



ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

ROSTLINNÁ VÝROBA

Plant Production

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

6

VOLUME 43 (LXX)
PRAHA
ČERVEN 1997
CS ISSN 0370-663X

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření České akademie zemědělských věd a s podporou Ministerstva zemědělství České republiky

An international journal published by the Czech Academy of Agricultural Sciences and with the promotion of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic

Redakční rada – Editorial Board

Předseda – Chairman

Doc. Ing. Josef Šimon, CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, ČR)

Členové – Members

Prof. Dr. Márta Birkás (Agrártudományi Egyetem, Gödöllő, Hungária)
 Ing. Helena Donátová, CSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)
 Prof. Ing. Václav Fric, DrSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)
 Prof. Dr. Günter Kahnt (Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Stuttgart, BRD)
 Prof. Ing. Josef Kozák, DrSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)
 Prof. Ing. Lubomír Minx, DrSc. (Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ČR)
 Ing. Timotej Mištin, CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Piešťany, SR)
 Doc. Ing. Jan Moudrý, CSc. (Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice, ČR)
 Prof. RNDr. Lubomír Nátr, DrSc. (Karlova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Praha, ČR)
 Dr. Peter Newbould (The Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen, Scotland, UK)
 Ing. Jaromír Procházka, CSc. (Výzkumný ústav pícninářský, Troubsko u Brna, ČR)
 Prof. Ing. Stanislav Procházka, DrSc. (Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ČR)
 Doc. Ing. Vlastimil Rasocha, CSc. (Výzkumný ústav bramborářský, Havlíčkův Brod, ČR)
 Prof. Dr. Heinrich W. Scherer (Agrikulturchemisches Institut der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität, Bonn, BRD)
 Doc. Ing. Ladislav Slávik, DrSc. (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, ČR)
 Prof. Ing. Václav Vaněk, CSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)
 Ing. Marie Váňová, CSc. (Zemědělský výzkumný ústav, Kroměříž, ČR)
 Prof. Ing. Karel Voříšek, CSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)
 Doc. Ing. František Vrkoč, DrSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, ČR)
 Prof. Dr. hab. Kazimiera Zawislak (Akademia Rolniczo-Techniczna, Olsztyn, Polska)

Vedoucí redaktorka – Editor-in-Chief

RNDr. Eva Stříbrná

Cíl a odborná náplň: Časopis publikuje původní vědecké práce, výsledky výkumu a studie z oborů rostlinná výroba, půdoznalství, meliorace a z navazujících disciplín.

Časopis je citován v bibliografickém časopise Current Contents – Agriculture, Biology and Environmental Sciences. Abstrakty z časopisu jsou zahrnuty v těchto databázích: Agricola, Agris, CAB Abstracts, Current Contents on Diskette – Agriculture, Biology and Environmental Sciences, Czech Agricultural Bibliography, Toxline Plus, WLAS.

Periodicita: Časopis vychází měsíčně (12x ročně), ročník 43 vychází v roce 1997.

Přijímání rukopisů: Rukopisy ve dvou vyhotoveních je třeba zaslat na adresu redakce: RNDr. Eva Stříbrná, vedoucí redaktorka, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 51 06, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze na celý rok (leden–prosinec) a měly by být zaslány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, vydavatelské oddělení, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1997 je 672 Kč.

Aims and scope: The journal publishes scientific papers, results of research and studies of the branches plant production, pedology, amelioration and related disciplines.

The journal is cited in the bibliographical journal Current Contents – Agriculture, Biology and Environmental Sciences. Abstracts from the journal are comprised in the databases: Agricola, Agris, CAB Abstracts, Current Contents on Diskette – Agriculture, Biology and Environmental Sciences, Czech Agricultural Bibliography, Toxline Plus, WLAS.

Periodicity: The journal is published monthly (12 issues per year), Volume 43 appearing in 1997.

Acceptance of manuscripts: Two copies of manuscript should be addressed to: RNDr. Eva Stříbrná, editor-in-chief, Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 51 06, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. The day the manuscript reaches the editor for the first time is given upon publication as the date of reception.

Subscription information: Subscription orders can be entered only by calendar year (January–December) and should be sent to: Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Subscription price for 1997 is 170 USD (Europe), 177 USD (overseas).

DISTRIBUTION OF CADMIUM, LEAD AND ZINC IN PLANTS GROWN ON HEAVILY POLLUTED SOILS

DISTRIBUCE KADMIA, OLOVA A ZINKU V ROSTLINÁCH NA SILNĚ KONTAMINOVANÝCH PŮDÁCH

L. Borůvka, J. Kozák, S. Křišťoufková

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: Content of cadmium, lead and zinc in plant roots and shoots (grasses of genera *Festuca* and *Poa*) from areas with different level and origin of contamination in the alluvium of the Litavka river was analyzed. In the area slightly polluted by atmospheric deposition, mean metal content in shoots was 0.312, 4.42 and 43.4 mg.kg⁻¹ dry weight of Cd, Pb and Zn, respectively. In the area heavily polluted by floods of contaminated water, corresponding values were found 2.38, 58.4 and 104.4 mg.kg⁻¹. Metal content in roots was significantly higher. Metal content decreased with the distance from the source of pollution. A part of concentration of Pb and Cd in plants originated from foliar uptake. Mobility in plants followed order Zn > Cd > Pb; correlation coefficients between shoot and root concentration were 0.644, 0.476 and 0.893 for Cd, Pb and Zn, respectively. Metal accumulation in roots was relatively more important at higher concentration levels. Evaluation by means of factor analysis showed that it was possible to select three factors for each area accounting for more than 85% of total variability.

cadmium; lead; zinc; plants; contamination; metal distribution; mobility

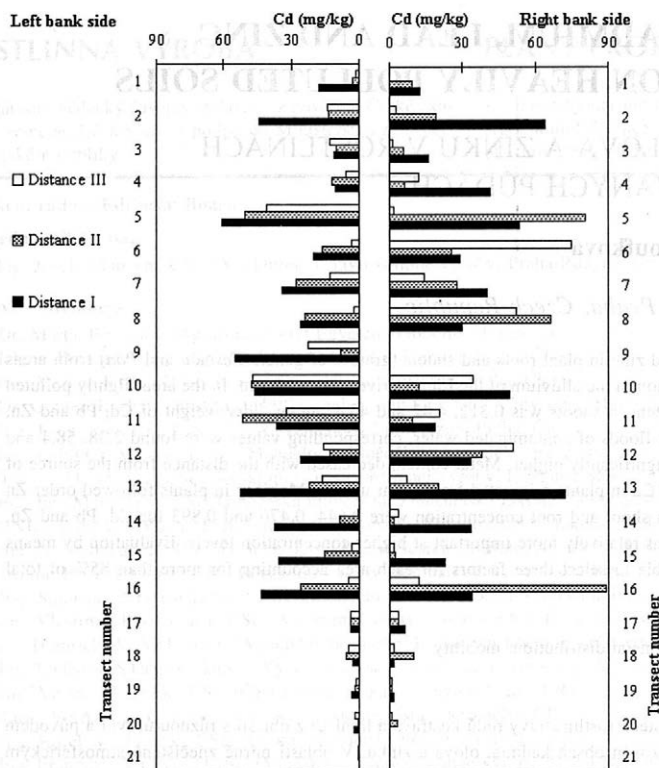
ABSTRAKT: V kořenech a nadzemních částech rostlin (trávy rodů *Festuca* a *Poa*) z oblastí s různou úrovní a původem kontaminace v nivě řeky Litavky byl analyzován obsah kadmia, olova a zinku. V oblasti mírně znečištěné atmosférickým spadem byl v nadzemních částech obsah Cd 0,312, Pb 4,42 a Zn 43,4 mg.kg⁻¹ sušiny. Odpovídající hodnoty v oblasti silně kontaminované záplavami znečištěnou vodou byly 2,38, 58,4 a 104,4 mg.kg⁻¹. V kořenech byly obsahy kovů výrazně vyšší. Obsah kovů klesal se vzdáleností od zdroje znečištění. Část Pb a Cd v rostlinách byla přijata mimokořenově. Mobilita kovů sledovala pořadí Zn > Cd > Pb, korelační koeficienty mezi koncentrací v nadzemních částech a v kořenech byly pro Cd, Pb a Zn 0,644, 0,476 a 0,893. Akumulace kovů v kořenech byla relativně vyšší při vyšších úrovních koncentrací. Ve faktorové analýze byly pro každou oblast vybrány tři faktory vysvětlující více než 85 % celkové variability.

kadmium; olovo; zinek; rostliny; kontaminace; distribuce kovů; mobilita

INTRODUCTION

Plants represent a part of environment through which many elements can get into the food chain, among them heavy metals. At higher amounts this can represent an important health risk. For this reason it is necessary to study the content of metals present in plants and their distribution among plant parts. Most of metals in plants originate in uptake by roots from soil. Němček et al. (1994) found a relative trend of increasing metal content in agricultural crops on polluted soils. Metals of anthropogenic origin are considered as more available from soils than those from parent rock (Grupe, Kuntze, 1988). Foliar uptake of some metals, especially of Pb, can be also relatively high (Domažlická, 1991). The way of uptake undoubtedly influences metal distribution in plant. Some metals are accumulated in roots, which is again the case especially of Pb, while others are well mobile in plants (Kabata-Pendias, Pendias, 1992).

Alluvial soils, especially inundated fluvisols, are considered as the most polluted soils by hazardous elements (Podlešáková et al., 1994). Consequently, it can be supposed that plants grown on these soils will be exposed to this contamination as well. In this work, content of Cd, Pb and Zn in plants in the alluvium of the Litavka river in the district of Příbram, an area seriously polluted, was determined. The studied area was depicted in our previous works (Kozák et al., 1995; Borůvka et al., 1996). In the latter, area slightly contaminated mainly by atmospheric deposition and area heavily polluted by floods of contaminated water were distinguished, thus representing two different levels of contamination and at the same time two different prevailing sources of metals. The aim of this study was to assess spatial distribution of metals in the alluvium and influence of the two sources of contamination. Besides, metal distribution in plants, resulting from metal accumulation and mobility in plants, in relation to concentration level was analyzed. Attention



1. Cadmium content in plant roots (in dry weight) down the river from the area of tributaries (transect 21) to district border (transect 1) in three distances from the river

was paid primarily to metal transport from roots to shoots.

MATERIAL AND METHODS

Sampling

Samples of plant roots and shoots (preferentially grasses of genera *Festuca* and *Poa*) were collected in July and August 1993 from 125 sampling sites. The sampling sites were situated on twenty-one transects to the river from its tributaries as far as to the district border. On each transect, three sites were situated on both banks in different distances from the river according to the probability of floods. Details and map of the area were given in Borůvka et al. (1996).

Analyses of metal contents

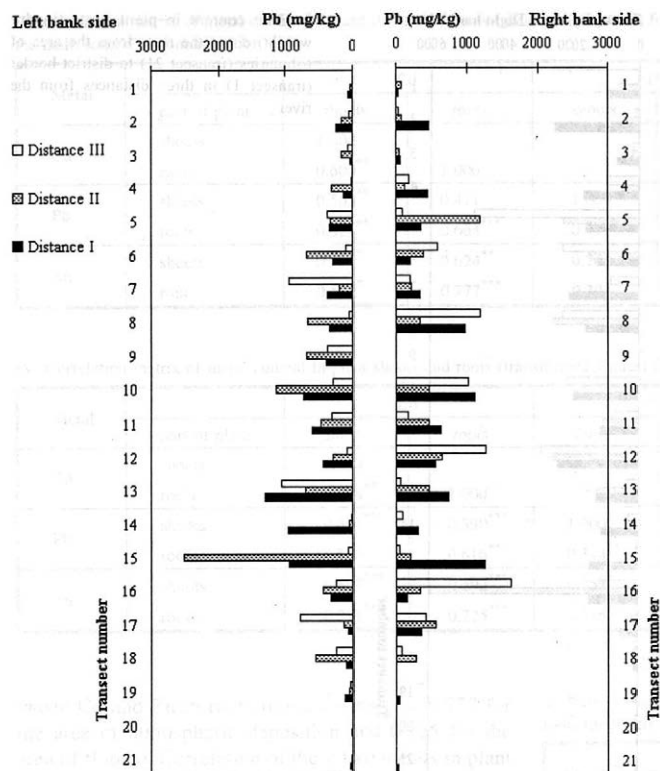
All samples were washed, dried at 60 °C and mineralised in dry mode mineralizer APION. The resulting ash was diluted by 1.5% HNO₃ and content of Cd, Pb and Zn in the solution was measured by means of atomic absorption spectrophotometry in air-acetylene flame. As a control, reference material 12-2-03, lucerne, was analysed by the identical procedure.

Statistics

Statistical treatment was proceeded with software Statgraphics version 5.0. The data were at first treated with classical statistical methods. Interrelations between metal contents were assessed by multivariate statistical methods, namely by means of correlation analysis and factor analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Spatial distribution of metal content in plant roots in the area is shown in Figs 1 to 3. From the tributaries (transect 21), this content slightly increased as far as to the transect number 17, which was the last where the floods of contaminated water could not happen. We assume that the increase was caused by atmospheric deposition from the smelter; it was most pronounced for Pb. From the transect number 16, the contents were much higher due to floods. They differed according to probability of floods, so that they were lower on sites more distant from the river, however, those differences were not significant in most cases. The maxima were shifted further from the source on the sites more distant in comparison to sites close to the river. The contents decreased downstream along the river, which was again



2. Lead content in plant roots (in dry weight) down the river from the area of tributaries (transect 21) to district border (transect 1) in three distances from the river

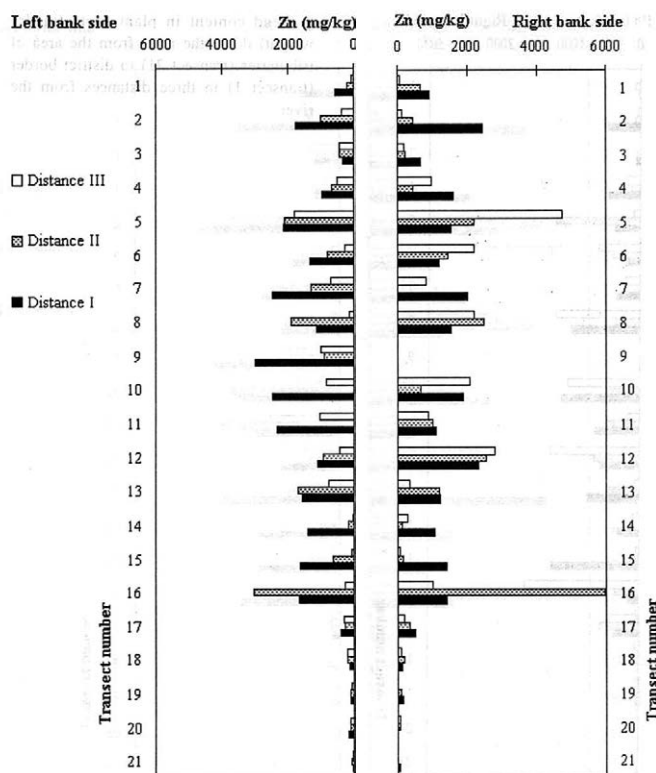
I. Summary statistics of metal content in plants in the area of atmospheric deposition as the main source of contamination (mg.kg^{-1} dry weight)

Metal	Cd		Pb		Zn	
	shoots	roots	shoots	roots	shoots	roots
Mean	0.312	2.380	4.42	58.42	43.36	104.35
Median	0.172	1.543	2.38	22.84	34.97	83.80
Geometric mean	0.183	1.406	2.56	23.01	36.41	83.45
Minimum	0.012	0.212	0.24	1.11	10.55	25.30
Maximum	1.660	10.022	24.51	271.32	111.69	334.21
Std. deviation	0.372	2.568	5.28	80.27	28.20	74.30
Skewness	2.33	1.77	2.74	1.80	1.40	1.44
Transformed						
Mean ($\log_{10}$)	-0.738	0.148	0.408	1.362	1.561	1.921
Median ($\log_{10}$)	-0.763	0.188	0.376	1.358	1.544	1.923
Std. deviation ($\log_{10}$)	0.465	0.469	0.481	0.662	0.257	0.295
Skewness ($\log_{10}$)	-0.09	0.01	-0.12	-0.22	0.29	0.16

most apparent for Pb. There were no significant differences between left and right bank sides, with exception of Zn content in roots which was lower on left bank side. Spatial distribution of metal content in plant shoots was similar to that in roots, the differences between different distances from the river, however, were even less pronounced, probably due to atmospheric

deposition effect. The values of shoot content were significantly lower than those of root content for all the three metals under study.

Summary statistics of metal content in plants are shown in Tabs I and II. In the area slightly polluted by atmospheric deposition, mean Zn content in plant shoots was in the range of background content of this



3. Zinc content in plant roots (in dry weight) down the river from the area of tributaries (transect 21) to district border (transect 1) in three distances from the river

II. Summary statistics of metal content in plants in the area polluted with floods (mg.kg^{-1} dry weight)

Metal	Cd		Pb		Zn	
Part of plant	shoots	roots	shoots	roots	shoots	roots
Mean	1.865	28.91	19.49	465.8	326.5	1 359.2
Median	0.854	23.87	6.42	338.8	273.7	1 096.3
Geometric mean	0.928	21.08	6.96	287.6	248.6	1 032.7
Minimum	0.074	1.75	0.62	14.9	33.5	82.1
Maximum	32.078	89.31	377.99	2 507.5	1 745.8	5 982.0
Std. deviation	4.357	20.65	50.17	434.3	279.2	989.2
Skewness	5.56	0.87	5.59	1.84	2.81	1.86
Transformed						
Mean ($\log_{10}$)	-0.033	1.324	0.843	2.459	2.395	3.014
Median ($\log_{10}$)	-0.069	1.378	0.807	2.530	2.437	3.040
Std. deviation ($\log_{10}$)	0.418	0.388	0.551	0.483	0.327	0.355
Skewness ($\log_{10}$)	1.05	-0.77	0.64	-0.63	-0.20	-0.79

metal (Kabata-Pendias, Pendias, 1992), Cd and Pb mean contents in shoots were close to the upper limit of background range. Content of all the three metals in plant shoots in the area of floods and content in roots in both areas were much higher than the background values. Difference between the two areas in content of all the three metals in plants was highly

significant ($\alpha < 0.001$). All the data sets were strongly skewed so that logarithmic transformations were used for further computations.

Correlation matrix of metal concentrations in plant roots and shoots were given in Tabs III and IV. In general, there was closer interelement correlation in roots than in shoots. Strong correlation was found be-

III. Correlation matrix of metal content in plant shoots and roots (transformed values) for the area influenced by atmospheric deposition as the main source of contamination

Metal	part of plant	Cd		Pb		Zn	
		shoots	roots	shoots	roots	shoots	roots
Cd	shoots	1.000					
	roots	0.605**	1.000				
Pb	shoots	0.565**	0.411	1.000			
	roots	0.529**	0.664***	0.499*	1.000		
Zn	shoots	0.477*	0.624**	0.264	0.578**	1.000	
	roots	0.520*	0.777***	0.398	0.691***	0.686***	1.000

IV. Correlation matrix of metal content in plant shoots and roots (transformed values) for the area polluted with floods

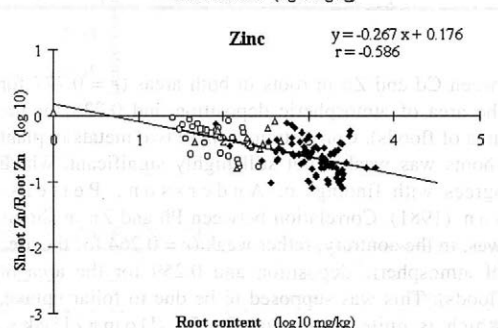
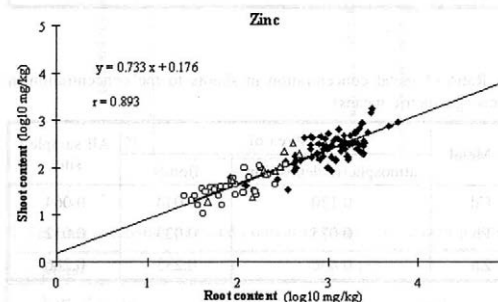
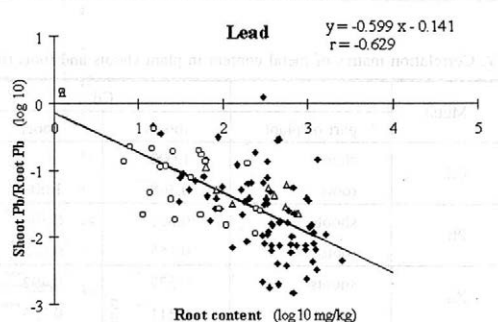
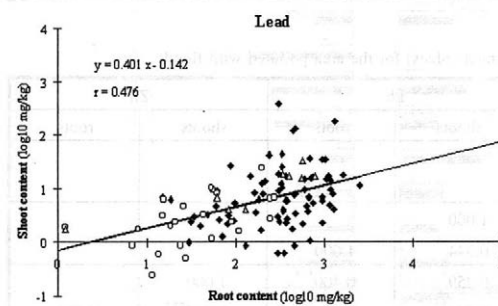
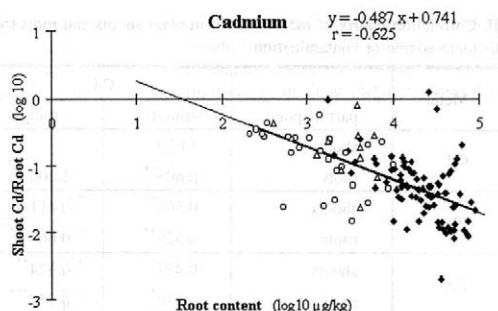
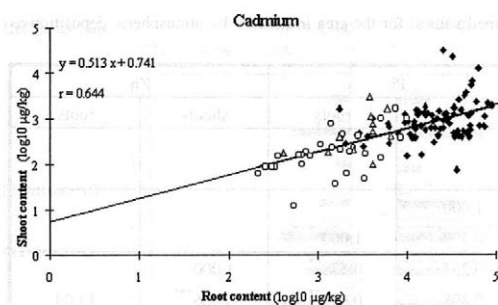
Metal	part of plant	Cd		Pb		Zn	
		shoots	roots	shoots	roots	shoots	roots
Cd	shoots	1.000					
	roots	0.308**	1.000				
Pb	shoots	0.601***	0.390***	1.000			
	roots	0.165	0.616***	0.344**	1.000		
Zn	shoots	0.577***	0.492***	0.259*	0.400***	1.000	
	roots	0.311**	0.725***	0.335**	0.631***	0.728***	1.000

tween Cd and Zn in roots in both areas ($r = 0.777$ for the area of atmospheric deposition and 0.725 for the area of floods). Correlation of these two metals in plant shoots was weaker but still highly significant, which agrees with findings of Andersson, Pettersson (1981). Correlation between Pb and Zn in shoots was, in the contrary, rather weak ($r = 0.264$ for the area of atmospheric deposition and 0.259 for the area of floods). This was supposed to be due to foliar uptake, which is quite substantial for Pb (Domažlická, 1991), while Zn is transported to aerial parts mostly from roots. Foliar uptake of Cd was indicated by its lower correlation coefficient with Zn than with Pb in shoots, which is in accordance with Hövmand et al. (1983) who considered grasses as plants with high ability to foliar uptake of Cd. Foliar uptake and metal accumulation in roots were probably responsible also for weak correlation between Pb concentration in roots and shoots in both areas ($r = 0.499$ and 0.344 , respectively); for Cd, this effect was found in the area of floods ($r = 0.308$). Zn, on the other hand, exhibited close correlation between its concentration in plant roots and shoots ($r = 0.686$ for the area of atmospheric deposition and 0.728 for the area of floods), which confirmed its high mobility in plants. Differences between metals in the relationship of metal concentration in roots and shoots are well apparent from Fig. 4. The data on all sampled sites were put together in that figure. The groups of sites were differentiated by markers, the other sites represent those excluded from the two groups mentioned above. The regression slopes were 0.513 , 0.401 and 0.733 for Cd, Pb and Zn, respectively, higher values implicate better mobility of metal from roots to shoots.

V. Ratio of metal concentration in shoots to the concentration in roots (geometric means)

Metal	Area of		All sampled sites
	atmospheric deposition	floods	
Cd	0.130	0.044	0.064
Pb	0.075	0.023	0.032
Zn	0.436	0.233	0.286

Metal mobility was then assessed using ratio of metal concentration in shoots to the concentration in roots (Tab. V). The mean values indicated that in the area slightly polluted by atmospheric deposition as the main source of contamination Zn concentration in shoots represented more than 40% of that in roots, for Cd and Pb that ratio was approximately 13 and 7.5%, respectively. In the area of floods, the concentration in shoots represented in average 23.3, 4.4 and 2.3% of that in roots for Zn, Cd and Pb, respectively. Differences between metals were highly significant, except difference between Cd and Pb in the area of atmospheric deposition. In general, this ratio was higher in the area of slight pollution than in the area heavily polluted by floods. This could be partly due to foliar uptake. However, this difference was found also for Zn, the foliar uptake of which is generally less important. Therefore, it was concluded that at higher metal levels relatively smaller amount of metal is transported from roots to aerial parts, which is in accordance with statement of Kabata-Pendias, Pendias (1992). Ratio of metal concentration in shoots to the concentration in roots was plotted as dependent on metal concentration



4. Relationship between metal content in plant roots and shoots after logarithmic transformation (○ represent sites slightly polluted by atmospheric deposition, ◆ represent sites contaminated with floods, △ stand for other sites in the alluvium); correlations are highly significant (significance level is lower than 0.001)

5. Relationship between ratio of metal concentration in shoots to the concentration in roots and metal concentration in roots (for point markers see Fig. 4); correlations are highly significant (significance level is lower than 0.001)

in roots (Fig. 5). In case of all the three metals quite good correlations were found. Values of regression slopes indicated that relative decrease of metal transport from roots to shoots, caused by elevating concentration level in roots, was most important for Pb and less important for Zn.

Analyses of principal components of interelement and root-shoot correlations were proceeded (Tab. VI). In factor analyses, three factors accounting for more than 85% of total variation were selected for each area (Tabs VII and VIII). Weights of the first factor were fairly high for all variables; in general, they were lower for shoots than for roots. In the area of atmospheric deposition, the weights of the first factor were nearly the same for Cd and Zn, weights of Pb were lower. In the area of floods, these weights followed order $Zn > Cd > Pb$. The first factor explained 63.3% of total vari-

ation in the area of atmospheric deposition and 55.5% in the area of floods, respectively. This factor was in both cases suggested to be the factor of root uptake from soil, because this way of uptake is responsible for most of metals present in plants. The second and third factors were projected into plots (Figs 6 and 7). In both cases, points representing root content were grouped relatively close to each other. Cd and Zn in roots were closer in the area influenced by atmospheric deposition, in the area polluted by floods Cd was closer to Pb. Points representing metal contents in shoots were distributed in distinct positions in the plots, indicating differences in contribution of the factors to the shoot content. Zn in shoots was relatively closer to the group of root contents, especially in the area of atmospheric deposition as the main source of pollution. According to factor weights and based on all the obtained data and

VI. Principal components of the correlations between metal contents in plant roots and shoots: their eigenvalues and percentage of total variability

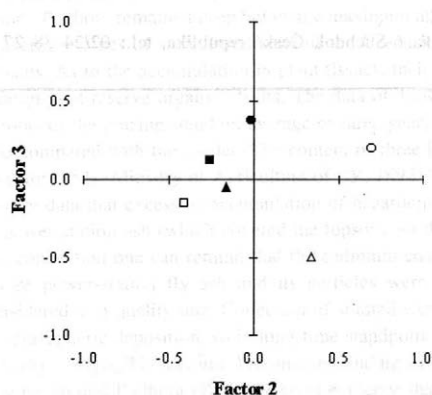
Factor	Atmospheric deposition			Flood contamination		
	eigenvalues	% of variation	cumulative percentage	eigenvalues	% of variation	cumulative percentage
1	3.797	63.3	63.3	3.331	55.5	55.5
2	0.865	14.4	77.7	1.134	18.9	74.4
3	0.459	7.6	85.3	0.764	12.7	87.1
4	0.370	6.2	91.5	0.372	6.2	93.3
5	0.310	5.2	96.7	0.276	4.6	97.9
6	0.199	3.3	100.0	0.123	2.1	100.0

VII. Weights of first three factors and estimated communalities for the area influenced by atmospheric deposition as the main source of contamination

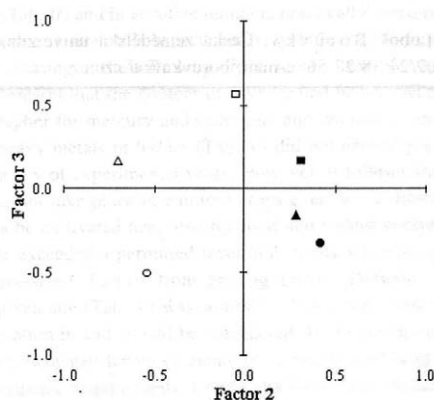
Metal	Part of plant	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Communalities
Cd	shoots	0.767	0.343	-0.493	0.949
	roots	0.871	-0.163	-0.049	0.788
Pb	shoots	0.629	0.695	0.196	0.918
	roots	0.838	-0.018	0.370	0.840
Zn	shoots	0.771	-0.410	-0.153	0.785
	roots	0.870	-0.262	0.120	0.840

VIII. Weights of first three factors and estimated communalities for the area polluted with floods of contaminated water

Metal	Part of plant	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Communalities
Cd	shoots	0.629	-0.699	0.164	0.911
	roots	0.813	0.287	-0.158	0.768
Pb	shoots	0.617	-0.535	-0.512	0.930
	roots	0.720	0.419	-0.333	0.805
Zn	shoots	0.790	-0.046	0.559	0.939
	roots	0.867	0.313	0.161	0.875



6. Plot of weights of the second and third factors of metal content in plants for the area of atmospheric deposition (full markers are for root content, blank ones for shoot content; Cd – triangles, Pb – circles, Zn – squares)



7. Plot of weights of the second and third factors of metal content in plants for the area polluted with floods of contaminated water (point markers see Fig. 6)

relations mentioned above, the following interpretation of second and third factors was suggested. In the area of atmospheric deposition, the second factor was considered as the factor of foliar uptake, influencing mainly Pb content and to a lower extent Cd content in shoots. The third factor was supposed to be the factor of metal accumulation in roots which have the highest weight for Pb. In the area polluted by floods, the second factor was interpreted as the factor of metal accumulation in roots. The third factor was considered as the factor of metal mobility in plants which have positive influence mainly on shoot content of Zn and, to a lower extent, of Cd. Suggested interpretation distinguished between the two areas stressing foliar uptake in the slightly polluted area, while in the area of floods the foliar uptake was relatively less important in comparison with amounts of metals coming from soil. In the heavily polluted area, on the other hand, the metal accumulation in roots was emphasized by the second factor, because, as it was shown, metal root accumulation was relatively more important at these high levels of metal concentrations. The fact that most of metals even in plant shoots originates from root uptake was reflected in the third factor.

