); results of ANOVA, the effect of cultivar ($f = 1$): ***, **, *, + and - denote levels of significance $P < 0.01$, 0.05, 0.1, 0.2, and $P > 2$, resp.; bold print indicates significant effect of nitrogen doses ($f = 2$) at level $P < 0.1$

		1983				1984				1985			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
A	0 - 7	***	-	**	***	***	-	***	-	***	+	*	+
	7 - 14	***	***	+	***	***	***	**	-	***	***	+	*
	14 - 21	***	-	***	***	-	-	-	***	-	***	**	***
	0 - 21	**	+	*	-	***	***	***	-	-	-	+	-
B	0 - 7	***	-	**	***	-	*	+	-	***	***	***	***
	7 - 14	***	+	-	***	-	***	-	-	-	+	-	+
	14 - 21	***	+	***	***	***	-	**	+	***	***	***	***

(obr. 1). Na obr. 1 a 2 jsou porovnány hodnoty pro kontrolu dusíkem nehnojenou a průměr variant hnojených 150 a 200 kg N.ha⁻¹.

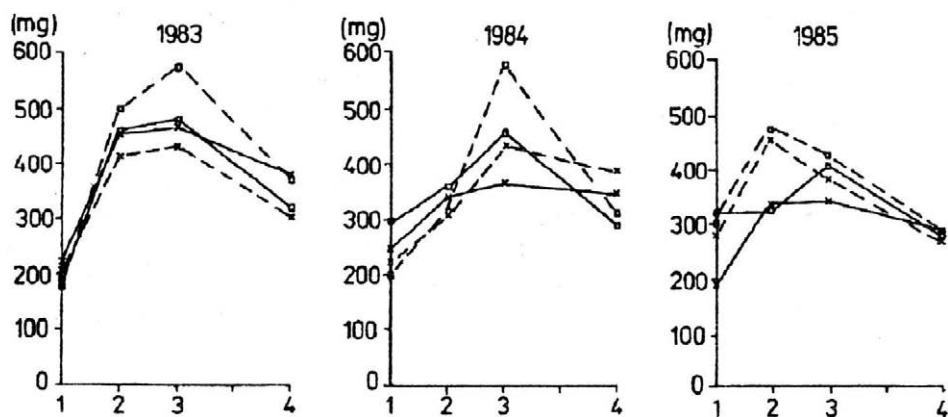
Hnojení dusíkem působilo na kořenovou hmotu průkazně v roce 1984, v ostatních letech jen ojediněle, a to spíše v hlubších vrstvách ornice (tab. II). Průkaznou interakci mezi odrůdou a dávkou dusíku, tj. odrůdovou reakcí na stupňované hnojení dusíkem, jsme zaznamenali jen ojediněle s výjimkou fáze metání a kvetení v roce 1983 (obr. 2). Poměr sušiny nadzemních částí a kořenů byl většinou vyšší u odrůdy Chlumecká 12, zvláště v období kvetení u dusíkem nehnojené varianty (tab. III). U hodnot tohoto poměru jsem pozorovali největší variabilitu mezi opakováními (více než 30 %), zatímco variabilita hmotnosti kořenů v ornici se pohybovala okolo 10 % (5 až 16 %).



1. Rozdělení sušiny kořenové hmoty v ornici u ozimé pšenice odrůdy Vala (□) a Chlumecká 12 (▨) od začátku sloupkování (1) do sklizně (4); (100 % = 0 - 21 cm v roce 1983 nebo 0 - 28 cm v roce 1984 a 1985; PK = nehnojeno dusíkem, NPK = hnojeno dusíkem - průměr N1 a N2) - Dry root matter distribution in the plough layer of winter wheat cv. Vala (□) and Chlumecká 12 (▨) from the beginning of shooting (1) to harvest (4); (100 % = 0 - 21 cm in 1983 or 0 - 28 cm in 1984 and 1985; PK = without nitrogen, NPK = fertilized with nitrogen - the average of treatments N1 and N2)

osa y (vlevo) - hloubka - y axis (on left) - depth

osa y (vpravo) - termín odběru - y axis (on right) - sampling date



2. Průběh změn sušiny kořenů v omici (0 - 21 cm) od začátku sloupkování (1) do sklizně (4) – The pattern of changes in dry root matter in plough layer (0 - 21 cm) from the beginning of shooting (1) to harvest (4)

- Vala - nehnojená dusíkem - unfertilized with nitrogen
- x-- Chlumecká 12 - nehnojená dusíkem - unfertilized with nitrogen
- Vala - hnojená dusíkem (průměr N1 a N2) - fertilized with nitrogen (the average of N1 and N2)
- x— Chlumecká 12 - hnojená dusíkem (průměr N1 a N2) - fertilized with nitrogen (the average of N1 and N2)

III. Poměr hmotnosti sušiny nadzemních částí ku sušině kořenů (na vzorek) v omici na začátku sloupkování (1), v metání (2) a na konci kvetení (3) – The shoot : root ratio (in dry matter per sample) of winter wheats at the start of shooting (1), heading (2) and the end of anthesis (3)

Termín odběru ¹	Odrůda ²	1983		1984		1985	
		PK	NPK	PK	NPK	PK	NPK
1.	Vala	9,8	9,7	3,1	5,4	6,1	6,6
	Chlumecká 12	9,1	10,6	3,3	7,0	7,0	13,3
2.	Vala	11,9	13,2	14,6	20,3	14,0	19,7
	Chlumecká 12	11,8	14,8	14,1	17,4	16,0	23,3
3.	Vala	19,1	25,5	21,9	27,3	16,3	22,0
	Chlumecká 12	28,0	25,0	27,0	32,1	35,0	38,6

¹sampling date, ²cultivar

Výnos zrna a sklizňový index

Výnos zrna odrůdy Chlumecká 12 byl kromě dusíkem nehnojené varianty v roce 1985 vždy nižší než odrůdy Vala (tab. IV). Rovněž sklizňový index byl vždy nižší u odrůdy Chlumecká 12 ve srovnání s odrůdou Vala (tab. IV). Porost odrůdy Chlu-

IV. Vliv hnojení dusíkem na výnos zrna ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) a sklizňový index – The effect of nitrogen fertilizing for grain yield ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) and harvest index

	Odrůda ¹	1983		1984		1985	
		PK	NPK	PK	NPK	PK	NPK
Výnos zrna ²	Vala	0,73	0,73	0,58	0,72	0,40	0,49
	Chlumecká 12	0,62	0,52	0,48	0,50	0,46	0,46
Sklizňový index ³	Vala	0,46	0,44	0,51	0,47	0,53	0,50
	Chlumecká 12	0,30	0,32	0,31	0,34	0,37	0,35

¹cultivar, ²grain yield, ³harvest index

PK - bez hnojení dusíkem - without nitrogen fertilizing

NPK - průměr hnojených variant N1 a N2 - the average of fertilized treatments N1 and N2

mecká 12 hnojený dusíkem polehl každý rok, zatímco odrůdy Vala jen ojediněle při dávce dusíku $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Odběr vody z orniční vrstvy

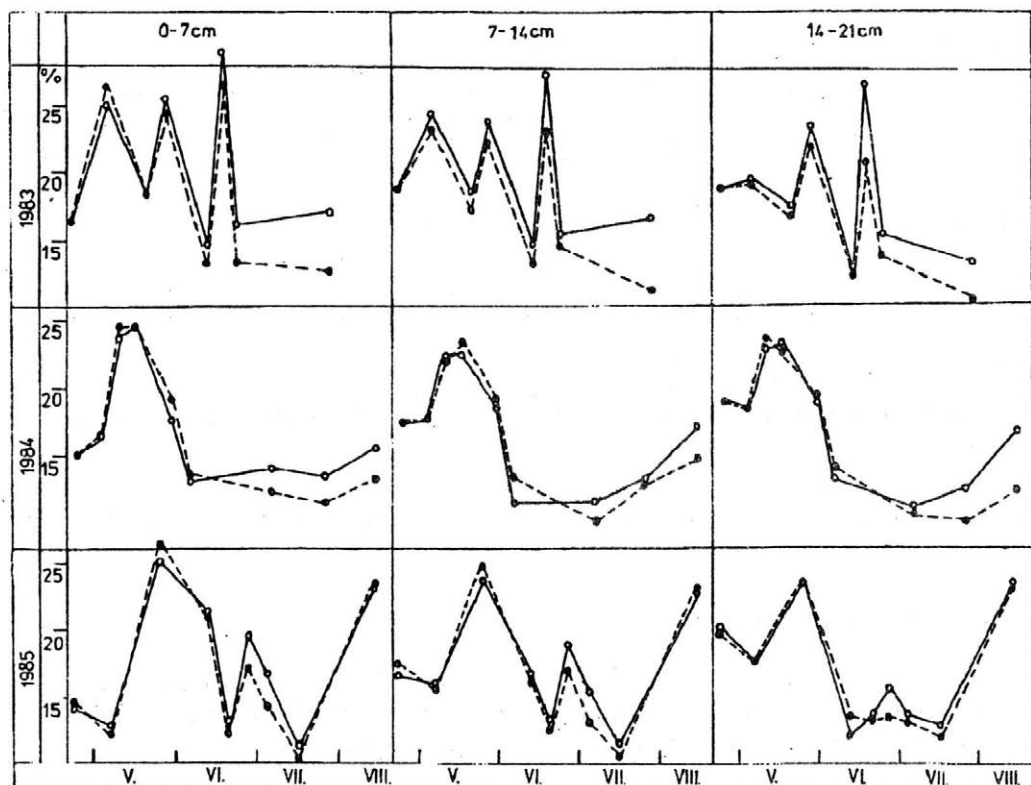
Průběh změn vlhkosti v jednotlivých vrstvách ornice (obr. 3) pod porostem obou odrůd byl obdobný s výjimkou období kvetení a zrání v roce 1983 a 1985, kdy odrůda Chlumecká 12 odčerpávala více vody z ornice než odrůda Vala.