Acknowledgement

This study was partially supported by a grant from the Faculty of Agronomy of the Czech University of Agriculture in Prague.

REFERENCES

- ANDERSSON, A. – PETTERSSON, O.: Cadmium in Swedish winter wheat. Regional differences and their origin. *Swed. J. Agric. Res.*, **11**, 1981: 49–55.
- BORŮVKA, L. – HUAN-WEI, C. – KOZÁK, J. – KRIŠTOUFKOVÁ, S.: Heavy contamination of soil with cadmium, lead and zinc in the alluvium of the Litavka river. *Rostl. Výr.*, **12**, 1996 (12): 543–550.
- DOMAŽLICKÁ, E.: Kontaminace rostlin kadmii, olovem a rtuťí. In: CIBULKA, J. et al.: Pohyb olova, kadmia a rtuťí v biosféře. Praha, Academia 1991: 75–121.
- GRUPE, M. – KUNTZE, H.: Zur Ermittlung der Schwermetallverfügbarkeit lithogen und anthropogen belasteter Standorte. 1. Cd und Cu. *Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkde.*, **151**, 1988: 319–324.
- HOVMAND, M. F. – TJELL, J. C. – MOSBAEK, H.: Plant uptake of airborne cadmium. *Envir. Poll.*, **30**, 1983: 27–38.
- KABATA-PENDIAS, A. – PENDIAS, H.: Trace elements in soils and plants. 2nd ed. London, CRC Press. Boca Raton Ann. Arbor. 1992.
- KOZÁK, J. – JANKŮ, J. – JEHLÍČKA, J.: The problems of heavily polluted soils in the Czech Republic: A case study. In: SALOMONS, W. – FÖRSTNER, U. – MADER, P. (eds): Heavy metals – problems and solutions. Chapter 17. Berlin, Springer Verlag 1995: 287–300.
- NĚMEČEK, J. – PODLEŠÁKOVÁ, E. – PASTUSZKOVÁ, M.: Kontaminace krmiv a potravinářských surovin v imisně zatíženém severočeském regionu. *Rostl. Výr.*, **40**, 1994 (6): 555–565.
- PODLEŠÁKOVÁ, E. – NĚMEČEK, J. – HÁLOVÁ, G.: Zátížení nivních půd Labe rizikovými látkami. *Rostl. Výr.*, **40**, 1994 (1): 69–80.

Received on November 20, 1996

Contact Address:

Ing. Luboš Borůvka, Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 27 51, fax: 02/24 38 27 56, e-mail: boruvka@af.czu.cz

PŘENOS OLOVA, KADMIA A RTUTI V SYSTÉMU PŮDA – ROSTLINA – ZVÍŘE

TRANSFER OF LEAD, CADMIUM AND MERCURY IN THE SYSTEM SOIL – PLANT – ANIMAL

J. Královce¹, L. Slavík²

¹ *Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno, Grassland Research Station, Závěšín, Mariánské Lázně, Czech Republic*

² *Research Institute of Fodder Industry, Pečky, Czech Republic*

ABSTRACT: At the Grassland Research Station at Závěšín the movement of selected heavy metals (Pb, Cd and Hg) was studied in the system soil – plant – animal at one site in order to find a degree to which the resulting product of agricultural production (i.e. meat predicted for the human nutrition) in the given region is loaded by potential transfer of heavy metals. The data presented originate from the years 1991 to 1993 and were obtained in the grazing ground Podhora at Závěšín near Mariánské Lázně. This is the site at an altitude of 750 m, characterized by average annual temperature of 6.4 °C (12.4 °C in the growing season) and average sum of precipitation exceeding 700 mm (of it 400 mm in the growing season). The soil at the site is acid cambisol, evaluated as medium heavy with acid reaction (pH/KCl 5.0), unsaturated sorptive complex and low content of low-quality humus. Heavy metals content in atmospheric precipitation is monitored at Závěšín since 1992, namely within the measuring network of the Research Institute of Water Management TGM. The bulk method is used, in which sampling vessels are permanently exposed and samples are taken always at the end of calendar month. The total wet deposition taken covers also deposition of dust elements. In the years 1986 to 1993 grazing ground was utilized by the system of grazing in short rotation. At the pastures average stand with prevalence of ryegrass and smooth-stalked meadow grass. The proportion of white clover was variable and ranged approximately about 20%. The stand was measured and sampled under the presence of animals below the portable cages, when the stand was always harvested when reached a height as stated before (13 cm at grazing of cattle and 4 to 6 cm at grazing of sheep). The level of fertilization was falling with time, since 1991 no fertilization was applied. Soil and root samples were taken each year in autumn. Heavy metals content in tissues of animals kept in given grazing ground was also estimated. Regarding the absence of fertilization, the investigated substances may fall to the given site through the atmospheric precipitation. Lead and cadmium content (from June 1993 also mercury) in precipitation waters and an amount of these elements supplied by them are in Tab. I, from which follows that the supply of heavy metals by atmospheric deposition was practically negligible at the given site and fluctuated distinctly below the literary data. It is necessary to pay a great attention to the loading of the soil which decisively participates in the production of foods and presents a potential inlet of pollutants into the food chain (Fig. 1). The content of investigated elements in soil of the grazing ground Podhora remained deep below the maximum allowed limits (Tab. II) and in absolute numbers practically corresponded to average values of agricultural soils of the Czech Republic. This site is from this aspect relatively little loaded by contaminants. As to the accumulation in plant tissues, their content is decreasing in the following order: roots – leaves – shoots – underground reserve organs – fruits. The data of Tabs III and IV confirm that the content of investigated heavy metals was in roots of the grazing stand on average of three years three times higher for mercury and cadmium, and ten times higher for lead compared with the fodder. The content of three investigated heavy metals in fodder (Tab. V) did not exceed permitted limit for feeds (Ministry of Agriculture of CR, 1993) in any case in any of experimental years. However, it follows from the literary data that excessive accumulation of hazardous elements did not take place in cultured crops even at the deposit site of power-station ash (which covered the topsoil), so that wheat can be cultivated here also for food and fodder purposes. In this connection one can remind that the cadmium content in fodder exceeded a permitted level only rarely when some time before power-station fly ash and its particles were applied to grassland. Fodder from grazing ground Podhora can be considered as a quality one. Collection of studied elements at the given site (Tab. V) was somewhat lower than their supply by atmospheric deposition, so in long-time standpoint their accumulation in soil should be considered. In the given case this is really a negligible amount. Preliminary finding of the content of evaluated heavy elements in animal tissues bred in the grazing ground Podhora (Tab. VI) gives evidence that meat met hygienic requirements. Conditions for grazing breeding of animals are here more than suitable.

grasslands; grazing; heavy metals; transfer

ABSTRAKT: V letech 1992 až 1995 byl v pastevním areálu Podhora v Závišíně u Mariánských Lázní (nadmořská výška 750 m) sledován obsah rtuti, kadmia a olova v atmosférickém spadu. Atmosférický spad, který se obecně považuje za nejvýznamnější zdroj cizorodých látek a který byl na nehojeném stanovišti zdrojem jediným, obsahoval ve váženém průměru za uvedené období $0,56 \mu\text{g.l}^{-1}$ rtuti, $0,26 \mu\text{g.l}^{-1}$ kadmia a $7,80 \mu\text{g.l}^{-1}$ olova. Průměrný přísun atmosférickým spadem na daném stanovišti činil u rtuti $4,29 \text{ g.ha}^{-1}$, u kadmia $2,13 \text{ g.ha}^{-1}$ a u olova $64,18 \text{ g.ha}^{-1}$, což je hluboko pod maximálně přípustnými limity platnými pro ČR. Nezávadná byla i půda pastevního areálu, kde byl zjištěn průměrný obsah na 1 kg půdy $0,112 \text{ mg}$ rtuti, $0,213 \text{ mg}$ kadmia a $22,68 \text{ mg}$ olova. Obsah tří sledovaných těžkých kovů v píci nepřekročil během sledování ani v jediném případě přípustný limit pro krmiva. Maso i vnitřnosti (játra, ledviny) zvířat chovaných v pastevním areálu Podhora odpovídaly hygienickým požadavkům. Výsledky svědčí o tom, že podmínky pro pastevní chov zvířat v této oblasti jsou velmi dobré.

travní porosty; pastva; těžké kovy; přenos

ÚVOD

Zatížení životního prostředí cizorodými látkami, zejména těžkými kovy, se z pochopitelných důvodů věnuje neustálá pozornost. Valnou většinou jsou však předmětem studia víceméně izolované úseky, jako je např. sledování obsahu těžkých kovů v atmosférických srážkách (Český hydrometeorologický ústav, Výzkumný ústav vodohospodářský), v půdě (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy), v rostlinné produkci (Výzkumný ústav rostlinné výroby) či v živočišných tkáních (Výzkumný ústav krmivářský, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti). Na Lukařskopastviňské stanici v Závišíně jsme se pokusili na jednom stanovišti sledovat pohyb vybraných těžkých kovů (Pb, Cd a Hg) v systému půda – rostlina – zvíře a zjistit tak, do jaké míry je případným přenosem těžkých kovů zatížen výsledný produkt zemědělské výroby v dané oblasti, tj. maso určené k lidské výživě.

MATERIÁL A METODA

Předložené údaje pocházejí z období 1991 až 1993 a byly získány v pastevním areálu Podhora v Závišíně u Mariánských Lázní. Jedná se o stanoviště v nadmořské výšce 750 m, charakterizované průměrnou roční teplotou $6,4^\circ\text{C}$ (ve vegetačním období $12,4^\circ\text{C}$) a průměrným ročním úhrnem srážek přesahujícím 700 mm (z toho v průběhu vegetace 400 mm), jednotlivé roky se však navzájem často podstatně odlišují. Na stanovišti je hnědá půda kyselá, která je hodnocena jako středně těžká, s kyselou reakcí (pH/KCl 5,0), nenasyčeným sorpčním komplexem a nízkým obsahem málo kvalitního humusu. Matečnou horninou je amfibolit. Obsah přístupného fosforu je nízký (20 mg P.kg^{-1}), draslíku vysoký (212 mg K.kg^{-1}) a hořčíku vyhovující (83 mg Mg.kg^{-1}).

Obsah těžkých kovů v atmosférických srážkách se v Závišíně sleduje od roku 1992, a to v rámci měřicí sítě Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM. Používá se tzv. bulk metoda, při níž jsou odběrné nádoby neustále exponovány a vzorky se odebírají vždy na konci kalendářního měsíce. Jímaná celková mokrá

depozice zahrnuje tedy i depozici prашných částic (B u d s k á, 1995).

Pastevní areál byl v letech 1986 až 1993 využíván systémem pastvy v rychlé rotaci (R a i s, K r á l o v e c, 1989). Na pastvinách se postupně vyvinul průměrný porost s převahou jílku vytrvalého a lipnice luční. Podíl jetele plazivého byl proměnlivý a pohyboval se kolem 20 %. Měření porostu a odběry vzorků probíhaly za přítomnosti zvířat pod přenosnými klecemi, kdy ke sklizni docházelo vždy, kdy porost dosáhl předem stanovené výšky (13 cm při pastvě skotu a 4 až 6 cm při pastvě ovcí). Úroveň hnojení se postupem doby snižovala, od roku 1991 se nehnojilo vůbec. Výjimkou byly vytyčené pokusné parcely, na nichž se pro zachování kontinuity aplikoval pouze dusík v původním množství: 0, 100 a 200 kg.ha^{-1} (K r á l o v e c, R a i s, 1991). Vzorky půdy a kořenů se odebíraly každoročně na podzim.

Obsah těžkých kovů v píci, kořenech a v půdě se zjišťoval průběžně v laboratořích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského v Plzni. Orientačně byl zjišťován také obsah těžkých kovů v tkáních zvířat, chovaných v uvedeném pastevním areálu. Tyto rozborly byly v roce 1992 provedeny ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti v Praze-Straněch a v roce 1993 v Městském veterinárním zařízení v Praze-Písnici.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vzhledem k absenci hnojení mohou sledované látky přicházet na danou lokalitu jen prostřednictvím atmosférických srážek, které jsou obecně považovány za největší zdroj cizorodých látek, daleko významnější než např. aplikovaná anorganická či organická hnojiva (s výjimkou čistírenských kalů). Také B e n e š, B e n e š o v á (1993) dokládají, že atmosférické spady představují u rtuti 91 %, u olova 82 % a u kadmia 60 % celkových vstupů (vedle spadů přichází i úvahu uvolňování z půdotvorného substrátu a přísun hnojiv). Obsah olova, kadmia a od června 1993 také rtuti ve srážkových vodách i jimi dodané množství těchto prvků na daném stanovišti udává tab. I. Ze srovnání s ostatními měřicími stanicemi sítě Výzkumného ústa-

		Hg	Cd	Pb
Obsah v atmosférických srážkách ¹ (μg.l ⁻¹)	1992	–	0,23	10,83
	1993	0,72*	0,13	7,74
	1994	0,88	0,43	3,43
	1995	0,22	0,24	8,93
	průměr ³	0,56	0,26	7,80
	Beneš, Benešová (1993)	0,53	2,00	22,50
Přísun atmosférickými srážkami ² (g.ha ⁻¹)	1992	–	1,85	86,40
	1993	3,75*	0,93	56,12
	1994	7,02	3,42	27,36
	1995	2,10	2,32	86,86
	průměr	4,29	2,13	64,18
	Beneš (1992) – cit. Beneš, Benešová (1993)	1,90	9,00	182,00
	Budská (1995), průměr let 1991–1993	–	4,40	113,30
	Šantroch et al. (1989)	–	–	140,00
	roční limit pro přísun ⁴ (EU, 1986)	100,00	150,00	1 500,0

– nesledováno – not investigated

* sledováno od června 1993 – investigated from June 1993

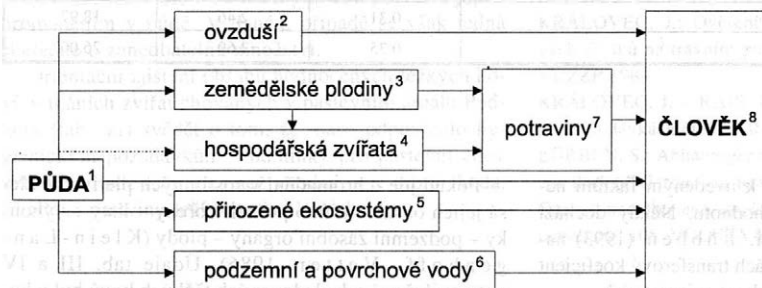
¹content in atmospheric precipitation, ²supply by atmospheric precipitation, ³average, ⁴annual limit for supply

vu vodohospodářského je zřejmé, že se Závišín řadí mezi místa atmosférickou depozicí nejméně zatížená (Budská, 1995). Z porovnání s množstvím, které povoluje (při aplikaci čistírenských kalů) Evropská unie (EU, 1986), je zřejmé, že zde je přísun atmosférickými spady zanedbatelný a pohybuje se výrazně pod literárními údaji. Vzhledem k tomu, že celkové vstupy jsou u rtuti 2x, u olova 1,5x a u kadmia 3x vyšší než celkové výstupy (odběrem rostlinami, erozí a vymýváním půdního profilu), musí docházet k hromadění těchto prvků v půdě. Stupni jejího zatížení je třeba věnovat velkou pozornost, protože půda, která se rozhodujícím způsobem podílí na produkci potravin, představuje možnost vstupu polutantů do potravinového řetězce, jak je zřejmé z obr. 1 (Šáňka, Paterson, 1993).

Z tab. II vyplývá, že obsah sledovaných prvků v půdě pastevního areálu Podhora zůstával hluboko pod maximálně přípustnými limity, stanovenými vyhláškou ministerstva zemědělství (MŽP, 1994) a v absolutních číslech obsahy prvků v podstatě odpovídají průměrným

hodnotám, které zjistili Mazanec et al. (1994) pro rozhodující výměru zemědělských půd ČR. Je však třeba poznamenat, že maximálně přípustné obsahy těchto prvků v půdě byly překročeny jen ojediněle i v severočeském regionu, který je považován za imisně nejzatíženější oblast ČR (Podlešáková et al., 1994). I z tohoto pohledu lze posuzované stanoviště považovat za poměrně málo zatížené.

Mnohem důležitější než obsah rizikových látek v půdě sám o sobě je jejich příjem zemědělskými plodinami. Sledované těžké kovy se na metabolismu rostlin nepodílejí, ale mohou naopak v celé řadě fyziologických a biochemických pochodů působit toxicky. Jejich příjem závisí na mnoha faktorech, mezi které patří vedle již zmíněného obsahu v půdě další půdní vlastnosti (např. půdní reakce, zásobenost živinami, obsah organické hmoty), charakter porostu (druh, odrůdy, stáří, intenzita růstu či o jakou část rostliny se jedná) a také průběh počasí (zejména množství srážek). Společné působení těchto činitelů se projevuje v tzv. transferovém ko-



1. Cesty přenosu škodlivin z půdy k člověku (Šáňka, Paterson, 1993) – Routes of transfer of harmful materials from soil to man (Šáňka, Paterson, 1993)

¹soil, ²atmosphere, ³agricultural crops, ⁴livestock, ⁵natural ecosystems, ⁶underground and surface waters, ⁷foods, ⁸man

II. Obsah rtuti, kadmia a olova v půdě pastevního areálu (Závišín) – Mercury, cadmium and lead content in soil of grazing ground (Závišín)

Obsah ¹ (mg.kg ⁻¹ půdy ²)	Hg	Cd	Pb
1991	0,089	0,217	24,00
1992	0,113	0,173	23,80
1994	0,136	0,250	20,23
Průměr ³	0,112	0,213	22,68
Kritéria hodnocení pro střední půdy ⁴ (MŽP, 1994)			
Horní hranice pozadí ⁵	0,400	0,400	40,00
Maximální přípustné hodnoty ⁶	0,800	1,000	70,00

Hg – celkový obsah v půdě – total content in soil

Cd, Pb – obsah v 2M výluhu HNO₃ – content in 2M of HNO₃ extract

¹content, ²of soil, ³average, ⁴criteria of evaluation for medium-textured soils, ⁵upper limit of background, ⁶maximum permitted values

III. Obsah rtuti, kadmia a olova v kořenech pastevního porostu (Závišín, aritmetický průměr všech úrovní hnojení, stav na konci vegetačního období uvedených let) – Mercury, cadmium and lead content in roots of grazing stand (Závišín, arithmetic mean of all levels of fertilization, situation at the end of the growing season of the given years)

Obsah ¹ (mg.kg ⁻¹ sušiny ²)	Hg	Cd	Pb
1991	0,125	0,987	15,79
1992	0,127	0,798	31,39
1993	0,261	0,919	22,33
Průměr ³	0,171	0,901	23,17

¹content, ²of dry matter, ³average

IV. Obsah rtuti, kadmia a olova v pastevní píce (Závišín, aritmetický průměr sklizní a všech úrovní hnojení v uvedených letech) – Mercury, cadmium and lead content in grazing fodder (Závišín, arithmetic mean of harvests and all levels of fertilization in the given years)

Obsah ¹ (mg.kg ⁻¹ sušiny ²)	Hg	Cd	Pb
1991	0,107	0,196	1,59
1992	0,024	0,318	2,49
1993	0,021	0,302	2,69
Průměr ³	0,050	0,272	2,26
Maximální přípustné obsahy v píce ⁴ (MZe, 1993, přepočteno na sušinu ⁵)	0,114	0,568	22,73

¹content, ²of dry matter, ³average, ⁴maximum permitted contents in fodder, ⁵Ministry of Agriculture, 1993, calculated to dry matter

V. Odběr rtuti, kadmia a olova pastevním porostem (Závišín, součet sklizní v průměru všech úrovní hnojení) – Uptake of mercury, cadmium and lead by grazing stand (Závišín, sum of harvests on average of all levels of fertilization)

Odběr ¹ (mg.ha ⁻¹)	Hg	Cd	Pb
1991	0,62	1,67	10,29
1992	0,10	2,70	19,50
1993	0,22	3,02	27,11
Průměr ²	0,31	2,46	18,97
Beneš, Benešová (1993)	0,35	2,60	26,00

¹uptake, ²average

eficientu, který však vzhledem k uvedeným faktům nemůže mít žádnou konstantní hodnotu. Někdy dochází i k nelogickým zjištěním, např. L ü b b e n (1993) nalezl na nekontaminovaných půdách transferový koeficient až o 50 % vyšší než na půdách kontaminovaných.

Pokud jde o hromadění v rostlinných pletivech, klesá jejich obsah v tomto pořadí: kořeny – listy – výhonky – podzemní zásobní orgány – plody (K l e i n - L a n g e n h o f f, V e t t e r, 1986). Údaje tab. III a IV potvrzují, že obsah sledovaných těžkých kovů byl v ko-

	Obsah ⁵ (mg.kg ⁻¹)	Hg	Cd	Pb
Jednoletí volí ¹ (1992)	sval ⁶	0,001	0,008	0,06
	játra ⁷	0,004	0,107	0,09
	ledvina ⁸	0,009	0,070	0,14
Dvouletí volí ² (1992, 1993)	sval	0,010	0,005	0,11
	bránice ⁹	0,014	0,008	0,19
	játra	0,013	0,060	0,32
	ledvina	0,020	0,340	0,51
Ovce ³ (1992)	sval	0,001	0,007	0,03
	játra	0,002	0,080	0,09
	ledvina	0,002	0,115	0,10
ČR	maximální přípustné obsahy pro ⁴ (MZd, 1986)			
	maso ¹⁰	0,010	0,050	0,50
	vnitřnosti ¹¹	0,100	0,500	1,00
SRN	maximální přípustné obsahy pro (BGA, 1991)			
	hovězí maso ¹²	0,030	0,100	0,25
	hovězí játra ¹³	0,100	0,300	0,50
	hovězí ledvinu ¹⁴	0,100	0,500	0,50

¹one-year old oxen, ²two-year old oxen, ³sheep, ⁴maximum permitted contents for, ⁵content, ⁶muscle, ⁷liver, ⁸kidney, ⁹diaphragm, ¹⁰meat, ¹¹visceral, ¹²beef, ¹³beef liver, ¹⁴beef kidney

řenech pastevního porostu v průměru tři let u rtuti a kadmia 3x a u olova 10x vyšší než v píce.

Obsah tří sledovaných těžkých kovů v píce (tab. V) nepřekročil během pokusných let ani v jediném případě přípustný limit pro krmiva (MZe, 1993). Z literárních údajů však vyplývá, že k nadměrnému hromadění nebezpečných prvků nedošlo u pěstovaných plodin dokonce ani na složišti elektrárenského popela (povezeného ornici), takže je zde možné pěstovat pšenici i pro potravinářské a krmené účely (Bláha, Bluma, 1993). V této souvislosti je třeba připomenout, že obsah kadmia v píce překročil přípustnou hladinu jen zcela ojediněle a obsah olova ji nepřekročil vůbec ani tehdy, když byly před časem na travní porost aplikovány elektrárenské popílky a jejich sbalky (Králavec, 1984). Píce z pastevního areálu Podhora tedy lze považovat i z tohoto hlediska za kvalitní.

Odběr sledovaných prvků na dané lokalitě (tab. V) byl poněkud nižší než jejich přísun atmosférickým spadem, takže lze v dlouhodobém pohledu počítat s jejich hromaděním v půdě. V daném případě se však jedná skutečně o zanedbatelná množství.

Orientační zjištění obsahu hodnocených těžkých kovů v tkáních zvířat chovaných v pastevním areálu Podhora (tab. VI) svědčí o tom, že maso odpovídalo hygienickým požadavkům. Podmínky pro pastevní chov zvířat jsou zde tedy více než vhodné, a je proto škoda, že zdejší pastviny leží od roku 1994 ladem.

Tento příspěvek čerpá ze závěrečné zprávy Z 783-04 *Sledování přenosu vybraných cizorodých látek při pastvě zvířat*.

LITERATURA

- BENEŠ, S. – BENEŠOVÁ, J.: Bilance rizikových prvků ve sférách životního prostředí. Rostl. Vyr., 39, 1993 (10): 941–958.
- BLÁHA, L. – BLUMA, M.: Pšenice na dvou typech rekultivačních složišti elektrárenského popela. Úroda, 41, 1993 (12): 360–362.
- BUDSKÁ, E.: Depozice těžkých kovů a tritia. [Závěrečná zpráva.] Praha, VÚV TGM 1995.
- KLEIN-LANGENHOFF, U. – VETTER, H.: Cadmiumanreicherung in Futterpflanzen durch Aufnahme aus Boden und Luft. In: Zum Carry-over von Cadmium, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, Reihe A, 1986, Heft 335: 30–45.
- KRÁLOVEC, J.: Ověření agronomické účinnosti popílkových sbalků na travním porostu. [Závěrečná zpráva.] Praha, VÚZP 1984.
- KRÁLOVEC, J. – RAIS, I.: Kvalita pastevní píce při stoupajících dávkách dusíku. Rostl. Vyr., 37, 1991 (5): 427–434.
- LÜBBEN, S.: Abhängigkeit der Schwermetall-Transferfaktoren Boden/Pflanze von Kontaminationsgrad des Bodens. In: Qualität und Hygiene von Lebensmittel in Produktion und Verarbeitung, 105. VDLUFA Kongr. Hamburg, 1993. 198 s.

- MAZANEC, O. et al.: Průzkum obsahu rizikových prvků v půdách České republiky. Brno, ÚKZÚZ; Praha, OAPVR 1994.
- PODLEŠÁKOVÁ, E. – NĚMEČEK, J. – VÁCHA, R.: Kontaminace půd severočeského regionu rizikovými prvky. Rostl. Výr., 40, 1994 (2):123–130.
- RAIS, I. – KRÁLOVEC, J.: Vliv pastvy v rychlé rotaci na výnos a kvalitu píce. Rostl. Výr., 35, 1989 (11): 1175–1179.
- SÁNKÁ, M. – PATERSON, E.: Basal soil monitoring scheme in protected areas of the Czech Republic. Envir. Monit. Asses., 34, 1993: 167–174.
- ŠANTROCH, J. et al.: Kvalita srážek na území ČSSR. Meteorol. Zpr., 42, 1989: 144–146.
- BGA: Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes, Bundesgesundheitsblatt, 226, 1991 (5).
- EU: Nařízení Rady Evropy na ochranu životního prostředí a zvláště půdy při používání čistírenských kalů v zemědělství z 12. června 1986.
- MZe: Vyhláška MZe 264/93 Sb. o výrobě a složení krmných směsí.
- MZd: Směrnice Ministerstva zdravotnictví ČSR č. 69. Hygienické předpisy, sv. 61, 1986.
- MŽP: Vyhláška MŽP 13/94 Sb. o ochraně půdního fondu.