Odběr živin

Průběh změn koncentrace živin (průměr variant) v nadzemních částech rostlin od konce odnožování do sklizně byl obdobný u obou odrůd (obr. 4). U koncentrace dusíku, fosforu (v letech 1983 a 1985) a zvláště draslíku (všechny pokusné roky) byla tendence k vyšším hodnotám u odrůdy Chlumecká 12, pro koncentraci vápníku a hořčíku tomu bylo naopak. Koncentrace draslíku v zrna byla vždy vyšší u odrůdy Vala a ve slámě byla stejná u obou odrůd. Tendence k nižší koncentraci makroprvků v roce 1985 se projevila u obou sledovaných odrůd. Hnojení dusíkem zvyšovalo koncentraci dusíku a draslíku v nadzemních částech, kromě odrůdy Chlumecká 12 v roce 1983, koncentrace fosforu, vápníku a hořčíku reagovala nejednotně (neuveďeno).

DISKUSE

Vzhledem k dlouhodobé strategii šlechtění obilnin na stále vyšší intenzitu hnojení se v minulosti předpokládalo, že existuje značný rozdíl mezi kořenovým systémem starých a moderních odrůd, zejména pokud byly výrazné rozdíly v parametrech kořenů nalezeny i mezi současnými odrůdami (např. B l á h a, 1992; S t ö p p l e r et al., 1991).



3. Průběh změn vlhkosti půdy (průměr N0 a N2) v ornici u ozimé pšenice odrůdy Vala (—○—) a Chlumecká 12 (-●-) - The pattern of changes in soil moisture (the average of treatments N0 and N2) in plough layer of winter wheat cv. Vala (—○—) and Chlumecká 12 (-●-)
 osa x - měsíc - x axis - month

Přestože jsme u moderní odrůdy Vala pozorovali většinou vyšší hmotnost kořenů než u staré odrůdy Chlumecká 12, nebyly rozdíly kromě roku 1985 příliš výrazné, v průměru dávek dusíku a termínů odběrů o 10,1; 3,3 a 23,7 % v letech 1983, 1984 a 1985 (Haberle, 1986a). Na začátku sloupkování dosahovala odrůda Chlumecká 12 vyšší hmotnosti kořenů pravděpodobně díky mohutnému (ale neproduktivnímu) odnožování. Žádné či jen malé rozdíly v hmotnosti kořenů ve prospěch starých odrůd zjistili Siddique et al. (1990a). S ohledem na vysokou hustotu prokořenění u ozimých pšenic (Noordwijk, Willigen, 1987) by neměly rozdíly v hmotnosti kořenů (odpovídající délce kořenů) mezi odrůdou Vala a Chlumecká 12 limitovat příjem živin a vody z ornice. Poměr sušiny nadzemních částí a kořenů ukázal obecně nižší podíl kořenů u staré odrůdy Chlumecká 12. Vzhledem k vysoké variabilitě tohoto poměru mezi opakováními a vzhledem ke sledování kořenů pouze z orniční vrstvy nelze z těchto výsledků vyvozovat obecné závěry.