Došlo 5. 12. 1996

Kontaktní adresa:

Ing. Josef Královec, CSc., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, Lukáškopastvinářská stanice, Závěšín, 353 21 Mariánské Lázně, Česká republika, tel.: 019/724 04 95, fax: 019/724 05 12

VÝNOSY BRAMBOR A OBSAHY KADMIA, NIKLU A ZINKU V HLÍZÁCH

POTATO YIELDS AND CADMIUM, NICKEL AND ZINC CONTENTS IN TUBERS

J. Hlušek¹, M. Jůzl¹, J. Zrůst²

¹Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, Czech Republic

²Potato Research Institute, Havlíčkův Brod, Czech Republic

ABSTRACT: Yields and Cd, Ni and Zn contents in tubers of four very early potato varieties (Impala, Ukama, Krystala and Koruna) are presented in the contribution. Exact field trials were established in two different production regions (Žabčice u Brna – 184 m of altitude and Valečov u Havlíčkova Brodu – 460 m of altitude) in the years 1994 to 1996. Regarding the yields, at both sites and in all experimental years the Holland variety Impala was found to be the best with the yields at Žabčice 33.54 to 50.59 t.ha⁻¹, at Valečov 33.36 to 51.09 t.ha⁻¹. The yields of other crops were lower by 6 to 35%. Of the Czech varieties the best was found to be the variety Krystala at Žabčice (26.04 to 47.71 t.ha⁻¹) and the variety Koruna at Valečov (23.15 to 38.52 t.ha⁻¹). The lowest yield was obtained by the variety Koruna (Žabčice) and Ukama (Valečov). The differences in the Cd content between varieties were significant. More Cd was cumulated by varieties Krystala and Koruna. Significantly highest Cd concentration (0.024 mg.kg⁻¹) was measured in the variety Krystala. Increased N rate from 60 to 120 kg.ha⁻¹ increased Cd concentration in tubers by 22%. Higher Cd content was found in tubers at Žabčice (on average 0.023 mg.kg⁻¹) and lower at Valečov (0.016 mg.kg⁻¹). Tubers in 1996 were marked by significantly lower Cd content (0.015 mg.kg⁻¹). Ni content in potato tubers at both sites in the whole experimental period in all varieties was below the limit 0.5 mg.kg⁻¹ of fresh tubers. The variety Koruna was distinguished by the highest Ni content (0.130 mg.kg⁻¹). N fertilization also in the case of Ni was significantly supported its uptake, that is without danger of exceeding of the hygienic standard (increase from 0.094 to 0.109 mg.kg⁻¹). In the years 1994 and 1995 three to five times lower Ni concentrations were found at Valečov compared with Žabčice, in 1996 this was only two times lower. Zn contents reached approximately one third to one fourth of the permitted limit of 10 mg.kg⁻¹. Significant difference was found between the varieties Krystala x Impala and Koruna. Other relationships and dependences are similar like in the case of Cd and Ni. Zn concentration increased significantly with N rate. Significant difference was also between sites – lower Zn content in tubers from Valečov. In the years 1996 significantly lower Zn concentrations were characteristic than in the years 1994 to 1995.

potatoes; very early varieties; nitrogen nutrition; site; yield; Cd, Ni and Zn content

ABSTRACT: V polních pokusech vedených na dvou rozdílných lokalitách (Žabčice u Brna – 184 m n. m. a Valečov u Havlíčkova Brodu – 460 m n. m.) při dvou dávkách N (60 a 120 kg N.ha⁻¹) byl sledován výnos a obsah Cd, Ni a Zn v hlízách čtyř velmi raných odrůd brambor (Impala, Ukama, Krystala a Koruna). Výnosově nejlepší byla na obou lokalitách odrůda Impala s výnosy v Žabčicích 33,54 až 50,59 t.ha⁻¹, ve Valečově 33,36 až 51,09 t.ha⁻¹. Nejnížší výnos měla v Žabčicích odrůda Koruna a ve Valečově odrůda Ukama. Obsah Cd, Ni a Zn nepřevýšil povolené hygienické normy. Obsah Cd kolísal od 0,016 do 0,023 mg.kg⁻¹ čerstvé hmoty. Holandské odrůdy kumulovaly podstatně méně tohoto prvku. Obsah Ni byl po celé pokusné období na obou lokalitách pod povoleným limitem 0,5 mg.kg⁻¹ čerstvých hlíz. Nejvyšší obsah Ni byl zjištěn u odrůdy Koruna (0,130 mg.kg⁻¹). Obsahy Zn dosáhly v průměru 2,68 až 2,85 mg.kg⁻¹. Nejvyšší koncentraci Zn se vyznačovaly hlízy odrůdy Krystala. Při zvýšení dávky N na 120 kg.ha⁻¹ obsah všech sledovaných prvků narůstal. Ve Valečově byly naměřeny průkazně nižší koncentrace všech prvků než v Žabčicích a rok 1996 se od předchozích dvou významně lišil sníženou koncentrací sledovaných prvků v hlízách.

brambory; velmi rané odrůdy; výživa dusíkem; stanoviště; výnos; obsah Cd, Ni a Zn

ÚVOD

Pěstování konzumních brambor zaujímá v zemědělské produkci ČR významné místo. K velmi žádaným ze strany spotřebitelů patří odrůdy velmi rané. Rozho-

dujícím aspektem pro pěstitele a spotřebitele je výnos, který souvisí s efektivností pěstování, a současně obsah látek v hlízách, který určuje jejich zdravotní nezávadnost. K velmi sledovaným ukazatelům v tomto směru patří obsah cizorodých prvků v dužnině.

Základním předpokladem produkce kvalitních brambor je správná výživa a znalost prostředí, ve kterém jsou pěstovány. Existující rizika možnosti průniku cizorodých látek do potravinového řetězce vyžadují, aby jim byla věnována potřebná pozornost. U h n á k, R i p p e l (1990) nedoporučují pěstovat brambory v blízkosti závodu na výrobu Ni z důvodů vysokého nebezpečí kontaminace hlíz. H l u š e k (1991) při experimentech s odrůdou Resy zjistil, že při nízkém obsahu Cd a Zn v půdě byla koncentrace těchto prvků v hlízách podlimitní. Ukázalo se také, že příjem cizorodých prvků není v korelaci s jejich celkovým obsahem v půdě a zvláště u Zn se projevuje závislost příjato množství na půdní frakci. V o s t a l, P e n k (1989) považují brambory za rostlinu tolerantní vůči Cd.

Cizorodé prvky představují pro většinu rostlin stresový faktor a cestou potravního řetězce nebezpečí pro živočišný organismus. Z hygienického hlediska je rozhodující, zda se kumulují v částech, které jsou využívány ke konzumaci. V řadě prací (K o l á ř e t al., 1990) bylo potvrzeno, že podlimitní obsah cizorodých prvků v půdě nezaručuje, že rostliny pěstované na této půdě budou vždy obsahovat jejich tolerovanou hladinu.

Hlavním cílem naší práce bylo zhodnocení obsahu Cd, Ni a Zn v hlízách čtyř velmi raných odrůd brambor pěstovaných během tří let na dvou různých lokalitách a při dvou úrovních hnojení N.

MATERIÁL A METODA

Výnosy hlíz a obsahy Cd, Ni a Zn v hlízách byly sledovány v přesných polních pokusech v letech 1994 až 1996. K jejich založení byly vybrány dvě lokality (Žabčice a Valečov). V prvním případě šlo o pozemky ŠZP v Brně, který se nachází v kukuřičném výrobním typu v nadmořské výšce 184 m a jsou zde těžké půdy. Současně byly vedeny pokusy na pokusné stanici Valečov, která patří VÚB v Havlíčkově Brodě. Jde o oblast, pro kterou jsou charakteristické lehčí až střední půdy v nadmořské výšce 460 m.

Žabčická zemina se vyznačovala dobrým obsahem P, vyhovujícím obsahem K při vysoké zásobě Ca a Mg. Na pokusné stanici ve Valečově byla zemina vysoce zásobena P, byl zjištěn vyhovující obsah K a Mg. Obsah Ca byl nízký. Do pokusů byly zařazeny čtyři velmi rané odrůdy brambor (Impala, Ukama, Krystala a Koruna).

V půdě před založením pokusů byl zjištěn ve výluhu 2M HNO₃ tento obsah Cd, Ni a Zn (mg.kg⁻¹):

Prvek	Žabčice	Valečov
Cd	0,31	0,24
Ni	9,70	3,05
Zn	17,60	9,90

Tento stav je hodnocen jako přirozený obsah (B e n e š, 1993). Půdní reakce byla v Žabčicích neutrální a ve Valečově kyselá.

Pokusy byly zakládány metodou kolmo dělených dílců se čtyřmi opakováními do jednotného sponu 750 x 250 mm, což představuje hustotu porostu 53 300 rostlin.ha⁻¹. Brambory byly hnojeny dvěma dávkami N (60 a 120 kg.ha⁻¹), ostatní živiny byly aplikovány jednotně v dávce 50 kg P.ha⁻¹ a 130 kg K.ha⁻¹.

Vzorky hlíz k chemickým analýzám byly odebírány 90. den vegetace. Byly zpracovány podle agrochemických zásad (důkladné omytí a odstranění slupky) a stanovení Cd, Ni a Zn proběhlo po spálení na mokré cestě (HNO₃ + H₂O₂) metodou AAS na přístroji PHILIPS PU 9200 X.

Výnosové i analytické výsledky byly vyhodnoceny analýzou rozptylu a průkaznost rozdílů vyjádřena pomocí minimální průkazné difference.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Průměrné výnosy hlíz z polních pokusů jsou uvedeny v tab. I. Výsledky statistického hodnocení výnosů hlíz jsou shrnuty v tab. II (minimální průkazné difference mezi odrůdami a dávkami N).

Statistické hodnocení výsledků ukazuje, že v Žabčicích byla výnosově vysoce průkazně nejlepší holandská odrůda Impala ve všech třech pokusných letech (dosáhla výnosu hlíz 33,54 až 50,59 t.ha⁻¹). Z našich odrůd se jako lepší ukázala odrůda Krystala (26,04 až 47,71 t.ha⁻¹), která výnosově vysoce významně překonala holandskou odrůdu Ukama i naši odrůdu Koruna. Pořadí odrůd je tedy: Impala, Krystala, Ukama, Koruna. Za pozornost stojí i skutečnost, že výnosové meziodrůdové rozdíly byly odlišné v jednotlivých letech pokusu. V porovnání s odrůdou Impala byly výnosy ostatních odrůd v roce 1994 nižší přibližně o 28 až 35 %, v roce 1995 o 24 až 33 %, ale v roce 1996 jen o 5,7 až 8,4 %.

Výnosy hlíz v jednotlivých odrůdách byly statisticky vysoce průkazně ovlivněny hnojením N. Zvýšení dávky N ze 60 na 120 kg.ha⁻¹ přineslo přírůstek výnosu v roce 1994 o 14 %, 1995 o 12 % a 1996 o 9,3 %.

Na pokusné stanici ve Valečově byly dosaženy nižší výnosy hlíz. Odrůda Impala se i na tomto stanovišti ukázala jako nejvýnosnější. Produkce u ostatních odrůd byla ve všech letech nižší, a to v roce 1994 o 30 až 35 %, v roce 1995 o 6 až 12 % a v roce 1996 o 20 až 30 %. Přitom pořadí odrůd podle výnosu bylo v prvních dvou letech shodné: Impala, Koruna, Krystala, Ukama. Zde se jako lepší z našich odrůd projevila Koruna a holandská Ukama se ukázala jako nejméně výnosná. V roce 1996 holandské odrůdy výnosově výrazně převýšily naše odrůdy, přičemž i mezi odrůdami Ukama a Krystala byl rozdíl statisticky průkazný. Výjimkou při hodnocení výnosových výsledků ve Valečově byl rok 1995, ve kterém rozdíly mezi odrůdami byly velmi malé a neprůkazné. Na Valečově se projevila zvýšená dávka N.

Z našich výsledků (tab. III) je zřejmé, že hladinu Cd v hlízách velmi raných odrůd brambor ovlivňovalo více faktorů, v prvé řadě samotná odrůda. Naše odrůdy

I. Průměrný výnos hlíz (t.ha⁻¹) – Average yield of tubers (t.ha⁻¹)

Varianta pokusu ¹	Žabčice			Valečov		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Impala 60 N	32,57	43,05	48,07	27,43	31,49	49,57
Impala 120 N	34,51	52,79	53,11	39,30	35,27	52,62
Ukama 60 N	21,73	31,77	44,24	20,07	27,43	39,03
Ukama 120 N	24,58	34,13	48,84	23,29	31,02	42,72
Krystala 60 N	23,76	34,84	45,48	23,03	29,48	31,40
Krystala 120 N	28,32	37,99	49,94	23,16	32,66	39,77
Koruna 60 N	19,70	31,32	44,86	21,80	30,59	38,37
Koruna 120 N	24,01	33,03	47,82	24,50	32,20	38,67

¹treatment of trial

II. Výsledky statistického hodnocení výnosů hlíz – Results of statistical evaluation of tuber yields

Faktor ¹	Hladina významnosti ²	Minimální průkazná difference ⁵					
		Žabčice			Valečov		
		1994	1995	1996	1994	1995	1996
Odrůda ³	95 %	1,898	2,501	0,789	4,604	8,085	4,298
	99 %	2,391	3,152	0,995	5,802	10,188	5,416
Dávka N ⁴	95 %	0,992	1,307	0,412	2,406	4,225	2,246
	99 %	1,335	1,760	0,555	3,240	5,698	3,024

¹factor, ²level of significance, ³variety, ⁴N rates, ⁵minimum significant difference

III. Průměrný obsah kadmia v hlízách (mg.kg⁻¹ čerstvé hmoty) – Average cadmium content in tubers (mg.kg⁻¹ of fresh matter)

Varianta pokusu ¹	Žabčice			Valečov		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Impala 60 N	0,0234	0,0161	0,0144	0,0138	0,0179	0,0072
Impala 120 N	0,0274	0,0181	0,0217	0,0155	0,0222	0,0087
Ukama 60 N	0,0155	0,0135	0,0118	0,0136	0,0182	0,0080
Ukama 120 N	0,0314	0,0159	0,0194	0,0175	0,0256	0,0119
Krystala 60 N	0,0326	0,0221	0,0310	0,0159	0,0220	0,0099
Krystala 120 N	0,0384	0,0281	0,0271	0,0172	0,0253	0,0141
Koruna 60 N	0,0353	0,0214	0,0153	0,0162	0,0242	0,0094
Koruna 120 N	0,0320	0,0244	0,0212	0,0165	0,0311	0,0127

Hladina významnosti²:

odrůdy³ 0,0000

dávky N⁴ 0,0000

lokalita⁵ 0,0000

roky⁶ 0,0000

< 0,01 – rozdíl výsoce průkazný⁷

> 0,01; < 0,05 – rozdíl průkazný⁸

> 0,05 – rozdíl neprůkazný⁹

¹treatment of trial, ²level of significance, ³variety, ⁴N rates, ⁵site, ⁶years, ⁷highly significant differences, ⁸significant differences, ⁹insignificant differences

kumulovaly více Cd v hlízách než odrůdy holandské. Navíc je patrný i průkazný rozdíl mezi odrůdami Krystala a Koruna. Hygienické předpisy povolují 0,03 mg Cd.kg⁻¹ čerstvé hmoty hlíz. I když v některých případech byla tato norma překročena (v roce 1994 odrůda

Krystala a Koruna), šlo v převážné většině případů o obsahy podlimitní. Pro srovnání Bosque (1990) uvádí, že brambory ve Španělsku vykazují ze základních druhů zelenin nejnižší koncentraci Cd (0,005 mg.kg⁻¹). Poměrně vyšší hodnoty byly nalezeny

IV. Průměrný obsah niklu v hlízách (mg.kg^{-1} čerstvé hmoty) – Average nickel content in tubers (mg.kg^{-1} of fresh matter)

Varianta pokusu ¹	Žabčice			Valečov		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Impala 60 N	0,1346	0,1624	0,0804	0,0247	0,0464	0,0261
Impala 120 N	0,3361	0,1990	0,0685	0,0313	0,0523	0,0332
Ukama 60 N	0,1751	0,1501	0,0602	0,0243	0,0584	0,0235
Ukama 120 N	0,2393	0,1786	0,0474	0,0313	0,0634	0,0399
Krystala 60 N	0,1509	0,1238	0,0568	0,0179	0,0420	0,0318
Krystala 120 N	0,1803	0,1668	0,0705	0,0223	0,0423	0,0264
Koruna 60 N	0,2966	0,4116	0,0446	0,0382	0,0535	0,0283
Koruna 120 N	0,2856	0,2946	0,0611	0,0465	0,0519	0,0330

Hladina významnosti²:

odrůdy³ 0,0000

dávky N⁴ 0,0034

lokalita⁵ 0,0000

roky⁶ 0,0000

For 1–6 see Tab. III

V. Průměrný obsah zinku v hlízách (mg.kg^{-1} čerstvé hmoty) – Average zinc content in tubers (mg.kg^{-1} of fresh matter)

Varianta pokusu ¹	Žabčice			Valečov		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Impala 60 N	4,26	2,81	2,75	1,49	2,43	1,65
Impala 120 N	4,39	3,03	2,64	1,68	2,82	2,13
Ukama 60 N	3,59	3,18	2,44	1,77	3,09	1,64
Ukama 120 N	4,25	3,42	2,45	2,28	3,54	2,08
Krystala 60 N	3,94	2,69	2,80	1,64	3,08	1,78
Krystala 120 N	4,15	3,21	2,81	2,13	3,85	2,06
Koruna 60 N	4,11	2,91	2,67	1,55	2,39	1,78
Koruna 120 N	4,30	3,44	2,75	1,83	2,67	2,08

Hladina významnosti²:

odrůdy³ 0,0015

dávky N⁴ 0,0000

lokalita⁵ 0,0000

roky⁶ 0,0000

For 1–6 see Tab. III

v bramborách v Maďarsku (Szajki, 1984), které se pohybovaly v rozmezí 0,045 až 0,177 mg.kg^{-1} čerstvé hmoty.

Jako další významný faktor se ukázala dávka N. Působila synergicky na příjem Cd, jehož koncentrace se zvýšila přibližně z 0,018 na 0,022 mg.kg^{-1} , tedy o 22 %. Významné rozdíly v obsahu Cd byly zjištěny i mezi pokusnými lokalitami.

Norma pro obsah Ni v hlízách brambor je 0,5 mg.kg^{-1} . Z výsledků v tab. IV je zřejmé, že v dužnině hlíz nebylo této hodnoty v žádném případě dosaženo. Zdůvodnění podávají Brueggemann et al. (1983), kteří zjistili, že 40 až 50 % Ni je uloženo ve slupkách, které byly v našem případě odstraněny. U holandských odrůd nebyl zjištěn průkazný rozdíl. Naše odrůda Krystala se vyznačovala nejnižším obsahem, oproti kontrole průkazným. Odrůda Koruna v ob-

sahu Ni významně převyšovala tři zbývající odrůdy. Ocker et al. (1984) sledovali obsah Ni v bramborách v letech 1979 až 1982 a zjistili rozmezí 0,03 až 0,06 mg.kg^{-1} čerstvé hmoty, což odpovídá našim výsledkům z Valečova. I v případě Ni hnojení N významně podporovalo jeho příjem bez nebezpečí překročení hygienické normy. Za relevantní je třeba rovněž považovat rozdíly mezi lokalitami, kdy ve Valečově byly naměřeny hodnoty zejména v letech 1994 a 1995 podstatně nižší. V roce 1996 byly zjištěny hodnoty nižší až dvakrát. Hodnocení pokusných let ukazuje signifikantní pokles obsahu Ni v hlízách v roce 1996 oproti předchozím letům.

Výsledky uvedené v tab. V dokumentují, že v nezatížených oblastech s přirozeným obsahem Zn v půdě byly jeho obsahy v hlízách poměrně nízké a vyrovnané. Dosahovaly přibližně třetiny až čtvrtiny přípustného

obsahu. Nehrozila tedy kontaminace potravního řetězce. Naše závěry korespondují také s výsledky zahraničních autorů. Švýcarští autoři Andrey et al. (1988) stanovili v bramborách v průměru obsah Zn 2,89 mg.kg⁻¹ čerstvé hmoty, Brzowska, Zawadska (1981) uvádějí 2,70 mg.kg⁻¹ a Ocker et al. (1984) zjistili v období 1979 až 1982 koncentrace 3,2 až 5,4 mg.kg⁻¹ syrových hlíz. Nejnižším obsahem Zn (kolem 2,7 mg.kg⁻¹) se vyznačovaly odrůdy Impala a Koruna, nejvyšším Krystala (přibližně 2,85 mg.kg⁻¹), která průkazně převyšovala první dvě odrůdy. Obsahy Zn jsou nízké, přičemž Brueggemann et al. (1983) uvádějí, že tento prvek, na rozdíl od jiných prvků kumulujících se z velké části ve slupce, je distribuován rovnoměrně v celé hlíze. Jak publikoval Vazhenin (1991), je možné očekávat vysoký obsah Zn v oblastech s vysokou koncentrací průmyslu. Citovaný autor naměřil v oblasti jižního Uralu v bramborách obsah Zn 34 až 40 mg.kg⁻¹ při stejné normě jako v ČR.

Výsledky pokusů dále ukázaly, že obsah Zn je ovlivňován podobně jako obsah Cd a Ni. S dávkou N se jeho koncentrace průkazně zvýšila. Rovněž mezi lokalitami byl zaznamenán výrazný rozdíl s tím, že hlízy z Valečova se vyznačovaly průkazně nižším obsahem Zn. Pro ročník 1996 byly charakteristické významně nižší koncentrace Zn než v letech 1994 až 1995.

Tato problematika je součástí grantového projektu *Stabilita produkce a kvality velmi raných brambor*, jehož nositelem je VÚB v Havlíčkově Brodě a spoluřešitelem MZLU v Brně (GA ČR-503/95/0185).

LITERATURA

ANDREY, D. et al.: Monitoring programme for heavy metals in food. II. Lead, cadmium, zinc and copper in Swiss pota-

toes. Mitt. Geb. Lebensm.-Unters. u. Hyg., 79, 1988 (3): 327–328.

BENEŠ, S.: Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. I. část. Praha, MZe ČR 1993. 88 s.

BOSQUE, M. A. et al.: Concentration of lead and cadmium in edible vegetables from Tarragon Province. Spain. Sci. Tot. Envir., 95, 1990: 61–67.

BRUEGGEMANN, J. et al.: Influence of peeling on the heavy metal content of potato products. Landwirtsch. Forsch., Sonderh., 1983 (39): 352–360.

BRZOWSKA, B. – ZAWADSKA, T.: Atomic absorption spectrometry method for determination of lead, cadmium, zinc and copper in some vegetable products. Roczn. Państw. Zakł. Hig., 32, 1981 (1): 9–15.

HLUŠEK, J.: Rizika pěstování vybraných zelenin na půdách kontaminovaných Zn, Pb, Cd. [Habilitační práce.] Brno, 1991. 132 s. – VŠZ.

KOLÁŘ, L. et al.: Možnosti imobilizace kadmia v půdě a detoxikace kadmiiem zamořených půd. In: Sbor. Ref. Fyziologické aspekty výživy rostlin, Brno, 1990: 182–184.

OCKER, H. D. et al.: Heavy metals contents of potato and potato product. Z. Lebensm.-Unters. u. Forsch., 179, 1984 (4): 322–329.

SZAJKI, I.: Comparative studies on the heavy metal content of some foods produce by mass-production or under small-scale conditions. Egeszsegudomany, 28, 1984 (1): 68–74.

UHNÁK, J. – RIPPEL, A.: Content of metals in vegetables grown in the neighbourhood of a nickel works. Rostl. Výr., 36, 1990 (4): 387–394.

VAZHENIN, I.: Influence of industrial activity on soil fertility. Agrochimija, 1991 (5): 85–95.

VOSTAL, J. – PENK, J.: Hnojení, kvalita produkce a životního prostředí. Praha, MZVŽ ČSR 1989. 151 s.

Došlo 20. 11. 1996

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Jaroslav Hlušek, CSc., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, tel.: 05/45 13 30 98, fax: 05/45 21 11 28

PROJEKT CABINET – BIOTECHNOLOGIE SACHARIDŮ U LUSKOVIN

V rámci programu EU INCO-COPERNICUS byl 1. února 1997 oficiálně zahájen tříletý projekt *CABINET – Carbohydrate Biotechnology Network for Grain Legumes*. Instituce zúčastněné v tomto projektu získávají finanční prostředky na výměnu odborníků a informací, resp. organizaci odborných akcí, nikoliv však na podporu vlastního výzkumu, který má být hrazen z národních zdrojů. Smyslem projektu je tedy vytvoření fungující a efektivní informační sítě, založené na osobních kontaktech specialistů, zabývajících se různými aspekty sacharidů u luskovin. Sekundárním, avšak nikoliv zanedbatelným aspektem je pak vytvoření prostředí pro lepší spolupráci odborníků ze zemí EU a střední a východní Evropy.

Projekt CABINET je logickým vyústěním řady aktivit v oblasti výzkumu luskovin v Evropě, které nabývaly na intenzitě počátkem 90. let. Klíčovým mezníkem byla 1. evropská konference o luskovinách v roce 1992 (Angers, Francie), na níž byla ustavena AEP (L'Association Européenne des Protégagineux, resp. European Association for Grain Legume Research). Zde sehrály významnou zakladatelskou roli především dvě instituce – francouzská INRA a anglický JIC (John Innes Centre) v Norwichi, obě s vynikajícím vědeckým zázemím v oblasti biologie luskovin v nejširším slova smyslu. Aktivita AEP pokrývá komplexně celou oblast luskovin od biologických přes zemědělské disciplíny až po zpracování luskovin a ekonomické aspekty jejich pěstování (podrobněji rozsáhlé sborníky ze dvou proběhlých konferencí – 1992 Angers, 1995 Copenhaegen a časopis *Grain Legumes* vydávaný AEP). AEP zároveň vytvořila rámec pro specializovanější aktivity a vytváření menších projektů. Jedním z nich a současně předchůdcem stávajícího projektu CABINET byl *LINE – Legume Information Network for Europe* (1994–1996), připravený a koordinovaný C. Hedleyem z JIC v Norwichi, sdružující instituce z Anglie, Dánska, Španělska, Itálie, Polska, Maďarska, Rumunska a ČR. Již v tomto networku byla problematika sacharidů věnována nezanedbatelná pozornost a tato skutečnost vedla k přípravě nového projektu, v němž se staly sacharidy ústředním tématem.

První ustavující setkání projektu CABINET se konalo 15. až 18. února 1997 v John Innes Centre v Norwichi; z této instituce vzešla aktivita k jeho přípravě, a je tedy logicky i jeho oficiálním koordinátorem. V networku participuje pět zemí z EU (Anglie, Dánsko, Španělsko, Itálie, Švédsko) a devět ze střední a východní Evropy (Polsko, Česká republika, Rumunsko, Ukrajina, Estonsko, Maďarsko, Bulharsko, Moldávie, Rusko). Tříletý projekt hodlá dosáhnout těchto cílů:

- porovnat informace o složení škrobu, rozpustných sacharidů a vláknitých frakcí v semenech luskovin a osvětlit problémy s jejich chemickou determinací;

- identifikovat a charakterizovat sacharidy, které se projevují jako antinutriční faktory a měly by být v dietě (stravě, krmivu) redukovány, a ty, které se podílejí pozitivně na zlepšení zdraví a měly by být v dietě více zastoupeny;
- identifikovat a charakterizovat sacharidy, které se uplatňují pozitivně ve vývoji rostliny, zejména ty, jež chrání rostliny a semena proti teplotnímu stresu a desikaci;
- využití biotechnologií k tvorbě strategií pro genetickou manipulaci metabolických drah vedoucích k biosyntéze sacharidů a integrace těchto strategií do šlechtitelských programů;
- vývoj strategií šlechtění luskovin, které maximalizují pozitivní roli sacharidů pro vývoj rostlin a nutriční hodnotu produktů a zároveň minimalizují antinutriční efekty;
- identifikovat zpracovatelské postupy, které redukují antinutriční efekty sacharidů, ale zároveň mají minimální efekt na ostatní nutričně hodnotné komponenty a metabolizovatelnou energii;
- transfer informací z národních výzkumných programů v Evropě šlechtitelským společenstvem a jejich komerční využití.

Program prvního setkání byl zaměřen především na ustavení pracovních skupin podle profesní skladby účastníků projektu CABINET a na vypracování odborné náplně a časového harmonogramu na období 1997 až 1999. V rámci projektu tak budou vyvíjet aktivitu tyto pracovní skupiny:

1. Chemie (koordinátor P. Kadlec, ČR)
2. Výživa (koordinátor H. Kozłowska, Polsko)
3. Fyziologie (koordinátor R. Górecki, Polsko)
4. Biotechnologie (koordinátor N. Kuchuk, Ukrajina)
5. Šlechtění (koordinátor G. Engquist, Švédsko)
6. Zpracování (koordinátor B. Czukor, Maďarsko).