Průkazný vliv hnojení dusíkem na hmotnost kořenů sledovaných odrůd jsme zaznamenali v sušším roce 1984 a ve fázi rychlého růstu v roce 1983, v ostatních le-

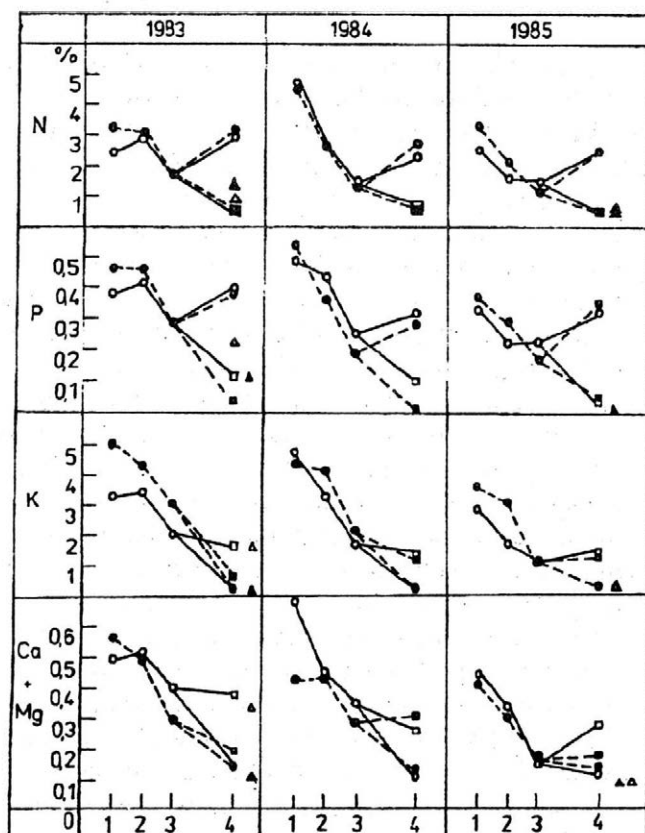
4. Koncentrace makroprvků v nadzemních částech ozimé pšenice odrůdy Vala (—) a Chlumecká 12 (---) od začátku sloupkovaní (1) do sklizně (4) – Macroelement concentration in above-ground parts of winter wheat cv. Vala (—) and Chlumecká 12 (---) from the beginning of shooting (1) to harvest (4)

○ ● zrna - grain

□ ■ sláma - straw

△ ▲ klasové větveno + plevy - spike rachis + glumes

osa x - termín odběru - x axis - sampling date



tech byl vliv dusíku malý a spíše se projevil v hlubších vrstvách ornice, což naznačuje možný výraznější rozdíl v podzemní (H a b e r l e , 1989). Ještě menší vliv mělo hnojení dusíkem na rozdělení kořenů v ornici. Odrůdové rozdíly v reakci kořenů na dusík byly pouze ojedinělé. Je však třeba připomenout, že průkaznost rozdílů ovlivňuje různá míra variability mezi opakováními. V našich pokusech se koeficient variability mezi opakováními těžce varianty pohyboval okolo 10 % (od 5 do 16 %).

Odrůda Vala reagovala na vysoké dávky dusíku především ve fázi metání a kvetení vcelku konzistentně mírnou redukcí celkové hmotnosti kořenů v ornici, zatímco u odrůdy Chlumecká 12 v průměru nebyla redukce tak výrazná (H a b e r l e , 1986a). Vliv stupňování dávky dusíku ze 150 kg na 200 kg.ha⁻¹ se u hmotnosti a rozložení kořenů neprojevil. Výsledků z této oblasti je velmi málo, např. F e i l , G e i s l e r (1988b) nezjistili u starých a moderních odrůd ozimé pšenice průkazné rozdíly v různých parametrech kořenů juvenilních rostlin. Autoři uvádějí, že staré odrůdy nebyly lépe přizpůsobeny nízkému obsahu dusíku v prostředí a moderní odrůdy nepřekonávaly staré odrůdy v odolnosti k supraoptimální koncentraci NH₄NO₃. P o m m e r (1983) zjistil větší kořenový systém u moderních odrůd obilnin při hnojení NPK a naopak u starých odrůd při organickém hnojení.

I přes dobré podmínky a vysokou úrodnost půdy na stanovišti pokusu (Praha-Ruzyně) a dobrou předplodinu se stupňované hnojení dusíkem (a to i ze 150 na 200 kg.ha⁻¹) na rozdíl od kořenů projevilo u obou odrůd zvýšením listové plochy a nadzemní biomasy (H a b e r l e , 1986b), avšak výnos zrna se u odrůdy Chlumecká 12 hnojením dusíkem snížil či stagnoval ve srovnání s nehnojenou variantou pravděpodobně i v důsledku polehnutí. Také další autoři zjistili, že staré odrůdy reagují méně na vysokou hladinu výživy dusíkem zvýšením výnosu nadzemních částí a především zrna ve srovnání s moderními odrůdami, které byly v podmínkách vysoké intenzity vstupů vyšlechtěny. A n d e r s o n et al. (1991) upozorňují, že tento rozdíl se neprojevil na stanovištích, které dostaly méně než 250 mm srážek za vegetaci. Obdobně C o x et al. (1988) zjistili vyšší genetický zisk v prostředí produktivním než v prostředí suchém, ale nejvyšší genetický zisk (zvýšení výnosu zrna o 1,4 % za rok od vyšlechtění) zaznamenali v podmínkách napadení rzí travní a naopak žádný při infekci pruhovitostí. A u s t i n et al. (1989) srovnávali staré a moderní odrůdy v intenzivních polních podmínkách (vysoká půdní úrodnost, kompletní ochrana) a největší rozdíly zaznamenali v roce s nejvyššími výnosy. Naopak K a r p e n s t e i n - M a c h a n , S c h e f f e r (1989) zaznamenali zmenšení rozdílu ve výnosu zrna mezi starými a novými odrůdami ozimé pšenice v intenzivních podmínkách (výživa, ochrana).