Tyto skupiny nebudou pochopitelně pracovat izolovaně, ale budou se vzájemně ovlivňovat či stimulovat, a právě od tohoto mezioborového přístupu jsou očekávány největší přínosy. Za ČR v projektu CABINET participují P. Kadlec, VŠCHT Praha (chemie), J. Pokorný, VŠCHT Praha (výživa), M. Mrskoš, ÚKZÚZ Brno (šlechtění), M. Griga, AGRITEC Šumperk (biotechnologie) a J. Urban, AGRITEC Šumperk (chemie). Již první setkání vedlo k vytvoření důležitých mezioborových vazeb a navázání osobních kontaktů, ve vědě velmi potřebných. Jedním z důležitých výstupů projektu by měla být komplexní monografie o sacharidech luskovin, tematicky členěná podle ustavených pracovních skupin. Nejvíce pozornosti v projektu bude věnováno hrachu, v menší míře pak bobu, lupině, sóji či čočce. Toto pořadí je logickým odrazem hospodářského významu uvedených plodin v evropském zemědělství. Organizátorem příštího setkání bude s největší pravděpodobností Polsko.

RNDr. Miroslav Griga, CSc., AGRITEC, výzkum, šlechtění a služby, s. r. o., 787 01 Šumperk, Česká republika, tel.: 0649/38 21 26, fax: 0649/38 29 99, e-mail: griga@ova.pvtinet.cz

VLIV HNOJENÍ A VÁPŇENÍ NA pH PŮD A VÝNOSY PLODIN

THE EFFECT OF FERTILIZATION AND LIMING ON pH OF SOILS AND CROP YIELDS

V. Vaněk¹, J. Najmanová¹, J. Petr², R. Němeček¹

¹ *Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic*

² *Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Praha, Lípa Station,
Czech Republic*

ABSTRACT: At two sites of stationary experiments at Lípa (cambisol) and at Svitavy (luvisol) pH of soils, mineral and mineralizable N content in soils in spring and autumn period, yield of crops and N uptake of crops were evaluated. Different rates of fertilizers were applied at Lípa from 1974 and at Svitavy from 1980. The article evaluated three treatments (treatment 1 – unfertilized, treatment 2 – manure + NPK, treatment 3 – manure + NPK + liming). The following crops were cultivated during the period under study: 1991 – red clover, 1992 – winter wheat, 1993 – potatoes, 1994 – winter wheat, 1995 – spring barley. The results of investigations for the period 1991 to 1995 show that the yields were significantly affected by red clover, followed by manuring and fertilizing. Treatment 2 (manure + NPK) gave increase of the yield at Lípa by 62.3% compared with untreated treatment and treatment 3 (limed, in addition) by 84.1% and at Svitavy by 35.7% and 57.9%. Similar influence, but at lower level, was found in N uptake by crops. Fertilization affected the yield more than N uptake by plants. Different fertilization had an impact on pH of soils and mineral and mineralizable N in soils, hence also crop yields and N uptake by crops. Liming maintained favourable level of soil pH and increased the yields over five yields at Lípa by 4.5 t and by 5.6 t of cereal units per 1 ha at Svitavy.

stationary trials; manuring, NPK, liming; pH of soils; mineral and mineralizable N in soils; crop yield; N uptake

ABSTRAKT: Výsledky sledování za období 1991 až 1995 ukázaly, že na výši výnosů měl výrazný vliv jetel luční a dále hnojení chlévským hnojem a průmyslovými hnojivy. Varianta 2 (chlévský hnůj + NPK) poskytla oproti nehnojené variantě přírůstek výnosu v Lípě o 62,3 % a varianta 3 (navíc vápněná) o 84,1 % a ve Svitavách o 35,7 % a 57,9 %. Podobné ovlivnění, ale na nižší úrovni, bylo zjištěno v odběru N plodinami. Hnojení tedy ovlivnilo výnosy víc než odběr N rostlinami. Rozdílné hnojení ovlivnilo pH půd a obsah minerálního a mineralizovatelného N v půdách, a tím i výnosy plodin a odběr N plodinami. Vápnění udržovalo příznivou hodnotu pH půd a zvýšilo za pět let výnosy v Lípě o 4,5 t a ve Svitavách o 5,6 t obilních jednotek na 1 ha.

stacionární pokusy; hnojení hnojem, NPK, vápnění; pH půd; minerální a mineralizovatelný N v půdách; výnos plodin; odběr N

ÚVOD

K nezbytným opatřením pro udržení či zvýšení půdní úrodnosti patří vedle pravidelného pěstování jetelovin, vhodného střídání plodin, hnojení organickými a průmyslovými hnojivy také vápnění.

Úprava aciditních podmínek a sycení sorpčního komplexu Ca, případně Mg patří k nejvýznamnějším funkcím vápnění. Zasahuje přímo i nepřímo do sorpce, rozpustnosti, přeměn a pohybu, a tím i do přijatelnosti ostatních živin, a celkově vytváří lepší podmínky pro rostliny. Vápnění má také nezastupitelné místo v ochraně životního prostředí a omezení vstupu řady rizikových látek, hlavně těžkých kovů do potravního řetězce.

Soustavné vápnění vyžadují především orné půdy v humidnějších podmínkách, kde jsou vysoké ztráty Ca z půdy vyplavením. Vzhledem k zásobě výměnného Ca vázaného na sorpční půdní komplex je půda schopna určité období vyrovnávat tyto ztráty bez zjevných změn půdních vlastností (Trávník, 1996; Vaněk, 1996 aj.). Samozřejmě na těžších půdách s vysokou sorpční kapacitou je možné předpokládat pozvolnější změny než na lehčích půdách.

Pokles spotřeby vápenatých hnojiv po roce 1990 je u nás značný a vzbuzuje obavy ze zhoršení půdních vlastností a snížení půdní úrodnosti v dalších letech (Vaněk, Penk, 1991 aj.). Je ohrožena nejen zemědělská výroba, ale i existence podniků vyrábějících vápenatá hnojiva. Při dlouhodobé absenci vápnění bude

pak obtížné řešit vysokou potřebu vápnění ekonomicky, technicky i organizačně.

MATERIÁL A METODA

V příspěvku jsou hodnoceny výsledky tří variant dlouhodobých stacionárních pokusů UKZÚZ ze stanovišť Lípa a Svitavy z let 1991 až 1995. Obě stanoviště se nacházejí v bramborářské výrobní oblasti a jejich základní charakteristiku udává tab. I.

V Lípě od roku 1974 a ve Svitavách od roku 1980 bylo používáno diferencované hnojení. Celkem bylo zařazeno 12 variant v šesti opakováních. Hodnocené varianty uvádí tab. II. Chlévský hnůj v dávce 40 t.ha⁻¹ byl aplikován na podzim 1992 pod brambory na obou stanovištích. Každoroční dávky P v superfosfátu činily 52,6 kg P.ha⁻¹ a K v draselné soli 132,8 kg K.ha⁻¹. Dávka N byla diferencována pro jednotlivé plodiny – ozimá pšenice 140 kg N.ha⁻¹, brambory 160 kg N.ha⁻¹ a jarní ječmen 92 kg N.ha⁻¹. Poslední vápnění (podle rozboru půd) u varianty 3 se uskutečnilo na podzim 1991 v Lípě v dávce 0,5 t CaO.ha⁻¹ a ve Svitavách 2,5 t CaO.ha⁻¹ ve formě mletého vápence. Výchozí hodnota pH půd (při založení pokusu) byla na obou stanovištích 6,6.

Pokusy byly organizovány v osmihodinném oševním postupu s 50% zastoupením obilnin. V letech 1991 až 1995 byly na obou stanovištích pěstovány tyto plodiny: 1991 – jetele luční, 1992 – ozimá pšenice, 1993 – brambory, 1994 – ozimá pšenice, 1995 – jarní ječmen.

Odběr vzorků půd pro sledování jejich agrochemických vlastností byl uskutečňován každoročně po sklizni plodin podle zásad pro agrochemické zkoušení půd. V jarní době byla stanovena hodnota pH (v suspenzi 0,2 M KCl) a obsah P, K, Mg a Ca metodou podle Mehlich II.

Odběr půdních vzorků pro stanovení minerálního a mineralizovatelného N v půdě proběhl z vrstvy 0 až 30 cm na jaře a po sklizni plodin. Zemina byla vysušena při 40 °C, homogenizována a analýzy byly realizovány z jemnozeme. Pro stanovení mineralizovatelného N byla použita aerobní inkubační metoda. Zemina promísená s pískem (1 : 1) byla sedm dní inkubována při vlhkosti 60% maximální vodní kapacity a teplotě 30 °C, potom následovalo stanovení minerálního N. Minerální N je obsah minerálního N před inkubací a mineralizovatelný N představuje přírůstek minerálního N během inkubace. Bližší údaje k pokusům uvádějí Petr et al. (1995) a Vaněk et al. (1995).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z údajů uvedených na obr. 1 je zřejmé, že absence vápnění (varianty 1 a 2) měla za následek pokles pH půd. Výraznější pokles pH v Lípě zřejmě souvisí s delším pokusným obdobím (od roku 1974) a také s tím, že na tomto stanovišti je lehčí půda s nižší sorpční kapacitou. Vyšší pokles pH půd u varianty 2 oproti nehnojené variantě 1 potvrzuje poznatky o okyselujícím vlivu průmyslových hnojiv, hlavně dusíkatých (Sluijsmans, 1970; Šilar, 1981 aj.). Pravidelné vápnění u varianty 3 udržovalo na obou stanovištích příznivou hodnotu pH. Z uvedených směrnatých odchylek je zřejmé, že vyšší rozptyl hodnot pH byl na stanovišti Svitavy.

Obsahy minerálního a mineralizovatelného N v půdách v jarním a podzimním období jsou uvedeny na obr. 2. Na obou stanovištích jsou patrné vysoké hodnoty minerálního i mineralizovatelného N u všech variant v roce 1991 po zaořávce jetele lučního a dále v podzimním období 1992 na stanovišti Svitavy. Je možné konstatovat, že kromě jetele lučního působilo výrazně

I. Charakteristika pokusných stanovišť – Characterization of experimental sites

Stanoviště ¹	Půdní typ ²	Půdní druh ⁵	Průměrné srážky ⁷ (mm)	Průměrná teplota ⁸ (°C)	Nadmořská výška ⁹ (m)
Lípa	kambizem ³	phl ⁶	632	7,7	505
Svitavy	hnědozem ⁴	phl	624	6,4	450

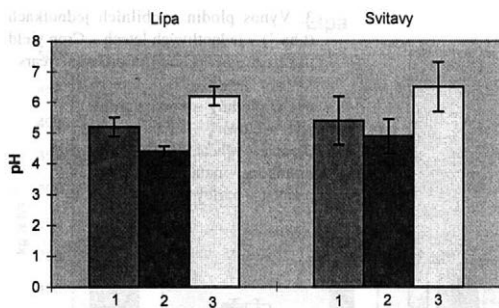
¹site, ²great soil group, ³cambisol, ⁴luvisol, ⁵texture, ⁶sandy loam, ⁷mean precipitation, ⁸mean temperature, ⁹altitude

II. Hodnocené varianty hnojení – Assessed treatments of fertilization

Varianta ¹	Hnojení ²
1	0
2	chlévký hnůj ³ + NPK
3	chlévký hnůj + NPK + vápnění ⁴

chlévký hnůj (dávka 40 t.ha⁻¹ na podzim 1992) – manure (rate 40 t.ha⁻¹ in autumn 1992)
vápnění (Lípa 0,5 t CaO.ha⁻¹ a Svitavy 2,5 t CaO.ha⁻¹ jako CaCO₃ na podzim 1991) – liming (Lípa 0,5 t CaO.ha⁻¹ and Svitavy 2,5 t CaO.ha⁻¹ as CaCO₃ in autumn 1991)

¹treatment, ²fertilization, ³manure, ⁴liming



1. Průměrné hodnoty pH v období 1991 až 1995 – Average pH values in the period of 1991 to 1995

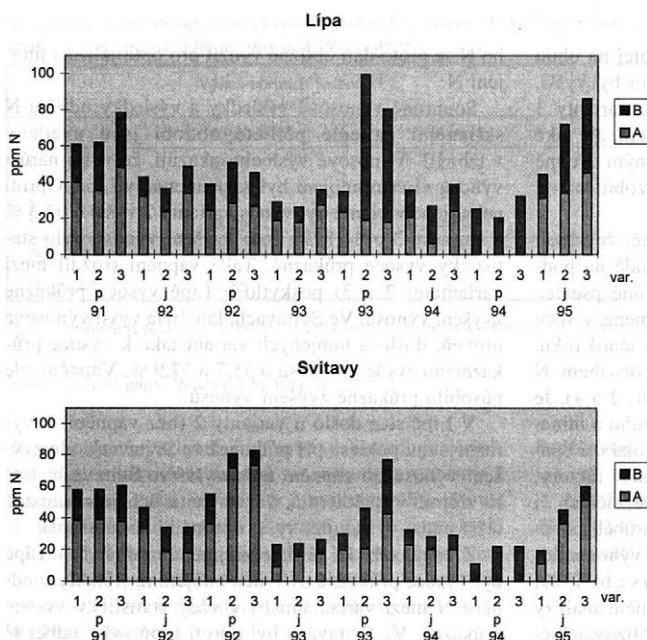
osa x: varianty – x axis: treatments

na obsah obou forem N hnojení chlévským hnojem. V jarním období 1993 však nebyly zjištěny vyšší hodnoty minerálního a mineralizovatelného N po hnojení hnojem (podzim 1992), takže se spíše projevila imobilizace N, a teprve v podzimním období 1994 byly zaznamenány vysoké hodnoty u variant 2 a 3, a tím i dobré předpoklady výnosu ozimé pšenice. Po poklesu obou forem N na obou stanovištích v jarním i podzimním období 1994 nastalo výrazné rozlišení obsahu minerálního i mineralizovatelného N v jarním období 1995 podle variant. Obsah minerálního i mineralizovatelného N u variant 2 a 3 (vápněné a nevápněné) byl většinou na podobné úrovni. V Lípě byly zjištěny i vyšší hodnoty na podzim u nevápněné varianty, což zřejmě souvisí s pozvolnější mineralizací a naopak vět-

šinou vyšší, a tedy příznivější hodnoty byly u varianty 3 v jarním období. I když je obecně známo příznivé působení vápnění na mineralizační procesy v půdách (Vaněk, 1973; Arnold et al., 1994 aj.), je třeba si uvědomit skutečnost, že pouze N uvolněný na počátku nebo v průběhu vegetace může být využit pro tvorbu výnosu a jeho kvalitu a naopak prodleva mineralizace nebo její stimulace koncem vegetace může vést ke zvýšení ztrát N.

Výnosové výsledky v přepočtu na obilní jednotky (OJ) uvádí obr. 3. Projevil se výrazný vliv jetele na udržení půdní úrodnosti. Dokladem toho jsou výnosy plodin na nehojené variantě 1, kdy se ještě v roce 1994 udržoval výnos zrna ozimé pšenice v rozmezí 4 až 5 t zrna.ha⁻¹. Avšak v roce 1995 nastal již výrazný pokles výnosu zrna jarního ječmene na obou stanovištích (1,6 a 2,1 t.ha⁻¹), zatímco hnojené varianty poskytl o 3,1 až 4 t.ha⁻¹ více. Lze konstatovat příznivé působení současného hnojení chlévským hnojem a průmyslovými hnojivy (varianty 2 a 3). Porovnání variant 2 a 3 ukazuje, že vápnění u varianty 3 mělo za následek vyšší výnos u všech plodin, nejvýraznější nárůst byl ve Svitavách u ozimé pšenice v roce 1992, kde byl zaznamenán vyšší výnos zrna o 1,5 t.ha⁻¹, a u jarního ječmene v roce 1995 o 1,2 t.ha⁻¹. Tendence nižšího výnosu jetele lučního u varianty 2 na obou stanovištích jsou zřejmě důsledkem omezené fixace vzdušného N při méně vhodném pH.

Odběry N plodinami v jednotlivých letech znázorňuje obr. 4. Ve sledovaném období jednoznačně dominoval odběr jetelem lučním, zvláště na stanovišti Svitavy dosáhl hodnot přes 400 kg.ha⁻¹. U ostatních plodin většinou odběry N korespondovaly s výnosem,



2. Obsah minerálního a mineralizovatelného N v období 1991 až 1995 – Mineral and mineralizable N content in the period of 1991 to 1995

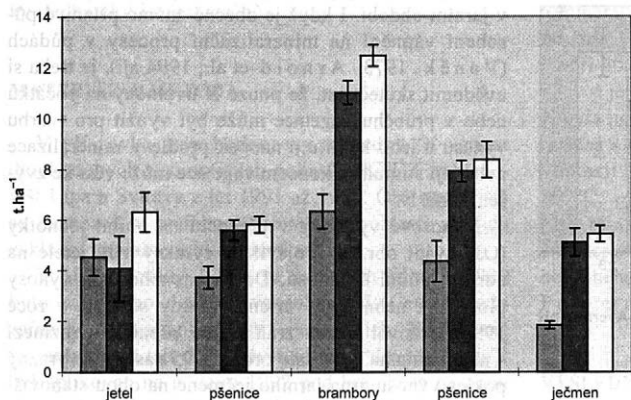
A = mineralizovatelný N – mineralizable N
B = minerální N – mineral N

j = jaro – spring

p = podzim – autumn

osa x: odběry – x axis: uptakes

Lípa



3. Výnos plodin v obilních jednotkách ($t \cdot ha^{-1}$) v jednotlivých letech – Crop yield in cereal units ($t \cdot ha^{-1}$) in different years

osa x: plodiny – x axis: crops

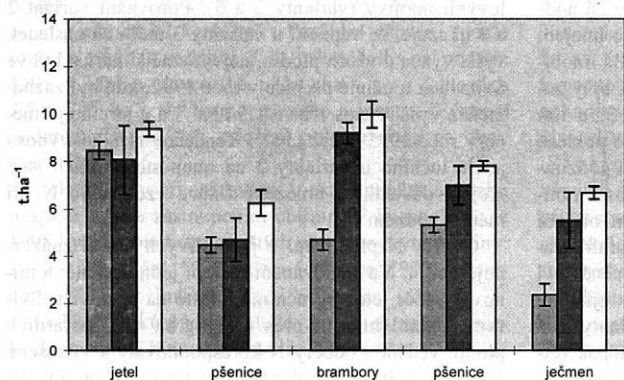
jetel – clover

pšenice – wheat

brambory – potatoes

ječmen – barley

Svitavy



pouze v roce 1994 byl odběr ozimou pšenicí na obou stanovištích u varianty 3 nižší, zatímco výnos byl vyšší. Průkazně vyšší odběr N jetelem lučním u varianty 3 v Lípě byl způsoben jednak vyšším výnosem, ale také vyšším obsahem N v rostlinách, ovlivněným zřejmě vhodnějším pH pro rozvoj a aktivitu rhizobií, a tím i vyšší fixací N.

Z porovnání údajů obr. 2 a 3 je zřejmé, že obsah minerálního a mineralizovatelného N v půdě na podzim 1993 dobře koreloval s výnosem ozimé pšenice v roce 1994 a naopak výnos jarního ječmene v roce 1995 s obsahem N v půdě v jarním období téhož roku. Podobné závislosti byly nalezeny mezi obsahem N v půdě a odběrem N těmito plodinami (obr. 2 a 4). Je zřejmé, že využití údajů o obsahu minerálního a mineralizovatelného N v půdě pro praktická hnojařská opatření je možné, jestliže se berou v úvahu také faktory, které mohou výrazně zasahovat do mineralizačních či imobilizačních procesů. Je to především průběh povětrnosti, stanoviště, pěstovaná plodina, její výnos a odběr N aj. (Stadelman et al., 1983; Rausch, 1989; Vaněk et al., 1995 aj.). Nahodilá a ojedinělá analýza obsahu minerálního N, případně i mineralizovatelné-

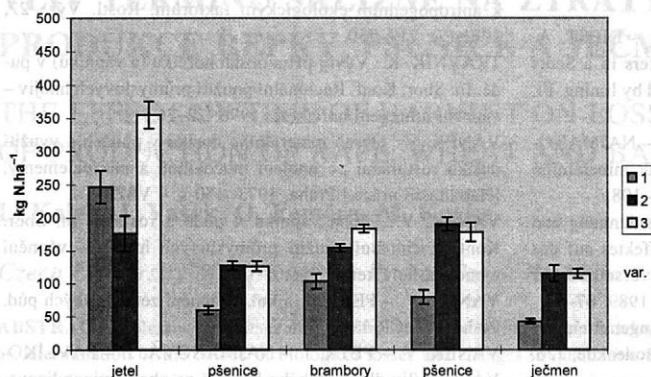
ho N se proto dají obtížně využít pro optimalizaci hnojení N.

Souhrnné výnosové výsledky a výsledky odběru N sklizněmi za celé pětileté období jsou uvedeny v tab. III. Výnosové výsledky ukazují, že vyšší nárůst výnosů vlivem hnojení byl zaznamenán v Lípě. Oproti nehnojené variantě byl výnos varianty 2 vyšší o 62,3 % a varianty 3 o 84,1 %. Toto zvýšení výnosů bylo statisticky vysoce průkazné. Také vápnění (rozdíl mezi variantami 2 a 3) poskytlo v Lípě vysoce průkazné zvýšení výnosů. Ve Svítavách, kde byla vyšší výnosová úroveň, došlo u hnojených variant také k vysoce průkaznému zvýšení výnosů o 35,7 a 57,9 %. Vápnění zde působilo průkazné zvýšení výnosů.

V Lípě sice došlo u varianty 2 (bez vápnění) k výraznějšímu poklesu pH půdy než ve Svítavách, ale zvýšení výnosů po vápnění bylo vyšší ve Svítavách. Lze to zřejmě vysvětlit tím, že ve Svítavách je zrnitostně těžší půda, vyžadující vyšší optimální hodnotu pH.

Z údajů tab. III je dále zřejmé, že odběr N v Lípě byl vysoce průkazně ovlivněn hnojením. Rozdíly v odběru N mezi variantami byly vždy statisticky vysoce průkazné. Ve Svítavách byl oproti Lípě vyšší odběr N

Lípa



4. Odběr N plodinami v jednotlivých letech (kg.ha⁻¹) – N uptake by crops in different years (kg.ha⁻¹)

osa x: plodiny – x axis: crops

jetel – clover

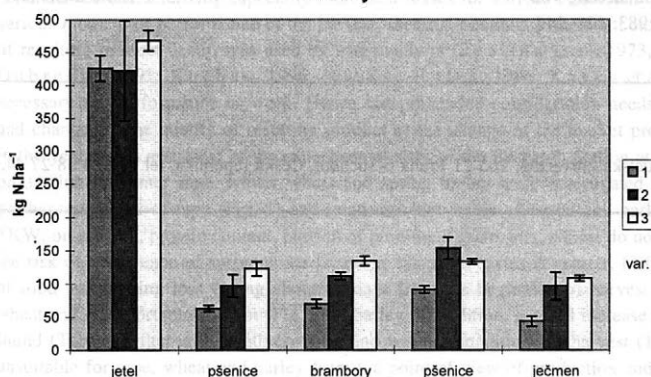
pšenice – wheat

brambory – potatoes

ječmen – barley

var.
1
2
3

Svitavy



III. Celkový výnos obilních jednotek (t.ha⁻¹) a odběr N plodinami (kg.ha⁻¹) za období 1991 až 1995 – Total yield of cereal units (t.ha⁻¹) and N uptake by crops (kg.ha⁻¹) for the period of 1991 to 1995

	Výnos obilních jednotek ¹ (t.ha ⁻¹)		Odběr N sklizní ² (kg N.ha ⁻¹)	
	Lípa	Svitavy	Lípa	Svitavy
1	20,80	25,37	533,33	695,33
2	33,75	34,45	752,50	881,83
3	38,29	40,06	954,33	969,33
<i>D</i> _{min} 0,05	2,10	5,05	54,78	144,16
<i>D</i> _{min} 0,01	2,85	6,86	81,19	195,80

*D*_{min} = minimální průkazná diference určená pomocí *F*-metody (Tukey test) – minimum significant difference stated by *F*-method (Tukey test)

¹yield in cereal units, ²N uptake by harvest

na nehnějené variantě (způsobený hlavně jetelem). Rozdíl v odběru N u nehnějené varianty a varianty 2 byl průkazně vyšší, u varianty 3 výsoce průkazně vyšší; vápnění (rozdíl mezi variantami 2 a 3) neposkytlo statisticky významně vyšší odběr N. Relativní porovnání přírůstků výnosů a odběru N ukazuje, že na obou stanovištích byl hnojením více ovlivněn výnos než odběr N rostlinami.

Poděkování

Autoři děkují pracovníkům oddělení agrochemie půdy a výživy rostlin ÚKZÚZ a zkušebních stanic v Lípě a Svítavách za všestrannou pomoc při zpracování příspěvku.

LITERATURA

- ARNOLD, G. – BEUSICHEM, M. L. VAN – DIEST, A. VAN: Nitrogen mineralization and H^+ transfers in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest soil as affected by liming. *Pl. and Soil*, 161, 1994: 209–218.
- PETR, J. – VANĚK, V. – PROCHÁZKA, J. – NAJMANOVÁ, J.: Vliv dlouhodobého hnojení na obsah minerálního dusíku v půdě. *Rostl. Výr.*, 41, 1995 (3): 103–108.
- RAUSCH, H.: Einfluss von Standort, Stallmistdüngung und Fruchtfolge sowie des Zwischentrocknungseffektes auf das Stickstoffmineralisierungspotential (N_{pot}) verschiedener Böden. *Arch. Acker- Pfl.-Bau Bodenkd.*, 33, 1989: 87–95.
- SLUIJSMANS, C. M. J.: Der Einfluss von Düngemitteln auf den Kalkzustand des Bodens. *Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkd.*, 126, 1970: 97–203.
- STADELMANN, F. X. – FURRER, O. J. – GUPTA, S. K. – LIESCHER, P.: Einfluss von Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodentemperatur auf die N-Mobilisierung von Kulturböden. *Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkd.*, 146, 1983: 228–242.

ŠILAR, J.: Stanovení potřeby vápnění v ČSSR se zřetelem k antropogenním ekologickým faktorům. *Rostl. Výr.*, 27, 1981 (7): 719–730.

TRÁVNÍK, K.: Vývoj pH a obsah hořčíku (a vápníku) v půdě. In: Sbor. Konf. Racionální použití průmyslových hnojiv – vápnění a hnojení hořčíkem, 1996: 22–26.

VANĚK, V.: Obsah minerálního dusíku v půdách a využití dusíku rostlinami po hnojení močovinou a mikroelementy. [Habilitační práce.] Praha, 1973. 150 s. – VŠZ.

VANĚK, V.: Úloha vápníku v půdě a rostlině. In: Sbor. Konf. Racionální použití průmyslových hnojiv – vápnění a hnojení hořčíkem, 1996: 6–11.

VANĚK, V. – PENK, J. a kol.: Vápnění zemědělských půd. Praha, MZeČR 1991. 106 s.

VANĚK, V. – PETR, J. – NAJMANOVÁ, J. – PAVLÍKOVÁ, D.: Vliv dlouhodobého hnojení na obsah mineralizovatelného dusíku v půdě. *Rostl. Výr.*, 41, 1995 (3): 109–114.