Vlhkost půdy, použitá jako ukazatel rozdílu v odběru vody z ornice, ukázala u obou odrůd ve vegetativní fázi i přes větší listovou plochu odrůdy Chlumecká 12 značnou shodu. Vyšší odběr odrůdou Chlumecká 12 v roce 1983 a 1984 ve fázi dozrávání byl způsoben v těchto letech výrazně delší dobou dozrávání (až o 14 dnů). Shodně byl u obou odrůd odběr vody většinou mírně vyšší při hnojení dusíkem (H a b e r l e , 1986a). Také S i d d i q u e et al. (1990a) překvapivě ani v suchém středozemním klimatu nepozorovali rozdíly v odběru vody z půdy a její spotřebě na jednotku biomasy ani v hloubce prokořenění mezi více než sto let starou a moderními odrůdami pšenice. Od nejstarších k moderním odrůdám se však zvyšoval výnos zrna a sklizňový index, což v důsledku zvyšovalo efektivnost využití vody na jednotku výnosu zrna (S i d d i q u e et al., 1990b). Totéž se prokázalo i v našem pokusu, protože starší odrůda Chlumecká 12 odčerpávala z ornice stejně nebo více vody při nižším výnosu zrna než odrůda Vala.

Z hlediska hodnocení efektivnosti příjmu a využití živin existuje řada definic (např. C l a r k , D u n c a n , 1991). V našem pokusu odrůda Chlumecká 12 většínou odebrala na jednotku hmotnosti kořenů v ornici více dusíku, fosforu a draslíku, ale k podrobnějšímu hodnocení efektivnosti příjmu by bylo nutné sledovat i prokořenění v podorničí a délku kořenů. S l a f e r et al. (1990) uvádějí celkovou produkci dusíku z jednotky plochy u starých i nových odrůd obdobnou nebo i vyšší u starých odrůd. Vzhledem k vyššímu výnosu zrna a sklizňovému indexu odrůda Vala ve srovnání s odrůdou Chlumecká 12 dosahovala vyšší efektivnosti využití přijatých živin na jednotku produkce zrna. Na rozdíl od našich výsledků pozorovali F e i l , G e i s l e r (1989) v nádobových pokusech mírně vyšší koncentraci dusíku u moderních odrůd jarní pšenice ve srovnání s odrůdami z první třetiny tohoto století. V nádobových pokusech (v letech 1991, 1992) jsme pozorovali u odrůdy

Chlumecká 12 a u suchovzdorné odrůdy Mexico vyšší koncentraci dusíku v nadzemních částech ve srovnání s jinými moderními odrůdami ozimé pšenice (Bláha, Matula, Haberle - nepubl.).

Možnosti zlepšeného, efektivnějšího využívání zdrojů prostředí za méně intenzivních výrobních podmínek jsou dnes hledány spíše v podpoře stability komplexního projevu plodin pro maximální využití zdrojů v suboptimálních podmínkách než v intenzifikaci procesů (fotosyntéza, příjem živin a vody na jednotku délky kořene apod.). Možnosti zvýšení přesunu fotosyntátů do zrna, které byly hlavním zdrojem genetického zisku v minulosti, se zdají být vyčerpány. Bylo již potvrzeno, že geneticky podmíněné adaptační mechanismy ve vztazích kořenový systém - půda lze využít při šlechtění odrůd do podmínek snížených vstupů (Clark, Duncan, 1991 aj.), ale nelze očekávat rychlý a výrazný přínos.

Literatura

- ANDERSON, W. K. - SEYMOUR, M. - D'ANTUONO, M. F.: Evidence for differences between cultivars in responsiveness of wheat to applied nitrogen. *Austral. J. agric. Res.*, 42, 1991, s. 363-377.
- AUSTIN, R. B. - FORD, M. A. - MORGAN, C. L.: Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation. *J. agric. Sci. (Cambridge)*, 112, 1989, s. 295-301.
- BLÁHA, L.: Negativní působení půdních faktorů v imisní oblasti na výnos a jeho prvky. *Rostl. Výr.*, 38, 1992, č. 6, s. 437-446.
- BLÁHA, L. - HABERLE, J.: Význam zvětšování kořenové soustavy pro výnos a ostatní vlastnosti u obilovin. *Genet. a Šlecht.*, 26, 1990, č. 1, s. I-XII. (Příloha.)
- CLARK, R. B. - DUNCAN, R. R.: Improvement of plant mineral nutrition through breeding. *Field Crops Res.*, 27, 1991, č. 3, s. 219-240.
- COX, T. S. - SHROYER, J. P. - LIU BEN-HUI - SEARS, R. G. - MARTIN, T. J.: Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. *Crop Sci.*, 28, 1988, s. 756-760.
- FEIL, B. - GEISLER, G.: Untersuchungen zur Bildung und Verteilung der Biomasse bei alten und neuen deutschen Sommerweizensorten. *J. Agron. Crop Sci.*, 161, 1988a, s. 148-156.
- FEIL, B. - GEISLER, G.: Untersuchungen zum Wurzelwachstum von Jungpflanzen alter und neuer Winterweizensorten sowie eines Spelzweizens bei variiertem N-Versorgung. *J. Agron. Crop Sci.*, 161, 1988b, s. 264-272.
- FEIL, B. - GEISLER, G.: Untersuchungen zur Aufnahme und Verteilung von Stickstoff bei alten und neuen deutschen Sommerweizensorten. *J. Agron. Crop Sci.*, 162, 1989, s. 49-56.
- GENT, M. P. N. - KIYOMOTO, R. K.: Comparison of canopy and flag leaf net carbon dioxide exchange of 1920 and 1977 New York winter wheats. *Crop Sci.*, 25, 1985, s. 81-86.
- GENT, M. P. N. - KIYOMOTO, R. K.: Assimilation and distribution of photosynthate in winter wheat cultivars differing in harvest index. *Crop Sci.*, 29, 1989, s. 120-125.
- HABERLE, J.: Vliv některých agroekologických faktorů na produkci biomasy kořenů obilovin. [Kandidátská disertace.] Praha-Ruzyně, VÚRV 1986a, 113 s.
- HABERLE, J.: Vliv dusíku na tvorbu biomasy kořenů obilovin. *Agrochémia*, 26, 1986b, č. 11, s. 316-319.
- HABERLE, J.: Cereal root biomass distribution in the soil profile. In: DVOŘÁK, M. - ČERNOHORSKÁ, J. (eds): *Plant and Soil. Proc. Symp. Dynamics of processes in the soil and plant nutrition*, Praha, 1989, s. 145-155.

- CHAPIN, F. S.: The mineral nutrition of wild plants. *A. Rev. Ecol. Syst.*, 11, 1980, s. 233-260.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. - SCHEFFER, K.: Der Werdegang unserer Weizensorten - dargestellt anhand der Erträge und des Ertragsaufbaus von sorten ab 1921 bis zu den heutigen modernen Sorten. *Angew. Bo.*, 63, 1989, s. 417-427.
- LUPTON, F. G. H. - OLIVER, R. H. - ELLIS, F. B. - BARNES, B. T. et al.: Root and shoot growth of semidwarf and taller winter wheats. *Ann. appl. Biol.*, 77, 1974, s. 129-144.
- MEHRHOFF, R. - KÜHBAUCH, W.: Ertragsstruktur alter und neuer Winterweizensorten unter dem Aspekt der Einlagerung und Remobilisation von Fruktan im Weizenhalm. *J. Agron. Crop Sci.*, 165, 1990, s. 47-53.
- NOORDWIJK, M. van - WILLIGEN, P. de: Agricultural concepts of roots: from morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth. *Netherl. J. agric. Sci.*, 35, 1987, č. 4, s. 487-496.
- POMMER, G.: Haben alte sorten mehr Wurzeln als neue Zuchtsorten In: BÖHM, W. - KUTSCHE-RA, L. - LICHTENEGGER, E. (eds): Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung. *Int. Symp. Gumpenstein*, 1982, Irding, 1983, s. 483-490.
- SARKAR, P. K. - DEBNATH, N. C.: Response behaviour of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to variable levels of nitrogen. *Agrochimica*, 33, 1989, s. 322-329.
- SIDDIQUE, K. H. M. - BELFORD, R. K. - TENNANT, D.: Root : shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a mediterranean environment. *Pl. and Soil*, 121, 1990a, č. 1, s. 89-98.
- SIDDIQUE, K. H. M. - TENNANT, D. - PERRY, M. W. - BELFORD, R. K.: Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a mediterranean-type environment. *Austral. J. agric. Res.*, 41, 1990b, s. 431-447.
- SLAFER, G. A. - ANDRADE, F. H. - SATORRE, E. H.: Genetic-improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. *Field Crop Res.*, 23, 1990, s. 255-263.
- STÖPPLER, H. - KÖLSCH, E. - VOGTMANN, H.: Wurzelsystem, Biomasseproduktion, Bestockung und Ertragsbildung von vier Winterweizensorten in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von aussen. *J. Agron. Crop Sci.*, 166, 1991, s. 24-39.