Došlo 20. I. 1997

Kontaktní adresa:

Prof. Ing. Václav Vaněk, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 27 34, fax: 02/20 92 03 12

VLIV TERMÍNU SKLIZNĚ NA ZTRÁTY A KVALITU PRODUKCE ŘEPKY, PŠENICE A JEČMENE

THE EFFECT OF TIME OF HARVEST ON LOSSES AND QUALITY OF PRODUCTION OF RAPE, WHEAT AND BARLEY

L. Kolek, J. Vašák, O. Faměra, M. Kavka

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: Tolerance of winter rape, winter wheat and spring barley to delayed harvest was studied. The study was aimed at determination of the course of biological losses and changes in qualitative traits in the period after elapsing an optimum term of the ripeness, i.e. to make possible the use of harvest machinery in longer harvest season. Many authors were dealing with this problem, particularly in cereals (Hunt, 1978; Voňka, 1980; Turček, 1980; Witney, 1988). In most of quoted studies authors coincide in the fact that the course of losses in dependence on time is of non-linear character and dependences characterizing especially biological losses for various conditions were studied. The fact that in dependence on various moment of performance of the harvest, seeding, planting, protection, etc., biological losses and changes in the quality of resulting product occur, was used by some authors (Špelina et al., 1973; Mašková et al., 1976; Witney, 1988; Oubrecht, 1991; Kochan, 1996; Kavka, Kolek, 1996; Kavka et al., 1997) to optimize the number of machines necessary for performance of work. Hence comprehended consideration needs, except biological losses, know total losses and changes in the quality of resulting product or the change of the market production in dependence on time. That is why in the years 1994 and 1995 at the experimental sites of the Research Station at Červený Újezd, yields, losses and quality of production of winter rape, winter wheat and spring barley were investigated. The results indicate a significant growth of pre-harvest losses of rape (Fig. 1) and relatively low losses of wheat and barley (Figs 2 and 3). Qualitative traits, such as TKW, oil content, protein content, portion of prominent grain, etc., almost do not change (Figs 4 to 8 and 11 to 12). However, the risk of occurrence of sprouted seeds and molds, mycotoxins is greater. In food wheat and malting barley is another risk of food and malting loss during about 10 days from the beginning of harvest. This is caused by bulk density (Fig. 10) in wheat and crude protein content (Fig. 9) in barley. In addition, gradual increase of water content of harvested production was found (Tab. III), that is in relatively drier and warmer conditions of harvest (Tabs I and II). Delayed harvest is hence very unsuitable for rape, wheat and barley from the point of view of production and economy.

biological losses; change of quality; winter rape; spring barley; winter wheat

ABSTRAKT: Byla ověřována tolerance ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene k opožděné sklizni. Cílem bylo stanovit průběh biologických ztrát a změny kvalitativních znaků v období po optimálním termínu zralosti, tj. umožnit případné využití sklizňové techniky v delší sklizňové sezoně. Byly proto ve sklizňových letech 1994 a 1995 na pokusných pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdu sledovány výnosy, ztráty a kvalita produkce ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene. Výsledky ukázaly výrazný růst předsklízňových ztrát řepky a relativně malé ztráty pšenice a ječmene. Kvalitativní znaky jako HTS, olejnatost, obsah bílkovin, podíl předního zrna a další se téměř neměnily. Bylo však zaznamenáno vyšší riziko výskytu porostlých semen, plísní a mykotoxinů. U potravinářské pšenice a sladovnického ječmene bylo potvrzeno nebezpečí ztráty potravinářské nebo sladovnické kvality v rozmezí cca 10 dnů od počátku sklizně.

biologické ztráty; změna kvality; ozimá řepka; jarní ječmen; ozimá pšenice

ÚVOD

Důležitým faktorem ovlivňujícím celý technologický proces pěstování plodin, a tím i jeho výsledný efekt, je včasné provedení potřebných polních operací, zejména sklízňových, ale též setí, sázení, resp. ochrany rostlin (Hunt, 1978), které má vliv na produkci i na kvalitu výsledného produktu.

Ztráty vyvolané tímto faktorem jsou podmíněny řadou činitelů, zejména pak druhovou a odrůdovou

skladbou pěstovaných plodin, výrobními a přírodními podmínkami a klimatickými poměry. Touto problematikou se především u obilnin zabývala řada autorů (Hunt, 1978; Voňka, 1980; Turček, 1980; Witney, 1988). Ve většině citovaných prací se autoři shodují na skutečnosti, že průběh těchto ztrát má nelineární charakter. Za různých podmínek byly sledovány závislosti charakterizující zejména biologické ztráty. Fakt, že doba sklizně, setí, sázení, resp. ochrany rostlin podmiňuje biologické ztráty i změnu kvality výsledného

produktu, využili někteří autoři (Špelina a kol., 1973; Mašková et al., 1976; Witney, 1988; Oubrecht, 1991; Kochan 1996; Kavka, Koleček, 1996; Kavka et al., 1997) k optimalizaci provedení jednotlivých prací. K takto pojetému uvažování je žádoucí kromě biologických ztrát znát celkové ztráty a změnu kvality výsledného produktu, resp. změnu tržní produkce v závislosti na čase. Proto byl realizován výzkum tolerance vybraných druhů zrnin (ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene) k opožděné sklizni.

MATERIÁL A METODA

Hlavním cílem výzkumu tolerance vybraných odrůd ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene bylo stanovit změny všech relevantních kvalitativních znaků a biologických ztrát jako funkci doby zahájení a délky sklizně. Proto byly ve sklizňových letech 1994 a 1995 (u ozimé řepky již v roce 1993) na pokusných pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdu sledovány výnosy, ztráty a kvalita produkce odrůd ozimé řepky Ceres (1993) a Lirajet (1994 a 1995). Dále byly hodnoceny odrůdy ozimé pšenice Hana a Vlada a jarního ječmene Akcent a Jubilant.

V agrotechnických termínech bylo oseto 64 parcellek ozimé řepky o výměře jedné parcelky 12,5 m², 32 parcellek ozimé pšenice odrůdy Hana, 32 parcellek ozimé pšenice odrůdy Vlada, 32 parcellek jarního ječmene odrůdy Akcent a 32 parcellek jarního ječmene odrůdy Jubilant o výměrách 15 m². Na takto připravených plochách byly zjišťovány ztráty při různém termínu sklizňových prací. Pokusné parcelky se nacházely na pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdě, která patří Agronomické fakultě ČZU v Praze. Všechny kontroly a agrotechnické zásahy do porostu zkušebních parcellek probíhaly v souladu s agrotechnickými požadavky rostlin ve spolupráci s pracovníky Výzkumné stanice v Červeném Újezdě (Pulkrábek et al., 1995) a s použitím služeb Školního zemědělského podniku Lány.

Asi 14 dní před zahájením sklizně na prvních parcelkách ozimé řepky bylo do porostu zasunuto 140 speciálních truhlíků pro zaznamenání biologických ztrát. Po prvním termínu sklizně, který odpovídal agronomicky optimální době, následovalo dalších sedm sklizní v průběhu jednoho měsíce od zahájení sklizně, a to v intervalech tři až sedm dní od poslední sklizně. Interval mezi sklizněmi nebyl přesně stanoven, ale při sklizni jednotlivých parcellek byl brán zřetel na meteorologické vlivy a organizační podmínky.

Při jednom termínu sklizně bylo sklizeno šest až osm parcellek ozimé řepky a po čtyřech parcelkách každé odrůdy obilnin. U obilnin byla měřena a zaznamenávána pouze sklizená produkce (hrubá a čistá) a její vlhkost. U ozimé řepky byly před sklizní z porostu truhlíky vyjmuty, jejich obsah byl uložen do připravených sáčků a označen pro další zpracování, přičemž byly následně určeny biologické ztráty samovolným

výdorem a ztráty celkové. Vyprázdněné a vyčištěné truhlíky byly opět zasunuty do porostu tak, aby se vešly mezi kola parcelní sklízecí mlátičky. Po přejetí mlátičky byly opět vyjmuty a jejich obsah později vyhodnocen jako ztráty na liště. Ztráty za sklízecí mlátičkou byly měřeny pomocí rámu s plachtou o rozměrech 1 x 1 m. Dále byla vyhodnocena produkce z parcellek. Všechny získané podíly byly po pečlivém označení v laboratoři v Červeném Újezdě vyčištěny, zváženy a určena jejich vlhkost. Z každé parcelky byl dále odebrán vzorek na kvalitativní rozbor, který byl realizován v laboratořích katedry rostlinné výroby ČZU v Praze. U ozimé řepky byla stanovena hmotnost tisíce semen (HTS) a obsah oleje; u sladovnického ječmene podíl předního zrna, HTS, podíl zahnědlých špiček a obsah N-látek; u ozimé pšenice objemová hmotnost, obsah mokrého lepu a číslo poklesu.

VÝSLEDKY

Výchozí podmínky

Měření úbytku tržní produkce bylo realizováno u vybraných druhů a odrůd obilnin v letech 1994 a 1995 a u řepky v letech 1993 až 1995. Všechny sledované ročníky se vyznačovaly vyššími teplotami a suchým obdobím v průběhu sklizně. Porovnání teplot a srážek v období od června do září s dlouholetými průměry je uvedeno v tab. I a II.

I. Porovnání měsíčních srážek v období pokusů s dlouhodobým průměrem – Comparison of monthly precipitation in the period of trials with long-time average

Ukazatel ¹ (srážky ²)	Měsíc ²			
	6	7	8	9
NS	78,0	89,0	81,0	56,0
SR 1993	80,5	100,9	32,3	52,3
% 1993	103,20	113,30	39,88	93,39
SR 1994	20,3	28,9	76,7	45,5
% 1994	26,03	32,47	94,69	81,25
SR 1995	111,3	64,4	56,2	61,1
% 1995	142,70	72,36	69,38	109,10

NS – normál měsíčního úhrnu srážek za roky 1901 až 1950 (mm) – normal of monthly sum of precipitation for the years 1901 to 1950 (mm)

SR – měsíční úhrn srážek v určitém roce (mm) – monthly sum of precipitation in a certain year (mm)

% – procentuální porovnání srážek [(SR/NS) * 100] – per cent comparison of precipitation [(SR/NS) * 100]

¹indicator, ²month, ³precipitation

Naměřené hodnoty biologických ztrát

Výsledky měření biologických ztrát při postupné sklizni sladovnického ječmene, ozimé pšenice a ozimé řepky jsou znázorněny na obr. 1 až 3. Grafy jsou prů-

II. Porovnání měsíčních teplot v období pokusů s dlouhodobým průměrem – Comparison of monthly temperatures in the period of trials with long-time average

Ukazatel ¹ (teploty ²)	Měsíc ²			
	6	7	8	9
NT	15,50	17,40	16,36	12,69
TR 1993	16,00	16,10	16,70	12,50
± 1993	+0,50	-1,30	+0,34	-0,19
TR 1994	16,10	21,90	18,40	13,50
± 1994	+0,60	+4,50	+2,04	+0,81
TR 1995	14,80	20,30	18,10	12,40
± 1995	-0,70	+2,90	+1,74	-0,29

NT – průměrné měsíční hodnoty teplot v nadmořské výšce 380 m

(°C) – average monthly values of temperatures at altitude of 380 m (°C)

TR – průměrné měsíční teploty naměřené v určitém roce (°C) –

average monthly temperatures taken in a certain year (°C)

± – absolutní odchylka teplot (TR-NT) – absolute deviation of temperatures (TR-NT)

¹indicator, ²month, ³temperatures

měrem měření skutečných u jednotlivých odrůd, aby bylo možné hodnotit plodiny jako celek a nikoli jednotlivé odrůdy. Znárodně jsou biologické ztráty v procentech v závislosti na počtu dnů opoždění sklizně od doby sklizně v plné zralosti. Nejvýraznější průběh biologických ztrát je zachycen u ozimé řepky (obr. 1). Jak je patrné z obr. 2 a 3, nejsou biologické ztráty jak u sladovnického ječmene, tak u ozimé pšenice v průběhu pokusu výrazné nebo mají jen mírně stoupající tendenci (obr. 2 – sladovnický ječmen). Je však nutné brát v úvahu, že ve všech letech během sklizně, tj. od konce července do začátku září, bylo stabilní počasí s nižšími srážkami a vyššími teplotami (tab. I a II).

Naměřené hodnoty změn kvality výsledného produktu

Opožděnou sklizni se zvyšuje vlhkost obilí i řepky, ať již vlivem deštivého počasí, nebo vlivem ranních ros a mlh. Při vyšší vlhkosti obilí a řepky nastávají problémy s uskladněním a dosoušením, které může negativně působit na některé kvalitativní prvky při hodnocení sklizené produkce. Vlhkou produkci je proto nutné dosušet

na vlhkost, která je přípustná pro další skladování, čímž rostou náklady na výrobu. Nárůst vlhkosti sledovaných plodin při opožděných sklizních je uveden v tab. III.

Vliv faktoru včasné sklizně na změnu kvalitativních prvků u ozimé řepky znázorňují obr. 4 a 5, u sladovnického ječmene obr. 6 až 9 a u ozimé pšenice obr. 10 až 12.

DISKUSE

Ozimá řepka

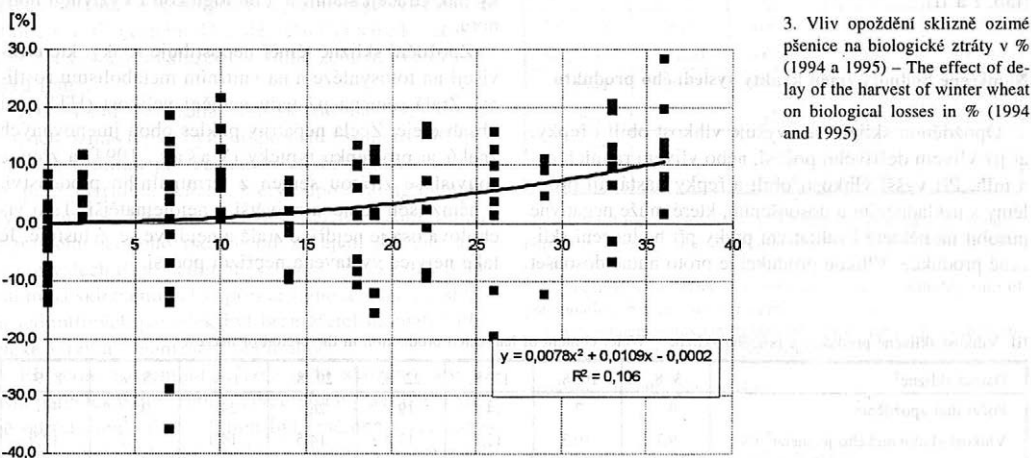
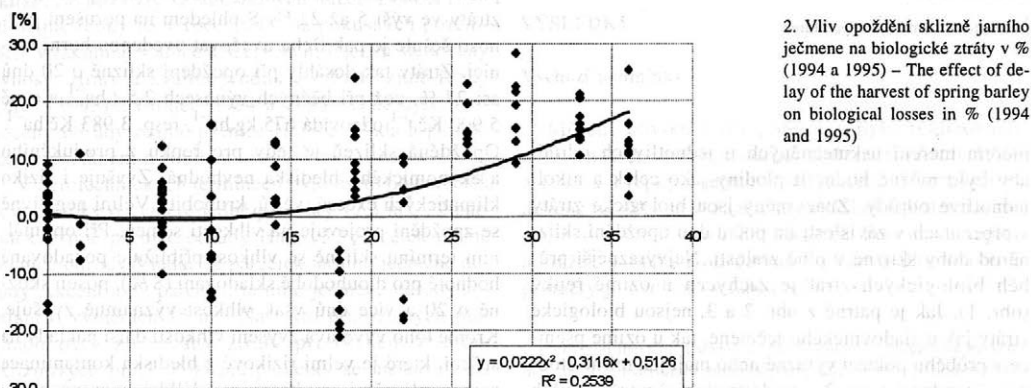
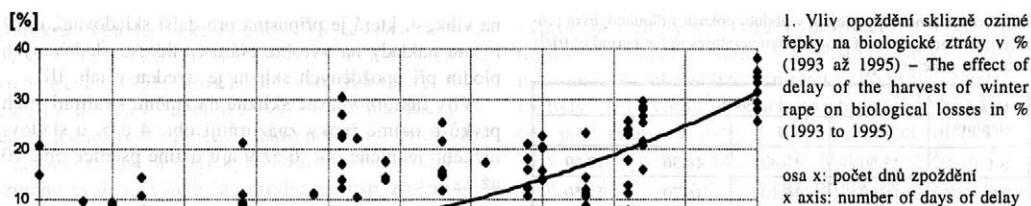
Zpoždění sklizně u řepky se markantně projevilo ve zvýšení biologických předsklizňových ztrát. K nim je třeba podle měření realizovaného v rámci stejného grantu (Kavka et al., 1997), jež koresponduje s výsledky, které uveřejnili Vašák, Fábry (1993), připočíst podle zvolené techniky a technologie práci další ztráty ve výši 5 až 22 %. S ohledem na porušení pevnosti šesule je pak třeba uvažovat uvedenou horní hranici. Ztráty tak dosáhly při opoždění sklizně o 20 dnů asi 27 %, což při běžných výnosech 2,5 t.ha⁻¹ a ceně 5 900 Kč.t⁻¹ odpovídá 675 kg.ha⁻¹, resp. 3 983 Kč.ha⁻¹. Opožděná sklizeň je tedy pro řepku z produkčního a ekonomického hlediska nevhodná. Zvyšuje i riziko klimatických excesů, větrů, krupobití. Velmi negativně se zpoždění projevuje na vlhkosti semen. Při optimálním termínu sklizně se vlhkost přibližuje požadované hodnotě pro dlouhodobé skladování (8 %), posun sklizně o 20 a více dnů však vlhkost významně zvyšuje. Kromě toho vyvolává zvýšení vlhkosti další náklady na sušení, které je velmi rizikové z hlediska kontaminace semen plísními, mykotoxiny. Vlhká semena navíc v šesuli klíčí, porůstají, dochází tak k rozložení tuků na glycerol a mastné kyseliny v různém stupni rozkladu, což zvyšuje kyselost tuků. Mastné kyseliny oxidují, tuky pak ztrácejí stabilitu a biologickou i výživnou hodnotu.

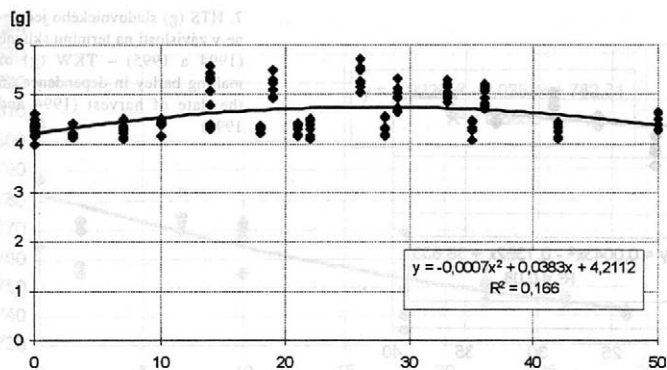
Zpoždění sklizně téměř nepostihuje znaky, které závisí na fotosyntéze a na vnitřním metabolismu rostliny. Zralá semena již tedy nemění velikost (HTS) ani obsah oleje. Zcela nepatrný pokles obou jmenovaných znaků je pro řepku typický (Vašák, 1994) a zřejmě souvisí se ztrátou semen z terminálního plodenství, v němž jsou semena největší a nejolejnější. Tato vrcholová osa je nejdříve zralá a nejdříve se vylučuje. Je také nejvíce vystavena nepřízní počasí.

III. Vlhkost sklizené produkce v průběhu sklizně – Water content of harvested production in the period of harvest

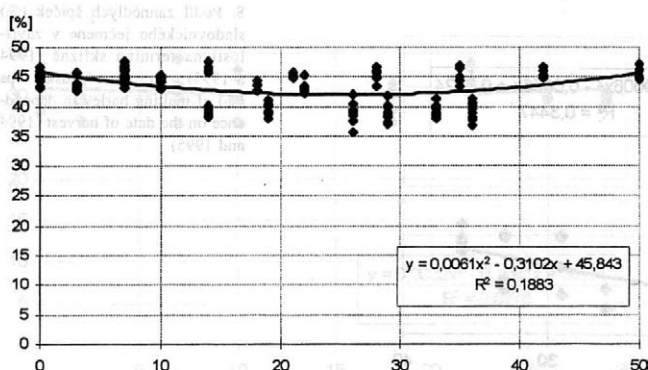
Datum sklizně ¹	3. 8.	10. 8.	17. 8.	22. 8.	29. 8.	1. 9.	5. 9.	8. 9.
Počet dnů zpoždění ²	0	7	14	19	26	29	33	36
Vlhkost sladovnického ječmene ³ (%)	9,7	10,3	12,1	13,4	14,5	14,1	14,2	17,9
Vlhkost ozimé pšenice ⁴ (%)	9,6	10,6	12,4	13,5	14,6	17,1	14,2	23,9
Vlhkost ozimé řepky ⁵ (%)	8,4	9,0	6,4	7,6	10,1	14,8	10,8	23,1

¹term of harvest, ²number of days of delay, ³water content of malting barley, ⁴water content of winter wheat, ⁵water content of winter rape

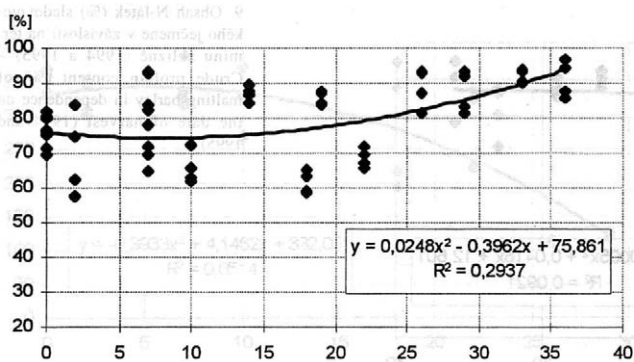




4. HTS (g) ozimé řepky v závislosti na termínu sklizně (1993 až 1995) – TKW (g) of winter rape in dependence on the date of harvest (1993 to 1995)



5. Obsah oleje (%) ozimé řepky v závislosti na termínu sklizně (1993 až 1995) – Oil content (%) of winter rape in dependence on the date of harvest (1993 to 1995)



6. Podíl předního zrna (%) sladovnického ječmene v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – The portion of prominent grain (%) of malting barley in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)

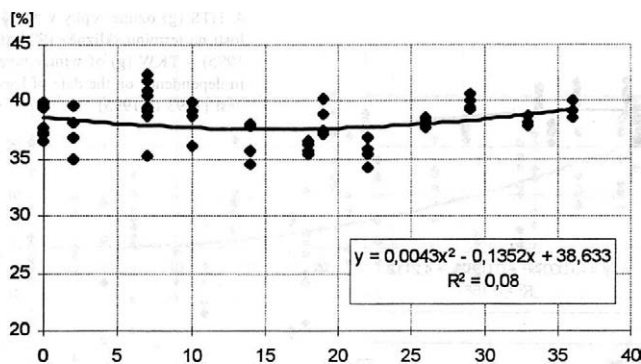
Jarní ječmen

Za suchého a stabilního počasí pokusných let byly biologické předsklizňové ztráty velmi nízké (do 15 dní cca 2 %). Při průměrném výnosu 4,3 t.ha⁻¹ to představuje ztrátu 80 kg zrna.ha⁻¹. Při cenové úrovni sladovnického ječmene 3 800 Kč.t⁻¹ v roce 1996 činila ztráta 304 Kč.ha⁻¹.

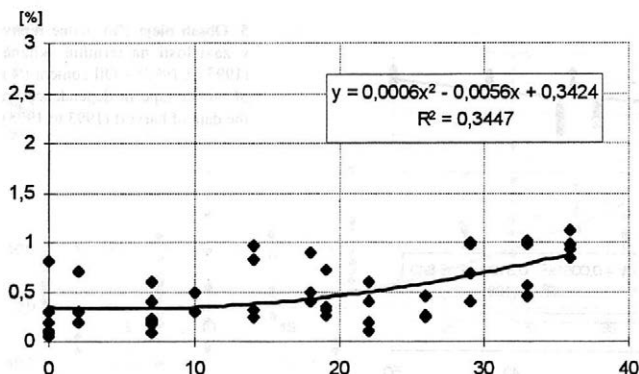
Také jakostní ukazatele sladovnického ječmene se v těchto podmínkách jen velmi málo měnily. Při opoždění sklizně do 20 dní od doby zralosti zůstala stabilní

kvalitativní úroveň u všech významných ukazatelů (podílu zrna nad sítím 2,5 mm, obsahu N-látek, klíčivosti, porostlosti zrna, resp. obsahu zahnědlých špiček). Při celkově nízkém množství zahnědlých špiček se projevovala tendence k jeho zvýšení po 20 dnech přezrávání. Obsah N-látek byl od počátku na horní hranici přípustnosti.

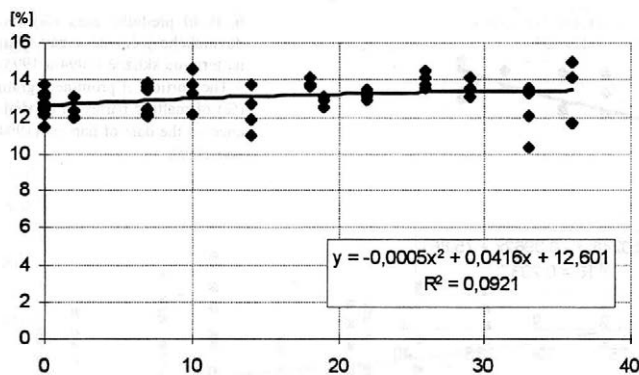
Za těchto podmínek by na utváření jednotlivých ukazatelů určoval jakostní a cenovou úroveň vliv ročníku a opoždění sklizně by cenu neovlivnilo. S ohledem na vývoj obsahu N-látek lze též předpokládat ne-



7. HTS (g) sladovnického ječmene v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – TKW (g) of malting barley in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)



8. Podíl zahnědlých špiček (%) sladovnického ječmene v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – Portion of dusky tops (%) of malting barley in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)



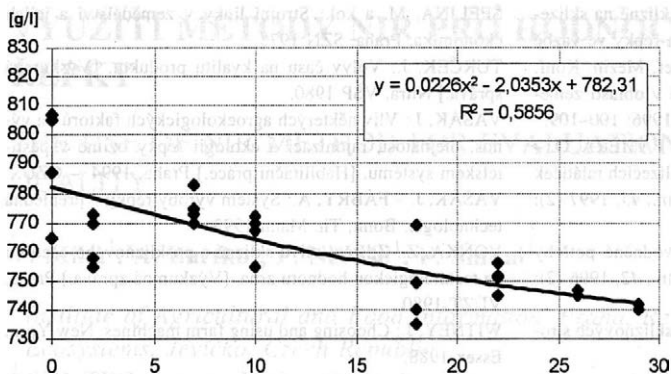
9. Obsah N-látek (%) sladovnického ječmene v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – Crude protein content (%) of malting barley in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)

bezpečí ztráty sladovnické kvality v rozmezí cca 10 dnů od počátku sklizně.

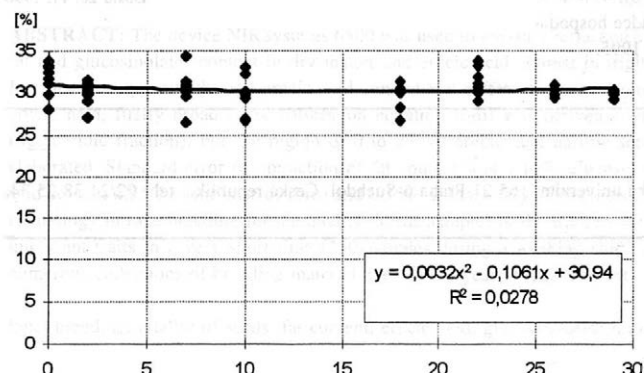
Ozimá pšenice

Předsklizňové ztráty na výnosu zrna byly nízké také u pšenice, a to do 15 dnů opoždění sklizně cca 2 %, do 20 dnů cca 6 %. Ztráta výdolem zrna činila 0,3 t.ha⁻¹ za 20 dnů přezrávání, při průměrném výnosu 5,7 t.ha⁻¹. Při cenách v roce 1996 (3 800 Kč.t⁻¹) to znamenalo u potravinářské pšenice 1 140 Kč.ha⁻¹.

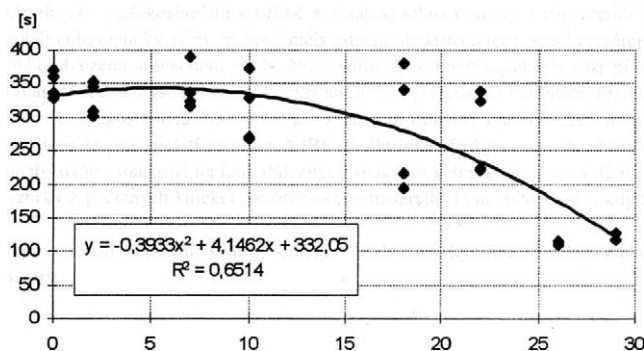
Přezráváním pšenice došlo ke snižování objemové hmotnosti zrna. Nejvyšší úroveň byla zjištěna po dosažení plné zralosti. Po pěti až 10 dnech byl zaznamenán pokles hodnot o 20 až 50 g.l⁻¹ podle odrůdy a ročníku. Délka období pozdější sklizně, aniž by došlo ke snížení jakosti u krmné pšenice, závisí na její počáteční úrovni. V ročníku s nízkou úrovní objemové hmotnosti (blízko 780 g.l⁻¹) může rozhodnout opoždění sklizně o pět dní o nesplnění kritérií potravinářské jakosti. Ve vlhkých ročních se riziko snížení jakosti prohlubuje. V cenové hladině potravinářské a krmné pšenice byly



10. Objemová hmotnost (g/l) ozimé pšenice v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – Bulk density (g/l) of winter wheat in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)



11. Obsah mokrého lepku (%) ozimé pšenice v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – Wet gluten content (%) of winter wheat in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)



12. Číslo poklesu (s) ozimé pšenice v závislosti na termínu sklizně (1994 a 1995) – The number of decline (s) of winter wheat in dependence on the date of harvest (1994 and 1995)

ve sledovaných ročnících rozdíly 500 až 800 Kč.t⁻¹, tj. 13 až 21 %.

Za suchých podmínek se udržovaly vysoké a stabilní hodnoty čísla poklesu (přes 300 s) po dobu zpoždění sklizně 10 až 15 dní. Vlivem vlnutí zrna při dlouhodobém přezrávání se číslo poklesu snižovalo. Při vysoké počáteční hodnotě se pod 190 s snížilo až za více než tři týdny.

U dalších jakostních ukazatelů potravinářské pšenice (obsahu mokrého lepku a sedimentační hodnoty) zůstala vysoká kvalita po velmi dlouhou dobu (v suchých podmínkách až 25 dní) a nedošlo k poklesu pod

potravinářskou úroveň. Nebezpečí zhoršení jakosti je spojeno s vlhkým průběhem počasí v době zrání a přezrávání pšenice.

Výzkum byl realizován v letech 1994 až 1996 v rámci projektu GA ČR č. 504/94/0056.

LITERATURA

HUNT, R.: Farm field equipment what size. Impl. and Tract., 1978 (4): 16–19.

KAVKA, M. – KOLEK, L.: Vliv termínu sklizně na sklize-
nou produkci u vybraných odrůd obilovin a řepky ve vazbě
na využití sklízecích mlátiček. In: Sbor. Ref. Mezin. Konf.
Aktuální problémy zemědělského výzkumu v oblasti země-
dělské techniky, České Budějovice, JU ZF 1996: 100–109.
KAVKA, M. – KOLEK, L. – VAŠÁK, J. – FAMĚRA, O. –
POŠAR, B.: Optimalizace počtu a využití sklízecích mlátiček
s ohledem na faktor včasnosti. Zeměd. Techn., 43, 1997 (2):
(v tisku.)
KOCHAN, J.: Stanovení ekonomicky zdůvodněné potřeby
sklízecích mlátiček v podniku. Zeměd. Techn., 42, 1996 (2):
53–63.
MAŠKOVÁ, H. et al.: Optimalizace využití sklízňových stro-
jů. Zeměd. Techn., 22, 1976 (9): 533–543.
OUBRECHT, J.: Výběr hlavních exploatačních parametrů
sklízecích mlátiček. Zeměd. Techn., 37, 1991 (8): 471–476.
PULKRÁBEK, J. – ŠVACHULA, V. et al.: Rádce hospodá-
ře. Sdružení soukromých zemědělců. MZe ČR 1995.

ŠPELINA, M. a kol.: Strojní linky v zemědělství a jejich
ekonomika. Praha, SZN 1973.

TURČEK, J.: Vplyv času na kvalitu produktu. [Výzkumná
správa.] Nitra, VŠP 1980.

VAŠÁK, J.: Vliv některých agroekologických faktorů na vý-
nos, olejnatost, rajonizaci a ekologii řepky ozimé v pěsti-
telském systému. [Habilitační práce.] Praha, 1994. – ČZU.

VAŠÁK, J. – FÁBRY, A.: Systém výroby řepky – přehledná
technologie. Bonn, Th. Mann 1993.

VOŇKA, Z.: Zjištění vlivu sklizně a posklizňového ošetření
na technologickou hodnotu zrna. [Výzkumná zpráva.] Praha,
VÚZT 1980.

WITNEY, J.: Choosing and using farm machines. New York,
Essex 1988.

Došlo 20. 11. 1996

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Jan Vašák, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 25 34,
fax: 02/20 92 03 12

VYUŽITÍ METODY NIR PRO HODNOCENÍ KVALITY ŘEPKY

THE USE OF NIR METHOD FOR EVALUATION OF THE RAPE QUALITY

V. Míka¹, A. Bartko², P. Nerušil¹, F. Smítal¹

¹ *Institute of Agricultural and Food Information, Praha, Research Station of Grassland Ecosystems, Jevíčko, Czech Republic*

² *SKA-TEC, s. r. o., Praha, Czech Republic*

ABSTRACT: The device NIRSystems 6500 was used to measure reflectance of the whole rape seeds and based on its results fat and glucosinolates content in dry matter and erucic acid content in triglyceridic fraction were predicted. Regarding the fact that genotypes with high erucic acid content had different spectra from those which form more oleic acid and a little erucic acid, firstly broad sense calibration equation (bro) was derived covering the whole range of values (0 to 56% in triglyceridic fraction). For the region of 0 to 2% of erucic acid narrow sense calibration equation (nar) was subsequently elaborated. Standard error of prediction of fat content was 0.44%, glucosinolates content $5.31 \mu\text{mol.g}^{-1}$ of seed and erucic acid content 2.95% in the case of (bro) and 0.15% at (nar), resp. The precision of prediction is sufficient for the use of NIRS technology in rape breeding for the quality. Seeds samples in the whole state may be analysed simultaneously for a range of important traits in a very short time (250 samples during a working shift) what allows to seed the selected samples from numerous collections of breeding material even in the year of their harvest.

rape; breeding; quality of seeds; fat content; erucic acid; glucosinolates; reflex spectroscopy; NIR spectroscopy

ABSTRAKT: Na přístroji NIRSystems 6500 byla měřena reflektance celých semen řepky a na jejím základě predikován obsah tuku a glukosinolatů v sušině a obsah kyseliny erukové v triglyceridické frakci. Vzhledem k tomu, že genotypy s vysokým obsahem kyseliny erukové měly odlišná spektra od těch, které vytvářejí více kyseliny olejové a málo erukové, nejdříve byla odvozena univerzální kalibrační rovnice (bro) pokrývající celé rozpětí hodnot (0 až 56 % v triglyceridické frakci). Pro oblast 0 až 2 % kyseliny erukové byla následně vypracována kalibrační rovnice užší (nar). Chyba predikce obsahu tuku činila 0,44 %, glukosinolatů $5,31 \mu\text{mol.g}^{-1}$ semene a kyseliny erukové 2,95 % v případě (bro), resp. 0,15 % při (nar). Přesnost predikce je pro využití techniky NIRS ve šlechtění řepky na kvalitu dostatečná. Vzorky semen v celém stavu mohou být analyzovány současně na řadu důležitých znaků ve velmi krátkém čase (250 vzorků za pracovní směnu), což dovolí vybrané vzorky z početných kolekcí šlechtitelského materiálu vysít ještě v roce, kdy byly sklizeny.

řepka olejka; šlechtění; kvalita semene; obsah tuku; kyselina eruková; glukosinoláty; reflexní spektroskopie; NIR spektroskopie

ÚVOD

Zlepšení chemického složení semene u řepky je jedním z hlavních šlechtitelských cílů. Při šlechtění na kvalitu jsou ceněny genotypy s vyšším obsahem tuku a bílkovin a s nižším obsahem glukosinolatů (Kalač, Míka, 1988). Má-li se olej použít pro technické účely, požaduje se navíc vysoký podíl kyseliny erukové, zatímco při použití oleje pro lidskou výživu je třeba obsah kyseliny erukové naopak minimalizovat a zvyšovat obsah kyseliny olejové a linolové.

Rozbory semen klasickými metodami jsou časově náročné, a tak je obtížné početné kolekce šlechtitelské-

ho materiálu zpracovat kompletně během krátkého mezidobí mezi sklizní a novým výsevem. Z tohoto důvodu se část vzorků mnohdy vysévá až v dalším roce, čímž se prodlužuje šlechtitelský cyklus. Technika spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIRS), tj. 1100 až 2500 nm, skýtá reálnou možnost rychlého a simultánního stanovení všech uvedených parametrů pro potřebu screeningu, aniž by se semena musela dít (Cowe et al., 1988; Koester, 1988; Míka, 1996).

V předložené práci jsme ověřili přesnost predikce obsahu tuku, kyseliny erukové a glukosinolatů při měření intaktních vzorků a pokusili se stanovit limity nasazení techniky NIRS k tomuto účelu.

I. Vyhodnocení přesnosti predikce obsahu glukosinolátů (GSL), tuku, kyseliny erukové (KE) [(podle univerzální kalibrační rovnice (KE bro) a užší kalibrační rovnice (KE nar)] v celých semenech řepky – Evaluation of precision of prediction of the content of glucosinolates (GSL), fat, erucic acid (KE) [(using broad sense calibration equation (KE bro) and narrow sense calibration equation (KE nar)] in the whole rape seeds

		N	Průměr ⁴	SEC*	r ²	SE lab**
GSL	($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ v sušině ²)	124	32,29	5,31	0,89	3,2
Tuk ¹	(% v sušině)	125	46,04	0,44	0,96	0,25
KE bro	(% v triglyceridické frakci ³)	46	21,40	2,95	0,98	0,6
KE nar	(% v triglyceridické frakci)	27	0,51	0,15	0,74	0,1

* SEC = chyba kalibrace (směrodatná odchylka) – error of calibration (standard deviation)

** SE lab = chyba laboratorní metody (abs.) – error of laboratory method (abs.)

¹fat, ²in dry matter, ³in triglyceridic fraction, ⁴average

MATERIÁL A METODA

Vzorky šlechtitelského materiálu řepky (OSEVA PRO, s. r. o., OZ VÚO Opava, šlechtitel Ing. J. Havel, CSc.) byly měřeny na přístroji NIRS (NIRSystems 6500) v malých kulatých celách s použitím programového vybavení ISI 3.10 na VSTE Jevíčko. Režim scanování byl nastaven na 400 až 2500 nm, reflektance, krok 2 nm.

1. K odvození kalibrační rovnice bylo použito 125 vzorků (kondicionovaná semena, se sušinou 94 až 92 %) pro predikci tuku a glukosinolátů a 46 vzorků pro predikci kyseliny erukové. V odsypané části každého z těchto vzorků (avšak vysušené na 100 % sušiny) byl předtím v laboratoři OSEVA PRO OZ VÚO Opava stanoven jejich obsah.

Jelikož univerzální rovnice (bro) pro kyselinu erukovou v rozsahu 0 až 56 % nebyla při nízkém obsahu dostatečně citlivá, byla doplněna rovnicí užší (nar) pro rozpětí 0 až 2 %, která je schopna citlivěji zachytit i malé kvantitativní rozdíly v oblasti těsně nad nulou, na nichž má šlechtitel zvláštní zájem. Vhodnost rovnice byla ověřena na dalších 75 vzorcích (validační soubor) rovněž se známým obsahem látek. Výsledky statistického vyhodnocení rozdílů hodnot stanovených klasickými postupy (= y) a predikovaných hodnot NIRS (= x) udává tab. I.

2. Měření soubor vzorků s neznámým obsahem látek čítal 1670 vzorků řepky, sklizených v Opavě v roce 1995. Po kondicionování vzorků činila vlhkost $7,05 \pm 0,38$ %. Veškeré výsledky obsahu glukosinolátů a oleje se vztahují k sušině celých semen, obsah kyseliny erukové je vyjádřen jako procento v triglyceridické frakci.

VÝSLEDKY

Spektra vzorků řepky ve VIS a NIR-oblasti [po transformaci ve tvaru $\log(1 - R)$, kde R je reflektance] zachycuje obr. 1. NIR-spektra mastných kyselin a esterů v celých semenech řepky vykazují charakteristické absorpční pásy při 1206, 1724, 1758, 2304 a 2348 nm, zatímco pás při 1934 nm ukazuje přítomnost vody. Pro tvorbu kalibrační rovnice se však v tomto případě ne-

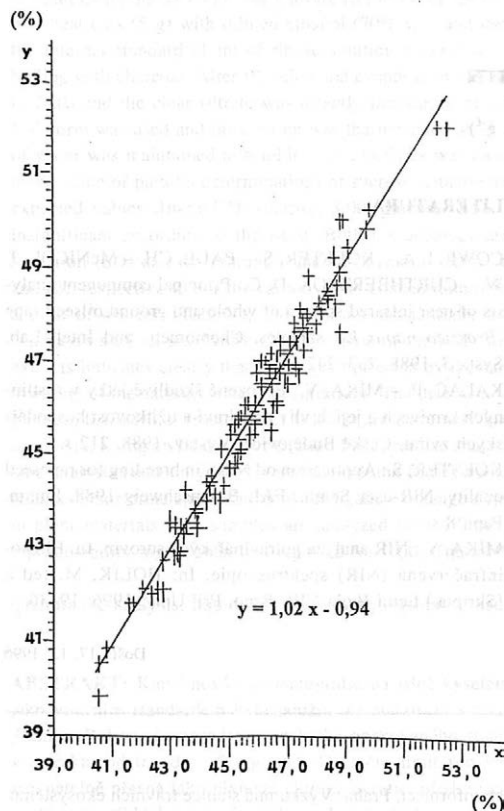
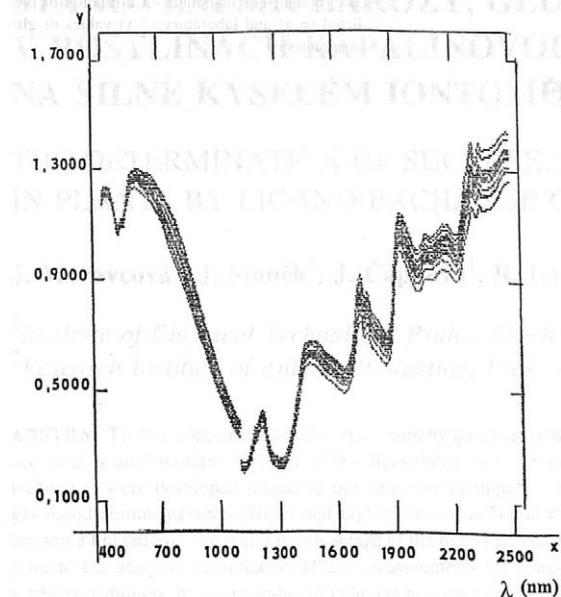
používají diskrétní vlnové délky, nýbrž celé spektrum. V přípravné fázi jsme si ověřili, že mezi olejem a vodou se ve spektrech objevují specifické interakce, proto jsme vlhkost upravili na rozmezí 6 až 8 %.

Genotypy s vysokým obsahem kyseliny erukové měly odlišná spektra od genotypů, které vytvářejí více kyseliny olejové a málo erukové. Nejříve byla odvozena univerzální kalibrační rovnice, pokrývající celé rozpětí hodnot kyseliny erukové (0 až 56 %). Ta však má chybu stanovení příliš vysokou pro vzorky s nízkým obsahem kyseliny erukové, které jsou pro šlechtitele obzvláště cenné. Pro oblast 0 až 2 % kyseliny erukové byla vypracována kalibrační rovnice užší, která vykazuje podstatně nižší chybu predikce. Byly konány též pokusy vyrovnat nelinearitu transformací dat, avšak při následné kalibraci (univerzální rovnice) nebylo dosaženo lepších výsledků. Pro predikci se tedy nejdříve použila rovnice univerzální, a pokud obsah kyseliny erukové podle ní byl < 2 %, pro přesnější predikci se ve druhém kroku použila rovnice užší.

Mezi hodnotami, stanovenými laboratorně (= y) a predikovanými (= x), obsahu tuku (obr. 2), glukosinolátů (obr. 3) a kyseliny erukové v celých semenech řepky existuje těsná korelace (r pro glukosinoláty = 0,943***, pro tuk = 0,980***, pro kyselinu erukovou podle univerzální kalibrační rovnice = 0,990***, pro kyselinu erukovou podle užší rovnice = 0,860***). Tomu odpovídá nízká chyba kalibrace (SEC) u tuku (0,44 %) a kyseliny erukové [2,95 % při (bro), resp. 0,15 % při (nar)] a mírně vyšší SEC u glukosinolátů (0,31 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ sušiny) – tab. I. Pro srovnání je v tab. I uvedena chyba laboratorních metod (tuk stanoven extrakčně, kyselina eruková plynovou chromatografií, glukosinoláty XRF potenciometrickou titrací).

DISKUSE

Predikce obsahu tuku, glukosinolátů a kyseliny erukové v celých semenech řepky pomocí NIRS je v celém rozsahu přirozené variability u šlechtitelského materiálu dostatečně přesná (tab. I), jak podobně uvádějí též Cowe et al. (1988) a Koester (1988). Je třeba připomenout, že chyba predikce nemůže být nikdy nižší



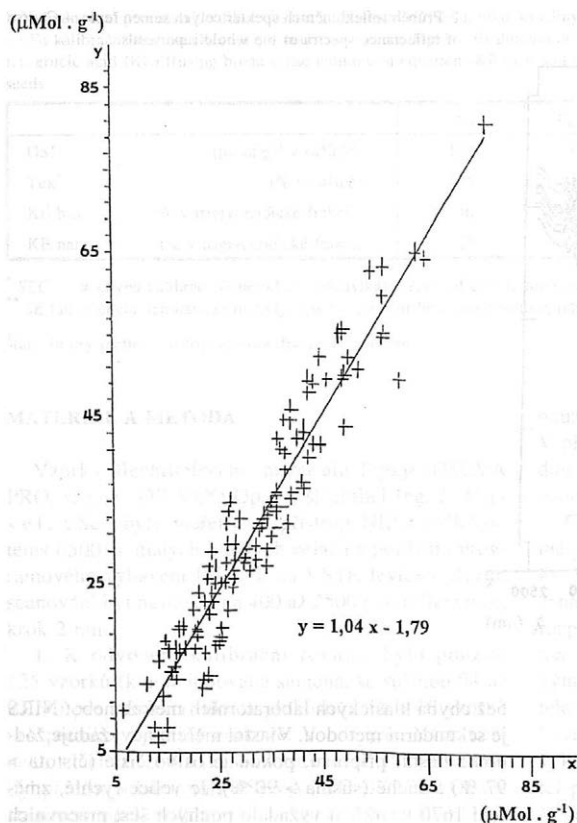
2. Korelace predikovaných (= x) a laboratorních (= y) hodnot tuku – Correlation of predicted (= x) and laboratory (= y) values of fat

než chyba klasických laboratorních metod, neboť NIRS je sekundární metodou. Vlastní měření nevyžaduje žádnou zvláštní přípravu, pokud je osivo čisté (čistota > 97 %) a suché (sušina > 90 %). Je velice rychlé, změření 1670 vzorků si vyžádalo pouhých šest pracovních směn. Měření každého vzorku bylo nutno opakovat dva- až sedmkrát (podle indikace přístroje při průměrování spekter s využitím programového vybavení ISI 3.10), zřejmě vzhledem ke značným barevným rozdílům semen uvnitř jednotlivých vzorků (vyvolaných nestejným dozráváním ve sklizňovém roce 1995) a vyšším obsahem nečistot (> 3 %). Při měření menší série vzorků semen ze sklizňového roku 1994, která byla vyzrálá, prakticky bez barevných odchylek a s čistotou téměř 100 %, postačovalo jedno až dvě opakování. Toto měření však nebylo předmětem předloženého příspěvku.

Jelikož množství semen ve většině vzorků vystačilo k naplnění pouze jedné kyvety, opakování měření bylo vždy spojeno s pootáčením kyvety při jejím vkládání do přístroje.

Genotypy s vysokým obsahem kyseliny erukové poskytovaly spektra odlišná od genotypů s nízkým obsahem kyseliny erukové a se zvýšeným obsahem kyseliny olejové. Ze srovnání NIR-spekter mastných kyselin je zřejmé, že tyto rozdíly jsou vyvolány především různou délkou řetězce (kyseliny cis octadec-9-enoové, octadec-9,12-dienoové a octadec-9,12,15-trienoové) – Koester (1988).

Studie prokázala, že techniku NIRS lze s výhodou aplikovat ve šlechtění řepky na kvalitu. Vzorky semen v celém stavu mohou být analyzovány současně na řadu důležitých znaků ve velmi krátkém čase, což dovolí



3. Korelace predikovaných (x) a laboratorních (y) hodnot glukosinolatů – Correlation of predicted (x) and laboratory (y) values of glucosinolates

vybrané vzorky ještě též rok zasít. Přístroj Pacific Scientific 6500 lze vybavit rovněž zařízením k měření obsahu látek v jednotlivých semenech, které nám však nebylo k dispozici.

Poděkování

Autoři děkují GA MZe ČR za finanční podporu v rámci grantu MZe-VÚ 5540 *Studium potenciálních možností využití metody NIRS pro hodnocení chemického složení a nutriční kvality rostlinné biomasy ke zpracování předložené studie.*

LITERATURA

- COWE, I. A. – KOESTER, S. – PAUL, CH. – McNICOL, J. W. – CURTHBERTSON, D. C.: Principal component analysis of near infrared spectra of whole and ground oilseed rape (*Brassica napus* L.) samples. *Chemometr. and Intel. Lab. Syst.*, 3, 1988: 233–242.
- KALÁČ, P. – MÍKA, V.: Přirozené škodlivé látky v rostlinných krmivech a jejich vliv na zdraví a užitkovost hospodářských zvířat. České Budějovice, Výstav. 1988. 212 s.
- KOESTER, S.: Application of NIRS in breeding for rapeseed quality. NIR-user Semin. FAL Braunschweig 1988, Summ. Pap., 8 s.
- MÍKA, V.: NIR analýza potravinářských surovin. In: *Blízko-infračervená (NIR) spektroskopie*. In: HOLÍK, M. (ed.): [Skripta.] Letní škola NIR. Brno, PFF Univ. 1996: 19–36.

Došlo 17. 12. 1996

Kontaktní adresa:

Ing. Václav Míka, DrSc., Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, Výzkumná stanice travních ekosystémů, K. H. Borovského 461, 569 43 Jevíčko, Česká republika, tel.: 0462/32 78 14, 0361/25 30 44, fax: 0361/25 30 43

STANOVENÍ SACHARÓZY, GLUKÓZY A FRUKTÓZY V ROSTLINÁCH KAPALINOVOU CHROMATOGRAPHIÍ NA SILNĚ KYSELÉM IONTOMĚNIČI

THE DETERMINATION OF SUCROSE, GLUCOSE AND FRUCTOSE IN PLANTS BY LIGAND-EXCHANGE CHROMATOGRAPHY

J. Moravcová¹, J. Staněk¹, J. Čapková¹, R. Loučka²

¹*Institute of Chemical Technology, Praha, Czech Republic*

²*Research Institute of Animal Production, Praha-Uhřetěves, Czech Republic*

ABSTRACT: The concentration of simple carbohydrates (sucrose, glucose, and fructose) in forages has been commonly accepted as an important criterion of the digestibility or the ensilability of forage. During a long period, various analytic techniques were developed including non-selective photometric determination, planar chromatography, enzymic methods, gas-liquid chromatography (GLC) and high-performance liquid chromatography (HPLC). However, each of these methods has some limitations. The major disadvantage of the highly precise and accurate GLC is that carbohydrates must be derivatized prior to the analysis. Quantitative HPLC measurements are usually as accurate as those obtained by GLC. Among HPLC methods, cation-exchange resin-based columns provide convenient, accurate, rapid, reproducible and sensitive analyses, and use only water as the mobile phase (Hicks, 1988). The present paper describes analyses of sucrose, glucose and fructose in plant materials by HPLC on a strong cation-exchanger in Na^+ form. The saccharides were extracted from alfalfa, ryegrass or wheat ears (5 g) with diluted ethanol (70% v/v) and the extract volume was adjusted to 100 ml. To the aliquot (10 ml), the internal standard (1 ml of ribose solution containing 10 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) was added and solution was decolorized by a short boiling with charcoal. After filtration and evaporation, the residue was diluted with water (1 ml), filtered through a microfilter (0.2 μl) and the clear filtrate was directly introduced on a column (1 μl). The strong cation-exchanger OSTION LGKS in Na^+ form was used and the column was thermostated at 53 °C to prevent the separation of individual anomers. The flow rate of water was maintained at 6 $\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$, and analysis was monitored with an IR detector Optilab 5902 (Tecator, Sweden). The mean value of parallel determinations of sucrose, glucose and fructose in a standard solution (Tab. I) was compared with the expected values [$\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$]; sucrose, 3.00; glucose, 2.56; fructose, 3.30) and the difference was found to be statistically insignificant according to the *t*-test. Both the accuracy and the reproducibility of HPLC were expressed by the standard deviation (SD) and the relative standard deviation (RSD) for ten replicate analyses (Tab. V) according to the equation (1) and (2), respectively. For the carbohydrate concentrations in a range from 0.6 to 7.5 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$, the RSD values do not exceed a limit of 4% rel. (Tab. V), and they are substantially lower than those of the GLC determination published previously (Jankovský et al., 1985). A comparison of the RSD values found for the analyses of the standard mixture and all plant extracts indicates clearly that RSD is not affected by the sample pre-treatment. In opposite, the RSD values increase with the lowering of the carbohydrate concentrations. The detection limits [$\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$]; wheat ears/alfalfa/ryegrass; sucrose, 0.2/0.2/0.2; glucose, 0.1/0.1/0.2; fructose, 0.1/0.1/0.2) are extremely low in a contrast to the literature data (Bínder, 1980; Yang et al., 1981). Using an IR detector Optilab 5902, precise analysis of carbohydrates may be accomplished in the microgram range. One analysis takes only 30 min and the column can be operated for several months without noticeable loss in efficiency. The results demonstrate applicability of the ligand-exchange chromatography to the determination of sucrose, glucose and fructose in plant materials. The samples are analyzed with a little pre-treatment and subsequent analysis is fast with accuracy and reproducibility higher than that reported for GLC. The method is useful for routine analysis.

quantitative analysis; liquid chromatography; cation exchanger; carbohydrates; plants

ABSTRAKT: Kapalinová chromatografie na silně kyselém iontoměniči v Na^+ cyklu s vodou jako mobilní fází a ribózou jako vnitřním standardem byla použita ke stanovení sacharózy, glukózy a fruktózy ve vojtěšce, trávě a nezralých klasech pšenice. Relativní směrodatná odchylka opakovaného stanovení byla v rozmezí 1,5 až 4 % rel. pro koncentrace sacharidů v extraktu od 0,6 do 7,5 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$. Detekční limit pro každý sacharid byl 0,1 až 0,2 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$. Vypracovaná metoda je srovnatelně přesná jako plynová chromatografie, předseparace vzorku je jednoduchá a rychlá. Metoda je vhodná pro rutinní analýzy rozsáhlých souborů rostlinných materiálů.

kvantitativní analýza; kapalinová chromatografie; iontoměniče; sacharidy; rostliny

Sacharidy jsou jednou z podstatných součástí všech rostlin, uplatňují se při fotosyntéze (jednoduché cukry), tvoří energetickou zásobu (škrob) a jsou stavebními složkami (celulóza, hemicelulózy). Z hlediska humánní i veterinární výživy a využití píce pro mikrobiální procesy je nejdůležitější obsah jednoduchých, ve vodě rozpustných sacharidů, zahrnující zejména sacharózu, glukózu a fruktózu.

Nutnost sledovat sacharidy v přírodě vedla k vypracování celé řady analytických technik, z nichž každá má vedle předností současně i četná omezení. Neselektivní kolorimetrické metody založené na redukčních vlastnostech sacharidů mohou být zatíženy neodhadnutelně vysokou chybou, danou mnohými interferencemi. Planární chromatografie je levná a rychlá, ale separuje pouze omezený počet sacharidů a nehodí se pro kvantitativní stanovení. Enzymové metody nevyžadují složitou předseparaci vzorků, ale např. stanovení sacharózy, glukózy a fruktózy vedle sebe v jedné analýze není možné. Plynová chromatografie (GLC) je citlivá a velice účinná separační metoda, která dokáže rozlišit všechny izomerní formy sacharidů (acyklickou, cyklickou pěti- a šestičlennou, α - a β -anomery), aby však byl chromatogram dobře čitelný, musí se sacharidy před derivatizací převést na vhodné deriváty, např. oximy či alditoly. Kapalinová chromatografie (HPLC) je sice méně účinná než GLC a výběr stacionárních a mobilních fází je omezen způsobem detekce, ale pro rutinní analýzy velkého počtu vzorků je jednoznačně nejvýhodnější (Hicks, 1988).

HPLC metody ke stanovení sacharózy (S), glukózy (G) a fruktózy (F) popsané v literatuře lze rozdělit do tří základních skupin. Separace na chemicky vázaných aminofázích v systému acetonitril – voda s UV detekcí (Binder, 1980; Yang et al., 1981) klade velké nároky na reprodukovatelnost složení mobilní fáze, která velice ovlivňuje účinnost separace. Navíc je aminofáze nevhodná pro stanovení redukujících sacharidů, které reagují s aminoskupinou fáze, což vede ke ztrátám analytu a ke snížení životnosti kolony (Brons, Olie-man, 1983). Zavedení chromatografie na silně bazickém iontoměniči s roztokem hydroxidu sodného jako mobilní fáze bylo umožněno vývojem pulzního ampérometrického detektoru (Martens, Frankenberger, 1990, 1991). Obě tyto metody jsou znevýhodněné pro analýzu přírodních materiálů tím, že retenční čas oligomerů roste se stupněm polymerace a vysokomolekulární složky vzorku tak zanášejí kolonu. Naproti tomu při chromatografii na silně kyselém iontoměniči s vodou jako mobilní fází jsou oligomery ze separace stericky vyloučeny a vymývají se s mrtvým objemem kolony. Disacharidy se separují jen částečně a účinnost separace monosacharidů a alditolů je dána typem a obsahem kationtu, ve kterém je iontoměnič cyklován (Hicks, 1988). Pro analýzu přírodních materiálů na obsah dominantních sacharidů (sacharózy, glukózy a fruktózy) je poslední zmíněná metoda nejperspektivnější.