Došlo 18. 3. 1993

HABERLE, J. (Research Institute of Crop Production, Praha-Ruzyně):

The comparison of root system, nutrient and water uptake of two old and present Czech winter wheat cultivars under different nitrogen fertilization.

Rostl. Vyr., 39, 1993 (9): 851-863.

Root and shoot development, nutrient content in shoot, and soil moisture depletion of the modern cultivar of winter wheat cv. Vala and 85-year old cv. Chlumecká 12 grown without nitrogen fertilizer or fertilized with 150 kg and 200 kg N.ha⁻¹ were investigated in three years field trial. Total root dry matter production (RDM) in plough layer of above wheats was significantly different only in drier year 1984, however, significant differences between both cultivars in RDM were observed in individual soil layers and stages.

Cv. Vala produced mostly more RDM in comparison with cv. Chlumecká 12 on the average of four sampling dates, the start of stem elongation, heading, the end of anthesis and maturity, by 10.1; 3.3 and 23.7 % in 1983, 1984 and 1985, resp. There were no consistent differences between cultivars in RDM distribution in the plough layer. Also the effect of nitrogen fertilization on RDM distribution and RDM production was not

consistent in years and during growth. Cv. Vala had mostly lower RDM in fertilized treatments than in those without nitrogen at heading and anthesis. Shoot growth and LAI of both cultivars were largely stimulated by nitrogen fertilization in all years and dates, except for shoot biomass of cv. Chlumecká 12 in 1983. The concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in shoots from shooting to anthesis was mostly higher in cv. Chlumecká 12 than that in cv. Vala, on the opposite, the content of calcium and magnesium was higher in cv. Vala. The nitrogen fertilization increased the concentration of nitrogen and potassium in above-ground parts similarly in both cultivars, only cv. Chlumecká 12 in 1983 had lower concentration of nitrogen and potassium in nitrogen fertilized treatments.

The course of soil moisture depletion was very similar for both wheats until the end of anthesis. Cv. Chlumecká 12 depleted more of the soil moisture than cv. Vala after anthesis in 1983 and 1985 due to longer period of ripening, i.e. longer duration of green plant organs. The modern cv. Vala was more effective in the terms of the use of soil water and absorbed nutrients for grain production than old cv. Chlumecká 12, first of all due to higher grain yield and higher harvest index, 0.44 to 0.53 in comparison with 0.30 to 0.37 in cv. Chlumecká 12.

Kontaktní adresa:

Ing. Jan Haberle, CSc., Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507,
161 06 Praha 6-Ruzyně

UPOZORNĚNÍ PRO ODBĚRATELE
VĚDECKÝCH ČASOPISŮ ČAZV A SAPV

Od roku 1994 bude zajišťovat distribuci vědeckých časopisů vydavatel - Ústav zemědělských a potravinářských informací Praha.

Věříme, že i v dalších letech zůstanete odběrateli našeho vědeckého časopisu.

	Periodicita	Rozsah	Předplatné
Rostlinná výroba	12	96 s.	420,-
Živočišná výroba	12	96 s.	420,-
Veterinární medicína	12	64 s.	360,-
Zemědělská ekonomika	12	96 s.	420,-
Lesnictví	12	48 s.	420,-
Potravinářské vědy	6	80 s.	192,-
Zemědělská technika	4	80 s.	128,-
Ochrana rostlin	4	80 s.	128,-
Genetika a šlechtění	4	80 s.	128,-
Zahradnictví	4	80 s.	128,-

Objednávky zasílejte na adresu:

Ústav zemědělských a potravinářských informací
referát odbytu
Slezská 7
120 56 Praha 2

OBSAH – CONTENTS

Biologický potenciál půd – Biological potential of soils

Š a n t r ů č k o v á H.: Respirace půdy jako ukazatel její biologické aktivity – Soil respiration as a measure of soil biological activity	769
---	-----