Cílem této práce bylo vypracovat postup kapalinové chromatografie na silně kyselém iontoměniči pro stanovení sacharózy, glukózy a fruktózy v extraktech rostlin.

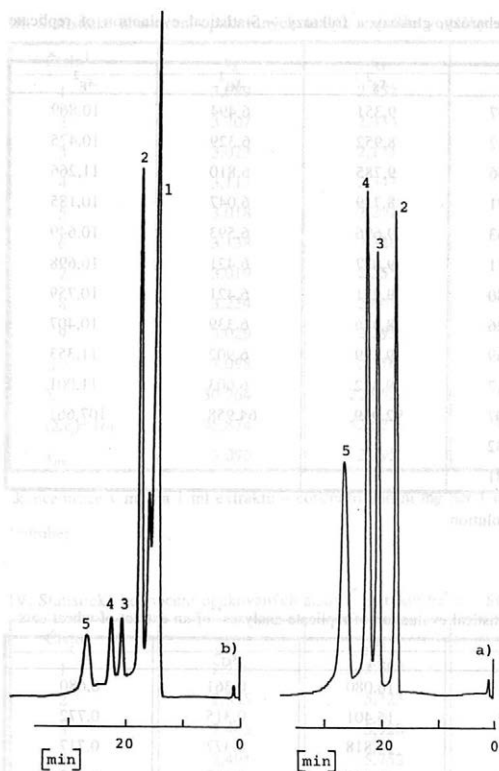
MATERIÁL A METODA

Rostlinný materiál zabezpečoval VÚŽV Praha-Uhřetěves a zahrnoval odrůdu vojtěšky Bobrava a hybridní odrůdu trávy Perun. Obě píce byly sečeny jako dvouletý porost a byly ponechány zavadnout na pokose. Vzorky klasů pšenice odrůdy Regina byly odebrány v době před zralostí a dodány VÚRV Praha-Ruzyně.

Použité chemikálie a rozpouštědla byly čistoty p. a. Roztoky byly odpařovány na rotačním vakuovém odpařovači při vakuu vodní vývěvy a teplotě v lázni do 40 °C. Standardní roztok byl připraven navážením sacharózy (30,0 mg), glukózy (25,6 mg), fruktózy (33,0 mg) a ribózy (32,3 mg) a doplněním destilovanou vodou na objem 10 ml.

Extrakce ve vodě rozpustných sacharidů byla prováděna upraveným postupem, který uveřejnil Hartman (1981). Navážka rostlinného materiálu (5 g) byla rozmixována, převedena etanolem (70 ml, 70 % obj.) do baňky (250 ml) a zahřívána za míchání při teplotě 80 °C pod zpětným chladičem po dobu 1 h. Potom byl vzorek zfiltrován, promyt etanolem a spojené filtráty byly doplněny v odměrné baňce etanolem na objem 100 ml. Odtud bylo odpipetováno 10 ml filtrátu do Erlenmeyerovy baňky (50 ml), byl přidán roztok vnitřního standardu ve vodě (1 ml, koncentrace ribózy cca 10 mg·ml⁻¹) a na špičku nože karborafínu. Vzorek byl odbarven krátkým varem, karborafín byl odfiltrován, promyt destilovanou vodou a čirý filtrát byl odpařen do sucha. Odparek byl poté rozpuštěn v destilované vodě (1 ml) a bylo zkontrolováno pH, protože pro následující HPLC analýzu je nutné, aby vzorek byl neutrální až slabě alkalický. Vzorek byl přefiltrován přes mikrofiltr (0,2 µm, Sartorius, Německo). K analýze byl nasťikován 1 µl tohoto konečného filtrátu.

K analýzám byla použita plášťovaná skleněná kolona (25 cm x 6 mm) termostátovaná na 53 °C a plněná silně kyselým iontoměničem OSTION LGKS 0802 (H⁺ cyklus, Spolek pro chemickou a hutní výrobu, Česká republika) převedeným do Na⁺ cyklu. Průtok deionizované vody byl udržován na 6 ml·h⁻¹ pumpou Beckman 100 A a analýzy byly monitorovány diferenciálním refraktometrem Optilab 5902 (Tecator, Švédsko) spojeným se zapisovačem TZ 4200 (Laboratorní přístroje, Česká republika). Jako vnitřní standard byla použita ribóza (R) a chromatogramy byly integrovány pomocí programu APEX (DataApex, s. r. o.), mrtvý objem kolony měřený jako retenční objem chloridu sodného byl 0,18 ml. Kapacitní faktory sacharózy, glukózy, fruktózy a ribózy byly 0,18, 0,41, 0,55 a 0,82. Ukázkové chromatogramy standardního roztoku a extraktu klasů pšenice jsou uvedeny na obr. 1, na chromatogramu extraktu vojtěšky byl ještě přítomen neidentifikovaný pás s kapacitním faktorem 0,62.



1. Chromatogram standardního roztoku (a) a extraktu klasů pšenice (b): 1 – vysokomolekulární látky, 2 – sacharóza, 3 – glukóza, 4 – fruktóza, 5 – ribóza (vnitřní standard) – The chromatograms of both a standard solution (a) and a wheat ears extract (b): 1 – high-molecular compounds, 2 – sucrose, 3 – glucose, 4 – fructose, 5 – ribose (internal standard)

osa x: čas – x axis: time

Přesnost opakované analýzy standardního roztoku a extraktu rostlinného materiálu byla hodnocena pomocí směrodatné odchylky (SD) a relativní směrodatné odchylky (RSD) vypočtených podle těchto vztahů:

$$SD = \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

kde: x_i – spočtená koncentrace sacharidu

n – počet opakovaných analýz ($n = 10$)

$$RSD = \frac{100 \cdot SD}{x_{av}} \quad (2)$$

kde: x_{av} – průměrná koncentrace sacharidu

VÝSLEDKY A DISKUSE

2. Separace sacharidů na silně kyselém iontoměniči s vodou jako mobilní fází je řízena mechanismem li-gandové výměny a pořadí eluce jednotlivých analytů je ovlivněno stabilitou komplexů vznikajících mezi mole-

kulou sacharidu a kationtem vázaným na iontoměniči. Obecně platí pravidlo, že tyto komplexy jsou tím stabilnější, čím více hydroxylových skupin sacharidu je orientováno *cis*, a proto je možno za normální teploty rozlišit α - a β -anomery jednoduchých sacharidů. Zvýšením teploty na koloně se rychlost ustavování rovnováhy α -anomer $\rightleftharpoons$ β -anomer zvýší natolik, že separace není ovlivněna orientací hydroxylové skupiny v poloze 1 a každý monosacharid poskytne na chromatogramu jen jeden eluční pás. Teplotu však nelze zvyšovat neomezeně vzhledem k tepelné nestabilitě sacharidů, z nichž k teplotě nejcitlivější je fruktóza. Zvolených 53 °C lze považovat za optimální teplotu za daných podmínek. Sledovaná trojice sacharidů je separována na silně kyselém iontoměniči prakticky se stejnou účinností bez ohledu na to, do jakého cyklu je iontoměnič převeden. V této práci je použit iontoměnič v Na^+ cyklu, protože ho lze připravit jednoduše v reprodukovatelném složení a je ho možno snadno recyklovat. Matricí byl tuzemský styren-divinylbenzen kopolymer OSTION LGKS, který patří mezi měkké pryskyřice, a proto vyžaduje nízký pracovní tlak na koloně. Za těchto podmínek při stanovení fruktózy interferuje xy-lóza, galaktóza a manóza se separují jen částečně. Stejný retenční čas jako sacharóza má např. laktóza a celobioza, maltóza a rafinóza se dělí částečně. Polysacharidy jako např. fruktozany či xylany jsou vymývány s mrtvým objemem kolony. Vzhledem k tomu, že sacharóza, glukóza a fruktóza tvoří v rostlinách více než 99,9 % jednoduchých, ve vodě rozpustných sacharidů (Hartman, 1981; Jankovský et al., 1985), tyto interference nevdí. Spočítaná rozlišení jednotlivých analytů byla: $R_{S,G} = 1,0$; $R_{G,F} = 0,5$; $R_{F,R} = 0,6$ a účinnost kolony vyjádřená jako počet teoretických pater pro jednotlivé sacharidy byla $N_S = 3\,750$; $N_G = 5\,330$; $N_F = 6\,410$ a $N_R = 2\,200$. Ribóza byla zvolena jako vnitřní standard, protože se nevyskytuje v originální matici a navíc odstraňuje možnost vzniku chyby díky adsorpci analytů na karborafinu.

Pro vypracování analytické metody byly vybrány tři druhy rostlinného materiálu, které se vzájemně liší v relativním zastoupení sacharózy, glukózy a fruktózy. U nezralých klasů pšenice je dominantní sacharóza (74 % sacharózy, 11 % glukózy, 15 % fruktózy), která je v trávě naopak minoritní složkou (15 % sacharózy, 37 % glukózy, 48 % fruktózy) a ve vojtěšce je zastoupení rovnoměrné (37 % sacharózy, 27 % glukózy, 36 % fruktózy). Ověřována byla jenom přesnost analytické metody opakovanou analýzou jednoho extraktu, neboť způsobem extrakce a předúpravy vzorku byla v minulosti věnována již dostatečná pozornost (Hartman, 1981).

Nejprve byla ověřena správnost kalibrace na interní standard tak, že byl opakovaně analyzován standardní roztok sacharózy, glukózy a fruktózy o známé koncentraci. Rozdíl mezi skutečnou koncentrací ($\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$), sacharóza: 3,00; glukóza: 2,56; fruktóza: 3,30 a aritmetickým průměrem (tab. I) byl podle *t*-testu na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$ statisticky nevýznamný.

I. Statistické hodnocení opakovaných analýz* standardního roztoku sacharózy, glukózy a fruktózy – Statistical evaluation of replicate analyses* of a standard mixture of sucrose, glucose and fructose

Číslo ¹	x_S	x_G	x_F	x_S^2	x_G^2	x_F^2
1	3,058	2,548	3,297	9,351	6,494	10,869
2	2,992	2,516	3,237	8,952	6,329	10,475
3	3,128	2,610	3,356	9,785	6,810	11,266
4	2,953	2,459	3,191	8,719	6,047	10,185
5	3,114	2,568	3,263	9,696	6,593	10,649
6	3,013	2,534	3,271	9,077	6,421	10,698
7	3,042	2,534	3,280	9,251	6,421	10,759
8	2,986	2,518	3,226	8,916	6,339	10,407
9	3,146	2,627	3,369	9,899	6,902	11,353
10	3,052	2,570	3,317	9,312	6,603	11,001
Σ	30,483	25,483	32,807	92,959	64,958	107,661
$(\Sigma x_i)^2 / n$	92,921	64,937	107,632			
x_{av}	3,048	2,548	3,281			

*koncentrace v mg na 1 ml roztoku – concentration in mg per 1 ml of solution

¹number

II. Statistické hodnocení opakovaných analýz* extraktu klasů pšenice – Statistical evaluation of replicate analyses* of an extract of wheat ears

Číslo ¹	x_S	x_G	x_F	x_S^2	x_G^2	x_F^2
1	4,010	0,601	0,825	16,080	0,361	0,680
2	3,924	0,561	0,879	15,401	0,315	0,772
3	3,849	0,614	0,847	14,818	0,377	0,717
4	3,905	0,545	0,783	15,252	0,297	0,613
5	3,985	0,577	0,847	15,881	0,333	0,717
6	3,978	0,609	0,870	15,822	0,371	0,757
7	3,893	0,616	0,860	15,154	0,379	0,740
8	3,952	0,578	0,864	15,616	0,334	0,747
9	3,921	0,588	0,846	15,373	0,346	0,716
10	3,749	0,594	0,824	14,053	0,353	0,679
Σ	39,166	5,881	8,444	153,451	3,464	7,138
$(\Sigma x_i)^2 / n$	153,400	3,459	7,131			
x_{av}	3,917	0,588	0,844			

*koncentrace v mg na 1 ml extraktu – concentration in mg per 1 ml of extract

¹number

Z deseti opakovaných měření standardní směsi a extraktů klasů pšenice (tab. II), vojtěšky (tab. III) a trávy (tab. IV) byly spočteny podle rovnic (1) a (2) směrodatné odchylky (SD) a relativní směrodatné odchylky (RSD) (tab. V). Hodnoty RSD jsou srovnatelné s hodnotami publikovanými pro stanovení sacharózy v cukrovárnických meziproduktech a finálních produktech (Moravcová et al., 1993; Moravcová et al., 1996), kdy ovšem předseparace vzorku zahrnovala i pracné čiření. Z porovnáním hodnot RSD jednotlivých rostlinných materiálů a standardu je vidět, že RSD nezávisí na typu přírodní matrice, ve které se sacharidy stanovují, a že tedy použitý jednoduchý způsob předseparace je dostatečný. Naopak je hodnota RSD závislá

na absolutní koncentraci individuálního sacharidu: čím je tato koncentrace nižší, tím je stanovení zatíženo vyšší chybou vyjádřenou pomocí RSD. Ve sledovaném souboru vzorků s rozmezím koncentrací sacharidů od 0,6 do 7,5 mg·ml⁻¹ nepřevýšila hodnota RSD v žádném případě 4 %, což je přesnost vyšší než u GLC stanovení, při kterém byla pro fruktózu nalezena hodnota RSD až 10 % (Jankovský et al., 1985).

Detekční limit byl poněkud závislý na typu přírodní matrice a ve všech vzorcích byl pro sacharózu nejvyšší (detekční limit [mg·ml⁻¹]; pšenice/vojtěška/tráva; S: 0,2/0,2/0,2; G: 0,1/0,1/0,2; F: 0,1/0,1/0,2). Vyšší detekční limit všech sacharidů nalezený pro travu je způsoben tím, že tento rostlinný materiál obsahuje

III. Statistické hodnocení opakovaných analýz* extraktu vojtěšky – Statistical evaluation of replicate analyses* of an extract of alfalfa

Číslo ¹	x_S	x_G	x_F	x_S^2	x_G^2	x_F^2
1	3,089	2,252	2,957	9,544	5,071	8,746
2	3,207	2,333	3,059	10,285	5,442	9,360
3	3,023	2,171	2,901	9,141	4,714	8,415
4	3,117	2,347	3,083	9,713	5,507	9,507
5	3,018	2,297	3,043	9,108	5,278	9,258
6	3,138	2,328	3,032	9,848	5,420	9,191
7	3,019	2,253	2,977	9,116	5,076	8,864
8	3,224	2,401	3,087	10,395	5,764	9,533
9	3,029	2,293	3,001	9,177	5,258	9,004
10	3,098	2,276	2,975	9,598	5,182	8,851
Σ	30,964	22,952	30,116	95,927	52,713	90,729
$(\Sigma x)^2 / n$	95,874	52,677	90,697			
x_{av}	3,096	2,295	3,012			

*koncentrace v mg na 1 ml extraktu – concentration in mg per 1 ml of extract

¹number

IV. Statistické hodnocení opakovaných analýz* extraktu trávy – Statistical evaluation of replicate analyses* of an extract of ryegrass

Číslo ¹	x_S	x_G	x_F	x_S^2	x_G^2	x_F^2
1	2,236	5,587	7,352	5,001	31,219	54,051
2	2,355	5,723	7,528	5,544	32,748	56,666
3	2,445	5,920	7,676	5,980	35,047	58,920
4	2,491	5,752	7,664	6,204	33,080	58,742
5	2,328	5,754	7,540	5,421	33,112	56,845
6	2,347	5,852	7,566	5,510	34,242	57,241
7	2,418	5,773	7,386	5,847	33,322	54,548
8	2,352	5,779	7,428	5,530	33,400	55,180
9	2,406	5,737	7,390	5,787	32,914	54,605
10	2,488	5,828	7,404	6,188	33,960	54,820
Σ	23,865	57,704	74,933	57,011	333,045	561,617
$(\Sigma x)^2 / n$	56,956	332,975	561,492			
x_{av}	2,387	5,770	7,493			

*koncentrace v mg na 1 ml extraktu – concentration in mg per 1 ml of extract

¹number

nejvyšší koncentraci fruktozanů (Š p i č k a, 1995), které jsou rovněž extrahovány a na chromatogramu poskytnuty s mrtvým objemem kolony dominantní eluční pás, jehož pozadí může ovlivňovat integraci pásů sacharidů a jejich detekční limit. Hodnoty detekčních limitů jsou o něco vyšší, než je uváděno pro GLC stanovení (J a n k o v s k ý et al., 1985), což není překvapující, protože obecně je GLC citlivější analytická metoda než HPLC. Naopak ve srovnání s publikovanými detekčními limity HPLC stanovení jsou zjištěné hodnoty velice příznivé. Pro stanovení glukózy je popsán detekční limit pro refraktometrickou detekci 0,6 mg.ml⁻¹ (B i n d e r, 1980), použití UV detektoru zvýšilo detekční limit až na 4 µg v nástřiku a mez integrovatelnosti byla dokonce 18 µg v nástřiku (Y a n g et al., 1981). V na-

šem případech postačí 0,1 až 0,2 µg každého sacharidu v nástřiku, pokud se jako detektor používá refraktometr Optilab, který je ve srovnání s jinými diferenciálními refraktometry citlivější.

Jedna HPLC analýza trvala 30 min a stejná kolona byla používána bez ztráty účinnosti na stovky analýz extraktů přírodních materiálů.

ZÁVĚR

Vypracovaná metoda stanovení sacharózy, glukózy a fruktózy v rostlinách pomocí HPLC na silně kyselém iontoměničce v Na⁺ cyklu je rychlá a levná, nevyžaduje složitou a pracnou předseparaci vzorku a poskytuje vý-

V. Hodnoty SD a RSD pro stanovení sacharózy, glukózy a fruktózy ve standardním roztoku a extraktech klasů pšenice, vojtěšky a trávy – The SD and RSD values for the determination of sucrose, glucose and fructose in both a standard mixture and an extract of wheat ears, alfalfa and ryegrass

Sacharid ¹	x_{av}	SD [*]	RSD (%)	x_{av}	SD [*]	RSD (%)	x_{av}	SD [*]	RSD (%)	x_{av}	SD [*]	RSD (%)
	standardní roztok ²			extrakt klasů pšenice ³			extrakt vojtěšky ⁴			extrakt trávy ⁵		
Sacharóza	3,05	0,07	2,13	3,92	0,08	1,94	3,10	0,08	2,47	2,39	0,08	3,30
Glukóza	2,55	0,05	1,90	0,59	0,02	3,97	2,30	0,06	2,74	5,77	0,09	1,53
Fruktóza	3,28	0,06	1,72	0,84	0,03	3,32	3,01	0,06	2,00	7,49	0,12	1,58

*koncentrace v mg na 1 ml roztoku, resp. extraktu – concentration in mg per 1 ml of solution, or extract

¹saccharide, ²standard solution, ³wheat ears extract, ⁴alfalfa extract, ⁵grass extract

sledky s přesností srovnatelnou s GLC. Z těchto důvodů je vhodná pro rutinní stanovení rozsáhlých souborů přírodních vzorků.

Práce byla finančně podpořena grantem GA ČR č. 507/94/1297.

LITERATURA

BINDER H.: Separation of monosaccharides by high-performance liquid chromatography: comparison of ultraviolet and refractive index detection. *J. Chromatogr.*, 189, 1980: 414–420.
BRONS, C. – OLIEMAN, C.: Study of the high-performance liquid chromatographic separation of reducing sugars, applied to the determination of lactose in milk. *J. Chromatogr.*, 259, 1983: 79–86.
HARTMAN, M.: Stanovení lehce rozpustných cukrů plynovou chromatografií v rostlinných materiálech. *Rostl. Výr.*, 27, 1981: 191–199.
HICKS, K. B.: High-performance liquid chromatography of carbohydrates. *Advan. Carbohydr. Chem. Biochem.*, 46, 1988: 17–63.
JANKOVSKÝ, M. – HUBÁČEK, J. – PAVLÍK, I.: Některé aspekty stanovení sacharidů v rostlinném materiálu metodou plynové chromatografie. *Rostl. Výr.*, 31, 1985: 409–415.

MARTENS, D. A. – FRANKENBERG, W. T. jr: Determination of saccharides by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *Chromatographia*, 29, 1990: 7–12.

MARTENS, D. A. – FRANKENBERG, W. T. jr: Determination of saccharides in biological materials by high-performance anion-exchange chromatography. *J. Chromatogr.*, 546, 1991: 297–309.

MORAVCOVÁ, J. – VANCLOVÁ, Z. – NOVOTNÁ, M.: Quantitative analysis of sugar factory juices by FT-IR spectroscopy. *Potr. Vědy*, 11, 1993: 493–502.

MORAVCOVÁ, J. – VANCLOVÁ, Z. – HRUBÝ, Z.: Determination of sucrose in slices, pulps, raw and white sugars by NIR reflectance spectroscopy. *Potr. Vědy*, 14, 1996: 119–132.

ŠPIČKA, J.: Dynamics of glucose, fructose and sucrose concentration changes during the initial stages of forages ensiling. *Živočiš. Výr.*, 40, 1995: 347–352.

YANG, M. T. – MILLIGAN, L. P. – MATHISON, G. W.: Improved sugar separation by high-performance liquid chromatography using porous microparticle carbohydrate columns. *J. Chromatogr.*, 209, 1981: 316–322.

Došlo 6. 12. 1996

Kontaktní adresa:

Ing. Jitka Moravcová, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta potravinářské a biochemické technologie, Technická 5, 166 28 Praha 6-Dejvice, Česká republika, tel.: 02/24 35 42 83, fax: 02/311 99 90, e-mail: jitka.moravcova@vscht.cz

APLIKACE ZAŘÍZENÍ TDR TRIME-FM PRO MĚŘENÍ VLHKOSTI PŮDY V ZEMĚDĚLSKÉ PRAXI

THE USE OF TDR TRIME-FM DEVICE TO MEASURE SOIL WATER CONTENT IN AGRICULTURAL PRACTICE

S. Matula

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: An information about soil water content is important for the agriculture, water management and a protection of the environment. The Time Domain Reflectometry (TDR) has become a popular non-destructive method to measure water content in porous media. The TDR method is based on the estimate of the travel time needed for certain electromagnetic pulse along metal wires surrounded by soil as a dielectricum with specific dielectric constant ϵ . The relation between travel time t as a function of dielectric constant ϵ and volumetric water content θ in soil can be found by the calibration. This paper is focused on testing of the small, relatively non expensive TDR device TRIME-FM, which has been designed for the soil water content measurement *in situ*. The tests of the TDR were done in the laboratory using pure chemically inert sand (99,8% SiO_2) and on a Haplustoll (silt loam, loess, eroded, truncated phase) *in situ*. The three rods plastic coating probe was used, a volumetric water content was calculated applying equation of Topp et al. (1980) and a procedure of the calculations build in the TDR device as a standard form by the producer of the TDR was selected. Both series of the tests show very good results of an agreement between gravimetric and TDR determination of water content. The t -test for hypotheses that concern the difference between the two means, which is based on the pooled estimate of the standard deviation is used. The two specified alpha levels were considered ($\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$), so the values θ_{tdr} and θ_g are not different for alpha level $\alpha = 0.01$ and are slightly different with respect to alpha level $\alpha = 0.05$. The device measures the water content with very good accuracy for the values of water content from 12 to 40% by volume, for higher water content the measured values are overvalued approx. 1 or 2% which might be counted in practice. The tests were done for the range of water content approximately from 5 to 35% vol. for the laboratory tests and from 13 to 30% vol. *in situ*. The relative error *in situ* measurement is max. 4.6% and the accuracy is $\pm 1.5\%$ of the water content by volume. The tested device TRIME-FM seems to be successful tool for the field measurements of the soil water content, it could be very useful for the continual automatic measurements and it could be easily connected to the PC, data logger or central station via RSC 232 connection. Based on the found relative errors the device can be successfully used for a large scale of measurements in the practice. Water content of the other porous or loose materials can be also well determined.

soil water content determination; volumetric soil water content; TDR method; relative error of the measurement

ABSTRAKT: V zemědělství, vodohospodářství a ochraně životního prostředí jsou důležitou informací údaje o vlhkosti půdy v půdním profilu. Moderní a stále více používanou nedestruktivní metodou měření vlhkosti v pórovitém prostředí je Time Domain Reflectometry (TDR), k jejímuž značnému rozvoji použití dochází právě v současné době. Práce je zaměřena na otestování malého, cenově přijatelného zařízení TDR TRIME-FM, které je speciálně konstruováno pro měření vlhkosti půdy v polních podmínkách. Zařízení bylo testováno v laboratorních podmínkách na čistém sklářském písku a v polních podmínkách na středně těžké karbonátové černozemi na spraších. Použita byla sonda se třemi plastem potaženými transmisními tyčemi, pro vyhodnocení byla aplikována rovnice, kterou publikovali Topp et al. (1980), a standardní postup výpočtu uložený do paměti stroje výrobcem. Při obou testováních bylo dosaženo velmi dobré shody v porovnání s gravimetrickými stanoveními hodnot vlhkosti. Pro porovnání hodnot vlhkosti stanovených gravimetricky a TDR bylo použito párového t -testu na hladinách významnosti $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,01$. Hodnoty vlhkostí θ_{tdr} a θ_g se na druhé hladině významnosti neliší, na první hladině se mírně liší. Zařízení pracuje s velmi dobrou relativní přesností v rozsahu vlhkostí od 12 do 40 % obj., při vyšších vlhkostech dochází k nadhodnocení hodnot o 1 až 2 %, s čímž lze v praxi počítat. Přístroj prokázal velmi dobrou použitelnost hlavně v terénním sledování vlhkosti, je vhodný ke dlouhodobým kontinuálním sledováním a jeho snadné připojení na PC, datalog nebo měřicí ústřednu (RSC 232) je velkou výhodou. Relativní chyba je v terénních podmínkách maximálně 4,6 % a přesnost je $\pm 1,5$ % obj. vlhkosti. Z výsledků testů vyplývá široká možnost použití přístroje v praxi, a to pro měření vlhkosti i jiných materiálů, než je půda.

měření vlhkosti; objemová vlhkost půdy; metoda TDR; relativní chyba měření

Od první poloviny 90. let dochází k rapidnímu nárůstu aplikací TDR (Time Domain Reflectometry) pro měření objemové vlhkosti půdy θ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$). Průkopnická práce (Topp et al., 1980) představila TDR jako vhodnou, nedestruktivní a rychlou metodu měření vlhkosti v terénních i laboratorních podmínkách (např. Topp et al., 1982; Dalton, Genuchten, 1986; Nadler et al., 1991; Dasberg, Hopmans, 1992; Dirksen, Dasberg, 1993; Heimovaara, 1993; Hook, Livingston, 1995). Od té doby se TDR stala výhodnou metodou automatického měření vlhkosti. Od začátku 90. let se řada světových pracovišť soustřeďuje na další aplikaci TDR, tj. na měření transportu roztoků v půdním prostředí. V letech 1992 až 1996 byla publikována řada prací na toto téma, první poukázali na možnost využití Kachanoski et al. (1992). Z následujících prací je možné uvést např. publikace: Wraith et al. (1993), Mallants et al. (1994), Vanclooster et al. (1995), Mallants et al. (1996).

Prvním a dosud nejčastěji používaným TDR zařízením je kabelový tester Tektronix 1502B, který má řadu funkcí, jež nejsou pro pedologické aplikace použitelné, navíc jde spíše o laboratorní přístroj. Nemaou roli v rozšíření používání TDR hraje také jeho vysoká cena. Proto se v posledních letech začalo vyrábět několik přístrojů TDR, speciálně konstruovaných pro hydrogeologické, hydrogeologické, geotechnické a další terénní použití, jejichž cena je příznivější. V této práci bude věnována pozornost aplikaci malého, robustního zařízení TDR TRIME-FM pro měření půdní objemové vlhkosti θ v širokém rozsahu *in situ*, tak jak vyžaduje zemědělská, lesnická a vodohospodářská praxe.

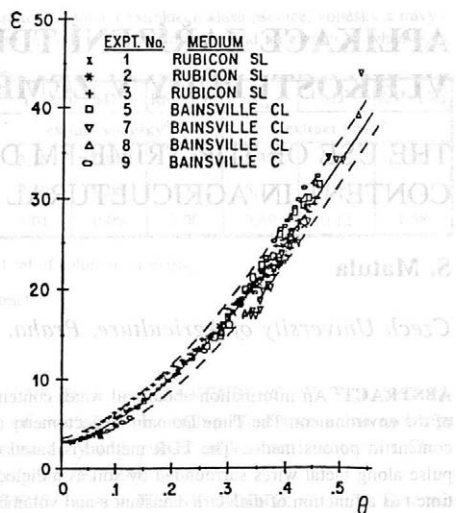
MATERIÁL A METODA

Teorie použití TDR

Měření pomocí TDR je založeno na principu, který je společný všem kapacitním metodám měření vlhkosti. Pokud půda tvoří dielektrikum mezi elektrodami – tyčemi, pomocí kterých je udržováno slabé proměnné elektrické pole, lze půdu jako každé jiné dielektrikum charakterizovat dielektrickou konstantou ϵ a elektrickou impedancí dielektrika – půdy Z_L . Hodnoty uvedených veličin lze kalibrací vztáhnout k hodnotám vlhkosti půdy θ a k místní koncentraci půdního roztoku (Dalton, 1992).