Š a n t r ů č k o v á H.: Mikrobiální biomasa jako ukazatel biologické aktivity půdy – Microbial biomass as a measure of soil biological activity	779
---	-----

Š i m e k M.: Fixace molekulárního dusíku jako parametr biologické aktivity půdy – Biological nitrogen fixation (nitrogenase activity) as a measure of soil biological activity	789
---	-----

Š i m e k M., K r o m k a M.: Denitrifikace jako parametr biologické aktivity půdy – Denitrification as a measure of soil biological activity	797
---	-----

R ů ž e k P.: Vliv různých způsobů hnojení dusíkem na nitrifikační schopnost půdy – The effect of different ways of nitrogen fertilizing on soil nitrification capability	805
---	-----

Š í ř a R.: Enzymová aktivita půdy jako ukazatel její biologické aktivity – Enzyme activity of soil as an indicator of biological activity	817
--	-----

K á l a l o v á S., Š i m o n T.: Účinnost komerčních inokulačních preparátů pro sóju – Efficiency of commercial inoculants for soybean	827
---	-----

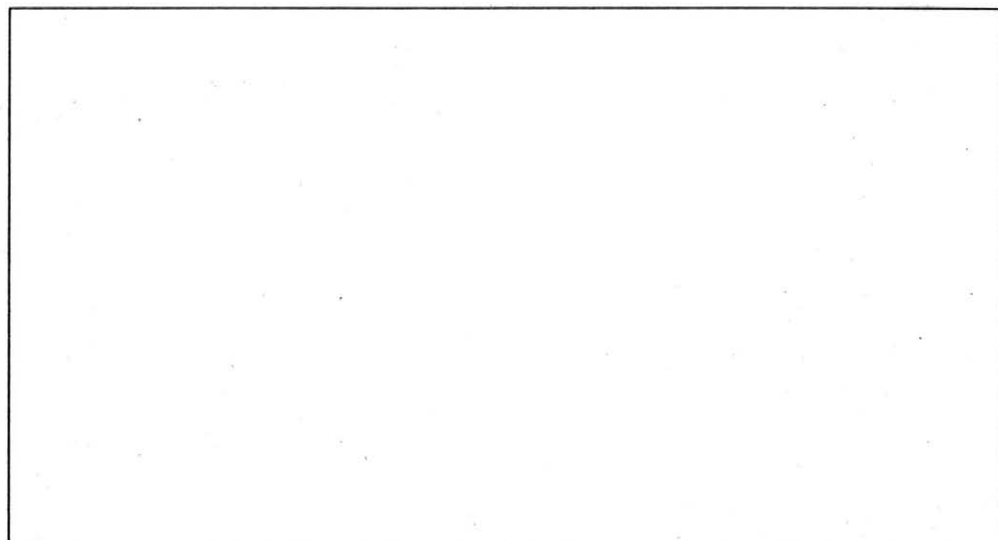
M a c h á č e k V.: Využití forem půdního fosforu pro charakteristiku výživného stavu černoze – The use of soil phosphorus forms to characterize the nutrition conditions of chernozem	835
--	-----

R i k a n o v á J., R o z s y p a l R.: Dynamika půdních fosfátů a jejich změny v podmínkách závlahy – The dynamics of soil phosphates and their changes in conditions under irrigation	845
---	-----

H a b e r l e J.: Porovnání kořenového systému, příjmu živin a vody u staré a současné odrůdy ozimé pšenice při různém hnojení dusíkem – The comparison of root system, nutrient and water uptake of two old and present Czech winter wheat cultivars under different nitrogen fertilization	851
--	-----

RECENZE – REVIEW

S m o l í k Z.: Meteorologický slovník výkladový a terminologický	826
---	-----



Vědecký časopis ROSTLINNÁ VÝROBA ● Vydává Česká akademie zemědělských věd a Slovenská akadémia pôdohospodárskych vied - Ústav zemědělských a potravinářských informací ● Vychází měsíčně ● Redaktorka: RNDr. Eva Stříbrná ● Redakce: Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/257541 ● Sazba: Studio DOMINO - ing. Jakub Černý, Popovice 144, 267 01 Králův Dvůr, tel.: 0311/22959 ● Tisk: ÚZPI Praha ● © Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 1993

Rozšiřuje PNS a. s. Informace o předplatném podá a objednávky přijímá každá administrace PNS, doručovatel tisku a Administrace centralizovaného tisku, Hvoždanská 5-7, 149 00 Praha 4-Roztyly.