Závislost mezi ϵ a θ může být poněkud ovlivněna půdním typem a některými fyzikálními vlastnostmi, jako je objemová hmotnost, obsah organického materiálu a jílu (Jacobsen, Schønning, 1993). Hodnota dielektrické konstanty ϵ je nejčastěji počítána z výrazu (Topp et al., 1980):

$$\epsilon = (ct/2L)^2 \quad (1)$$



1. Závislost mezi dielektrickou konstantou ϵ a objemovou vlhkostí θ (Topp et al., 1980) – The relationship between dielectric constant ϵ and volumetric water content θ (Topp et al., 1980)

kde: c je rychlost postupu elektromagnetické vlny ve volném prostoru ($3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), t je čas postupu vlny (s), L je skutečná délka přenosové dráhy v půdním dielektriku, celkově tedy $2L$ při postupu vlny na konec tyčí sondy a zpět (m).

Topp et al. (1980) také zjistili, že ϵ je především funkcí objemové vlhkosti půdy θ a pouze velmi málo závisí na půdním typu a některých fyzikálních vlastnostech a že pro většinu půd (obr. 1) vcelku vyhovuje jediná empirická závislost mezi ϵ a θ ve tvaru:

$$\theta = (A + B\epsilon + C\epsilon^2 + D\epsilon^3) \cdot 10^{-4} \quad (2)$$

kde: $A = -530$, $B = 292$, $C = -5,5$, $D = 0,043$ pro rovnici (1) (Topp et al., 1980).

V letech 1980 až 1995 byly publikovány další empiricky zjištěné rovnice pro vyjádření závislosti ϵ a θ . Přehled těchto rovnic uvádí tab. I.

Rovnice (1) (Topp et al., 1980) však zůstává stále velmi používanou a byla použita i u zařízení TDR TRIME-FM.

Experimentální zařízení

Bylo testováno zařízení TRIME-FM verze P3 Systém firmy IMKO Mikromodultechnik. Na základě uveřejněných závěrů (Zegelin et al., 1989) a vlastních zkušeností se sondami k zařízení Tektronix 1502B (Dirksen, Matula, 1994) byla vybrána sonda se třemi plastem potaženými transmisními tyčemi, umístěnými rovnoběžně vedle sebe do plastového držáku v osové vzdálenosti od sebe 35 mm, o průměru tyčí 8 mm a délce k vrcholu špičí tyčí 160 mm. Tento typ čidla nevyžaduje impedanční transformátor pulzů, tak

Autoři ¹	Rovnice ²	Půdní materiál ³
Nadler et al. (1991)	$\theta = (A + B\epsilon + C\epsilon^2 + D\epsilon^3)10^{-4}$ $A = -725, B = 367, C = -12,3, D = 0,150$	hlinitá půda ⁴
Roth et al. (1992)	$A = -728, B = 448, C = -19,5, D = 0,361$ $A = -233, B = 285, C = -4,3, D = 0,030$	9 minerálních půd ⁵ 7 organických půd ⁶
Dasberg, Hopmans (1992)	$A = -751, B = 424, C = -18,5, D = 0,380$ $A = -1\,096, B = 581, C = -22,7, D = 0,320$	písčitohlinitá půda ⁷ jílovitohlinitá půda ⁸
Jacobsen, Schønning (1993)	$A = -701, B = 374, C = -11,6, D = 0,180$	10 minerálních půd
Malicki, Skierucha (1989)	$\theta = [-19 + (388\epsilon - 546,9)^{1/2}]/194$ $\epsilon \geq 1,41$	5 minerálních půd
Ledieu et al. (1986)	$\theta = 0,1138\epsilon^{1/2} - 0,1758$ $\theta = 0,1138\epsilon^{1/2} - 3,38\rho_b - 0,1529$	minerální půdy
Herkelrath et al. (1991)	$\theta = 0,1273\epsilon^{1/2} - 0,051$	organické půdy
Jacobsen, Schønning (1993)	$\theta = 10^{-4}(-341 + 345\epsilon - 11,4\epsilon^2 + 0,171\epsilon^3 - 370\rho_b + 7,36\% \text{ jíl}^9 + 47,7\% \text{ org. mat.}^{10})$	10 minerálních půd

θ – objemová vlhkost – volumetric water content

ϵ – dielektrická konstanta půdy – apparent dielectric constant

ρ_b – objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3}) – bulk density (g.cm^{-3})

¹authors, ²formula, ³soils, ⁴silty loam, ⁵mineral soils, ⁶organic soils, ⁷sandy loam, ⁸clay loam, ⁹clay, ¹⁰org. mat.

jak tomu je u dvou tyčových sond, je jednodušší, přesnější a méně náchylný k vlivu šumu na signál. Také jeho osazování do půdy je poměrně jednoduché, u utužených půd se osvědčil postup osazení do předvrtaných otvorů, tak jak popisují pro tenzometry Matula, Dirksen (1992).

Celá sestava TRIME-FM se sondou je znázorněna na obr. 2. Zařízení je schopné měřit vlhkost v širokém rozsahu nejen u půd, ale také u sypkých materiálů, zrn, kalů, keramických surovin apod. Samotná procedura měření trvá kolem 15 až 20 s a displej ukáže přímo hodnotu objemové vlhkosti v procentech. Přístroj je energeticky velmi nenáročný (proud pouze 250 až 300 mA při probíhající měření, v klidovém stavu jen 5 až 10 mA) a má vestavěn nabíjecí akumulátor pro přibližně 300 měřicích cyklů do vybití akumulátoru. Vybití je signalizováno na displeji nulovými hodnotami a světlem LED diody asi po dobu 1 s. Zařízení má vlastní nabíječ akumulátoru, nabíjení prázdného akumulátoru trvá 14 h. Kabel mezi přístrojem a sondou je standardně dlouhý 1,5 m, maximálně pak 5 m. Některá konstrukční řešení, postup měření a automatického vyhodnocení má výrobní firma patentována. Automatický výpočet vlhkosti θ vychází z rovnice (1), podle které se vypočte dielektrická konstanta ϵ z naměřeného času postupu vlny. Protože tyče jsou potaženy plastem, je stanovena smíšená dielektrická konstanta ϵ_{mix} , která se počítá jako:

$$1/\epsilon_{\text{mix}} = V_c/\epsilon_c + V_r/\epsilon_r \quad (3)$$

V rovnici (3) V_c znamená objem části plastu tyče, ϵ_c je dielektrická konstanta plastu, V_r je objem měřeného

vzorku a ϵ_r je dielektrická konstanta měřeného vzorku. Rovnice (3) se upraví na tvar:

$$\epsilon_r = (V_r\epsilon_{\text{mix}}\epsilon_c)/(\epsilon_c - V_c\epsilon_{\text{mix}}) \quad (4)$$

Nelinearita rovnice (4) se projevuje klesající rozlišovací schopností pro vysoké hodnoty vlhkosti (asi nad 45 % obj.). Výrobce uvádí přesnost v rozsahu 0 až 40 % vlhkosti kolem $\pm 1\%$ a v rozsahu 40 až 70 % vlhkosti kolem $\pm 2\%$. Vlhkost θ lze počítat z rovnice (2), která je vhodná pro minerální půdy.

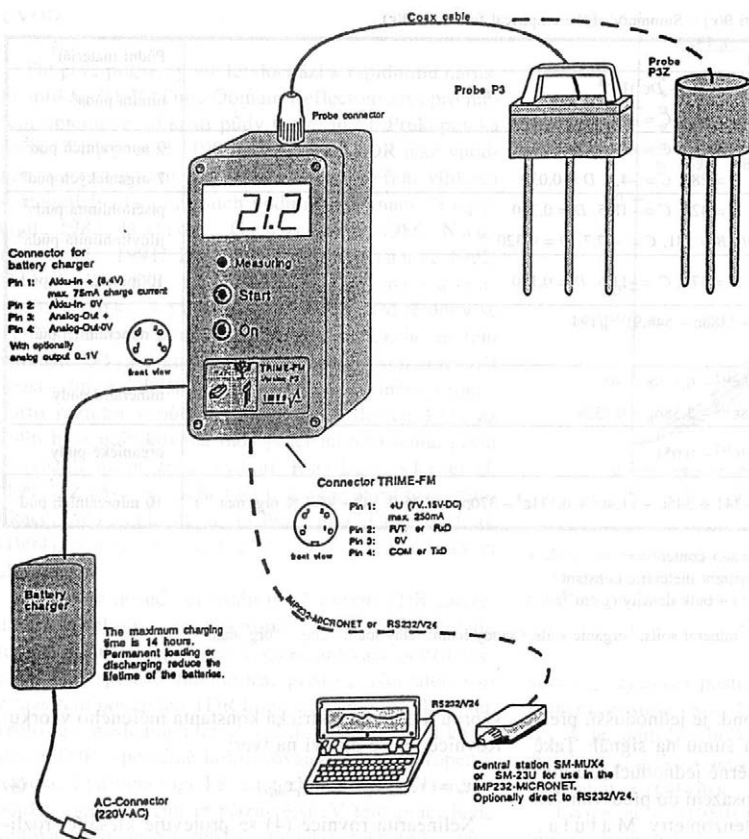
Reálný automatický výpočet je ještě o něco komplikovanější, protože je nutné zahrnout některé další technické detaily. Lze jej rozdělit na tři bloky:

1. kompenzace časového zpoždění signálu v propojovacím kabelu mezi sondou a přístrojem;
2. zahrnutí vlastností použité sondy (délka tyčí, plastové krytí);
3. kalibrace pro příslušný materiál (pro minerální půdy použit polynom 5. řádu).

Kalibrace je uložena v paměti zařízení a může být programově měněna, stejně jako uložené vlastnosti použité sondy pomocí kalibračního programu.

Experimentální testy

Vzhledem k tomu, že výrobní firma neposkytla žádné konkrétní informace o přesnosti měření přístroje v rozsahu objemové vlhkosti cca 5 až 60 %, byly provedeny dvě série testování přístroje TRIME-FM verze 3. Jedna série byla realizována v laboratorních podmínkách, druhá *in situ*. Jako referenční metody v obou



2. Zařízení TDR TRIME-FM verze P3 a jeho propojení – The TDR TRIME-FM version P3 device and its connections

případěch bylo použito gravimetrického stanovení vlhkosti.

Laboratorní testy

V temperované fyzikální laboratoři KPG ČZU Praha s konstantní teplotou 20 °C byl jako testovací materiál použit čistý sklářský homogenní písek, který je složen z 99,8 % z čistého SiO_2 . Písek byl chemicky inertní, po vysušení při 105 °C následně neadsorboval vodu ze vzduchu a bylo možné z něj připravit pečlivým a opakovaným promícháním směs o vlhkosti menší než 10 % a dále směs vlhkostně homogenní v rozsahu až do vlhkosti 40 % obj. Celkově bylo používáno 6 dm³ písku tak, aby s rezervou postačovalo k naplnění plastového vědra jako nádoby testovacího vzorku. Navážka po krocích zvlhčovaného písku byla v rozmezí 6,815 až 10,525 kg. Plastové vědro bylo opatřeno stupnicí objemu po 0,1 dm³ pro snadnější orientační určení objemu plnění vědra. Po každém vlhkostním kroku byl celý vzorek vysušen v sušárně při 105 °C, přemístěn zpět do vědra a gravimetricky stanovena hmotnost suchého použitého vzorku. Následně byl písek opět smísen s o něco větším množstvím destilované vody a celý proces byl znovu opakován. Popsaným postupem bylo dosaženo měření v širokém spektru vlhkostí. Zdánlivá

hustota (specifická hmotnost) částic písku ρ_z byla určena standardním postupem pyknometricky a byly pro každý vlhkostní krok spočteny objemové hmotnosti ρ_d pro celé vědro jako vzorek. Z rozdílů vlhkého a suchého vzorku v každém vlhkostním kroku byla spočtena hmotnostní vlhkost w (% hm.), která byla známým postupem přepočtena na vlhkost objemovou θ_g (% obj.). Pro tyto vlhkostní kroky byly objemové vlhkosti θ_{ldr} měřeny pomocí TRIME-FM tak, že sonda byla umístěna vertikálně ve středu vědra ve vzorku a měření byla vždy prováděna do kříže ve dvou kolmých směrech, kdy střední tyč byla v totožném místě při obou měření. Hodnoty byly měřeny v obou směrech s šesti opakováními a výsledky měření v obou směrech byly srovnávány.

K porovnání hodnot gravimetrie a TDR bylo užito aritmetických průměrů opakovaných měření. Celkem bylo provedeno 16 měření na zvlhčovaném materiálu a jedno kontrolní měření na suchém vzorku.

Terénní testy

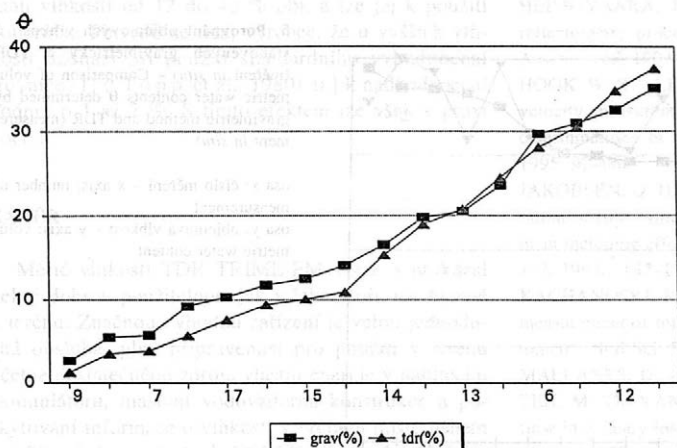
Terénní měření probíhala v kopané sondě o celkové hloubce 150 cm pod terémem na výzkumné ploše KPG ČZU Praha v Suchdole. Jedná se o profil středně těžké karbonátové černožemě na spraších, pro kterou jsou

k dispozici dobře změřené základní fyzikální charakteristiky (V a š á k, 1994). Testy byly prováděny v říjnu 1994. Sonda TDR byla osazována horizontálně do jednotlivých hloubek do otvorů předem předvrtaných (Matula, Dirksen, 1992) nebo ražených ocelovými jehlami, tak jak doporučuje výrobce TDR. Hodnoty vlhkostí byly měřeny v šesti opakováních pro každé měřicí místo a poté byl odebrán neporušený vzorek do Kopecského válečku pro gravimetrické určení vlhkosti w , objemové hmotnosti ρ_d a zdánlivé hustoty půdních částic ρ_z vodním pyknometrem. Vzdálenost odběru válečku od TDR sondy nepřesahovala vodorovně 10 cm. Váleček byl ihned po odběru v přilehlé polní laboratoři zvážen s přesností 0,01 g. Měření se uskutečnila v hloubce od 41 do 120 cm, celkem bylo provedeno měření TDR na 19 místech a odebráno 19 odpovídajících válečků k fyzikálním rozborům. Teplota vzduchu venku se v době experimentů a odběrů pohybovala v rozmezí 14 až 18 °C, srážková činnost byla zanedbatelná.

VÝSLEDKY

Laboratorní testy

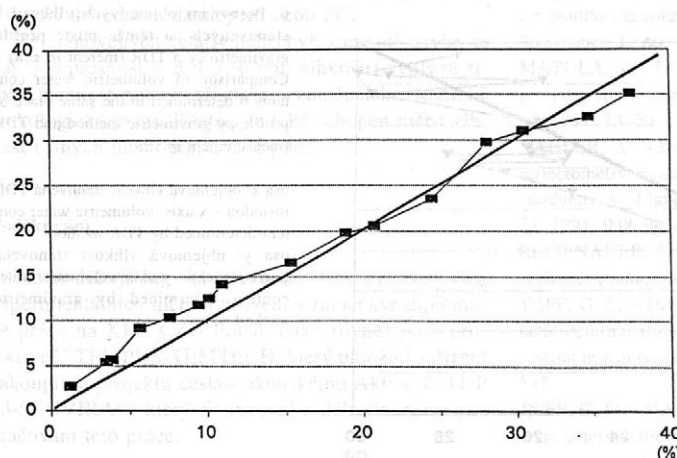
Série laboratorních měření na pískovém materiálu ($\rho_z = 2,604 \text{ g.cm}^{-3}$, $\rho_d = 1,142$ až $1,528 \text{ g.cm}^{-3}$, prakticky rostoucí s vlhkostí) přinesla uspokojivé výsledky. Měření byla prováděna v rozsahu objemových vlhkostí přibližně od 5 do 40 % obj. Průměrná odchylka stanovených vlhkostí pomocí měření TDR a gravimetricky byla v tomto rozsahu 1,1 % obj., což reprezentuje relativní chybu měření 6,7 % v celém rozsahu. Graficky jsou vyneseny výsledky TDR a gravimetrie pro postupně narůstající vlhkost a všechna měření do obr. 3. Obr. 4 ukazuje jednoduché srovnání výsledků θ_{tdr} a θ_g pro všech 16 měření. Z tohoto srovnání je patrné, že větší odchylka je v rozsahu vlhkostí od 5 do 12 %. Z celkem 16 provedených měření byla u 12 zjištěna v tomto rozsahu θ_{tdr} menší než θ_g . To ukazuje, že použití soustavy vyhodnocujících rovnic v přístroji je mé-



3. Porovnání objemových vlhkostí θ stanovených gravimetricky a TDR (laboratorní měření) – Comparison of volumetric water contents θ determined by gravimetric method and TDR (laboratory measurement)

osa x: číslo měření – x axis: number of measurement

osa y: objemová vlhkost – y axis: volumetric water content



4. Porovnání objemových vlhkostí θ stanovených na téže vzorku gravimetricky a TDR (laboratorní měření) – Comparison of volumetric water contents θ determined in the same sample by gravimetric method and TDR (laboratory measurement)

osa x: objemová vlhkost stanovená TDR metodou – x axis: volumetric water content determined by TDR method

osa y: objemová vlhkost stanovená gravimetricky – y axis: volumetric water content determined by gravimetric method

ně přesné pro měření nižších vlhkostí než 12 %. Pro zemědělskou, lesnickou a vodohospodářskou praxi jde o rozsah, který se příliš neuplatňuje.

Pro porovnání všech naměřených párových hodnot byl použit párový *t*-test (Reisenauer, 1965). Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ je kritický bod $t_{0,05} = 2,131$ a pro $\alpha = 0,01$ je $t_{0,01} = 2,947$. U hodnot z obr. 4 je $t = 2,197$, takže se výsledky θ_{idr} a θ_g těsně liší na první hladině významnosti, na druhé se významně neliší.

Testy *in situ*

Terénní měření prováděná v kopané sondě přinesla také uspokojivé výsledky a potvrdila kvalitu zařízení TRIME-FM. Celkem bylo provedeno 19 měření na rostlém půdním profilu.

Fyzikální vlastnosti půdy byly:

- zdánlivá hustota půdních částic $\rho_z = 2,548$ až $2,646 \text{ g.cm}^{-3}$;
- objemová hmotnost $\rho_d = 1,304$ až $1,564 \text{ g.cm}^{-3}$;

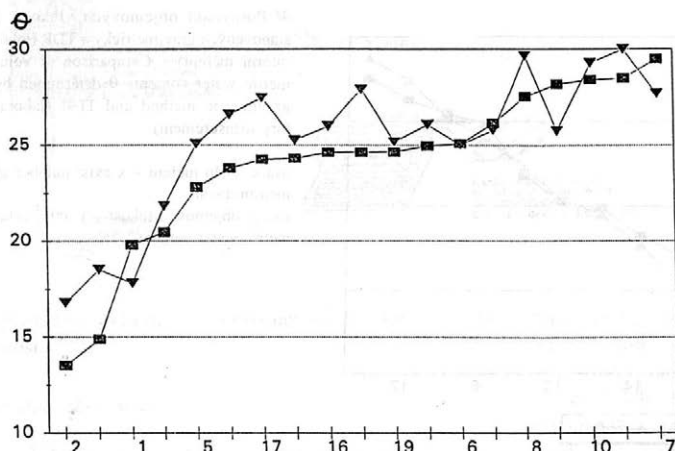
- hmotnostní vlhkost v rozsahu $w = 10,36$ až $20,56 \text{ \% hm.}$

Průměrná odchylka stanovených vlhkostí gravimetricky a pomocí TDR ($\theta_g - \theta_{idr}$) byla $1,146 \text{ \% obj.}$, což reprezentuje relativní chybu měření ($4,6 \text{ \%}$) v celém rozsahu. Rozdíly mezi jednotlivými opakovanými sériemi měření byly nepatrné. Naměřené hodnoty objemových vlhkostí se pohybovaly v rozsahu zhruba od 13 do 30 % obj. Hodnoty jsou znázorněny na obr. 5.

Pro porovnání všech naměřených párových hodnot byl opět použit párový *t*-test. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ je kritický bod $t_{0,05} = 2,101$ a pro $\alpha = 0,01$ je $t_{0,01} = 2,878$. U hodnot na obr. 6 je $t = 2,726$, což znamená, že se hodnoty θ_{idr} a θ_g významně liší na první hladině a neliší na druhé.

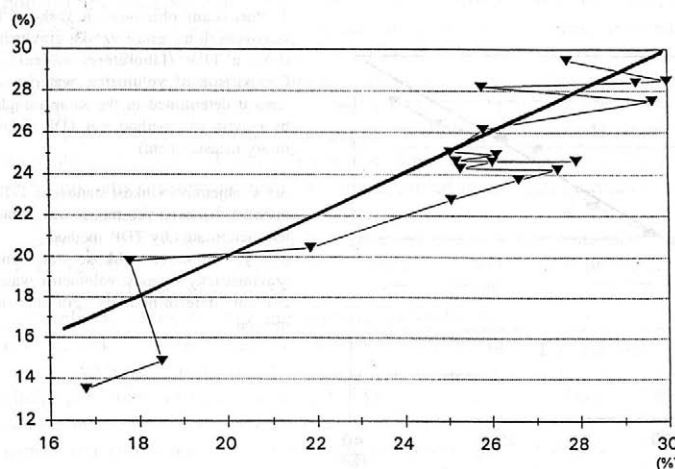
DISKUSE

V laboratorním i polním testování přístroj TRIME-FM dosáhl velmi dobrých výsledků při porovnání



5. Porovnání objemových vlhkostí θ stanovených gravimetricky a TDR (měření *in situ*) – Comparison of volumetric water contents θ determined by gravimetric method and TDR (measurement *in situ*)

osa x: číslo měření – x axis: number of measurement
osa y: objemová vlhkost – y axis: volumetric water content



6. Porovnání objemových vlhkostí θ stanovených na téže místě profilu gravimetricky a TDR (měření *in situ*) – Comparison of volumetric water contents θ determined in the same place of profile by gravimetric method and TDR (measurement *in situ*)

osa x: objemová vlhkost stanovená TDR metodou – x axis: volumetric water content determined by TDR method
osa y: objemová vlhkost stanovená gravimetricky – y axis: volumetric water content determined by gravimetric method

s hodnotami vlhkosti, které byly stanoveny gravimetricky. Je zřejmé, že na výsledky může mít vliv také pečlivost, se kterou byla obě stanovení prováděna. Při stanovení vlhkosti pomocí TDR mají na přesnost vliv faktory, jako je teplota a její změny, variabilita vlhkosti v celkovém objemu měřeného vzorku, kontakt půdy s měřicími tyčemi (dutiny, kořeny rostlin, vzdušné póry nebo jen neopatrné osazení tyčí sondy tak, že vznikne vzduchová mezera mezi tyčemi a půdou). Dalším vlivem je i obecná kalibrace přístroje a chyba čtení dopravního času t , chyby vlastního měřicího zařízení, použití rovnice (1) (Topp et al., 1980) a parametrů obecné kalibrace pro minerální půdy.

Gravimetrické stanovení hmotnostní vlhkosti w , stanovení hodnot ρ_z a ρ_d , které jsou pak použity při přepočtu hmotnostní vlhkosti w na objemovou θ , také není bez nepřesností, které mohou ovlivnit výsledky při porovnání s výsledky TDR.

Ze stanovených relativních chyb pro měření pomocí TDR TRIME-FM v laboratoři i v terénu plyne, že zařízení pracuje s velmi dobrou relativní přesností v rozsahu vlhkosti od 12 do 40 % obj. a lze jej k použití doporučit. Potvrdil se údaj výrobce, že u vyšších vlhkostí dochází při použití standardního vyhodnocení [rovnice (1) (Topp et al., 1980) aj.] k nadhodnocení hodnot o 1 až 2 %. S tímto efektem lze však v praxi počítat.

ZÁVĚR

Měřič vlhkosti TDR TRIME-FM verze 3 prokázal velmi dobrou použitelnost jak v laboratoři, tak hlavně v terénu. Značnou výhodou zařízení je velmi jednoduchá obsluha, plná připravenost pro použití v terénu včetně dostatečného zdroje vlastní energie v nabíjecím akumulátoru, masivní vodovzdorná konstrukce a poskytování informace o vlhkosti v určitém místě během cca 20 s. Přístroj je vhodný také ke dlouhodobým kontinuálním sledováním vlhkosti a jeho snadné připojení přes výstup RSC 232 jej činí schopným spolupráce s měřicí ústřednou, datalogem nebo PC.

Ze stanovených relativních chyb (terénní chyba je 4,6 % a přesnost je $\pm 1,5$ % obj. vlhkosti) vyplývá široká možnost použití přístroje v zemědělské, lesnické a ekologické praxi. Přístroj je také schopen měřit vlhkost i jiných materiálů, než je půda.

Poděkování

Autor děkuje Ing. Jaroslavu Eflerovi, který část experimentálních měření provedl v rámci své diplomové práce na KPG ČZU Praha. Díky rovněž patří projektu EU TEMPUS-TEMTECH, který umožnil zařízení zakoupit, a projektu česko-rakouskému Aktion č. 11 P 13-SENIRAC, který financoval a dále financuje pokračování této práce.

LITERATURA

- DALTON, F. N.: Development of time-domain reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity. In: GREEN, R. – TOPP, G. C. (ed.): *Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into the practice*. Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. (Madison, WI), 30, 1992: 143–167.
- DALTON, F. N. – GENUCHTEN, M. Th. VAN: The time domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. *Geoderma*, 38, 1986: 237–250.
- DASBERG, S. – HOPMANS, J. W.: Time domain reflectometry calibration for uniformly and nonuniformly wetted sandy and clayey loam soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 56, 1992: 1341–1345.
- DIRKSEN, C. – DASBERG, S.: Improved calibration of time domain reflectometry soil water content measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57, 1993: 660–667.
- DIRKSEN, C. – MATULA, S.: Automatic atomized water spray system for soil hydraulic conductivity measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 58, 1994: 319–325.
- HEIMOVAARA, T. J.: Design of triple wire time domain reflectometry probes in practice and theory. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57, 1993: 1410–1417.
- HOOK, W. R. – LIVINGSTON, N. J.: Reducing propagation velocity measurement errors in time domain reflectometry determinations of soil water. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 59, 1995: 92–96.
- JAKOBSEN, O. H. – SCHØNNING, P.: A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. *J. Hydrol.*, 151, 1993a: 147–157.
- KACHANOSKI, R. G. – PRINGLE, E. – WARD, A.: Field measurement of solute travel times using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 56, 1992: 47–52.
- MALLANTS, D. – FEYEN, J. – TORIDE, N. – GENUCHTEN, M. Th. VAN: Using dyes for qualifying preferential flow in a sandy loam soil. *EOS Trans.*, 74, 1993 (3): 240.
- MALLANTS, D. – VANCLOOSTER, M. – TORIDE, N. – VANDERBORGHT, J. – GENUCHTEN, M. Th. VAN – FEYEN, J.: Comparison of three methods to calibrate TDR for monitoring solute movement in undisturbed soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60, 1996: 747–754.
- MATULA, S. – DIRKSEN, C.: Jednoduchý mikrotenzometr pro laboratorní a polní experimentální práce. *Pedol. Melior.*, 28, 1992: 13–20.
- NADLER, A. – DASBERG, S. – LAPID, I.: Time domain reflectometry measurements of water content and electrical conductivity of layered soil columns. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 55, 1991: 938–943.
- REISENAUER, R.: *Metody matematické statistiky a jejich aplikace*. Praha, SNTL 1965.
- TOPP, G. C. – DAVIS, J. L. – ANNAN, A. P.: Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Wat. Resour. Res.*, 16, 1980: 574–582.
- TOPP, G. C. – DAVIS, J. L. – ANNAN, A. P.: Electromagnetic determination of soil water content using TDR: Appli-

cations to wetting fronts and steep gradients. Soil Sci. Soc. Amer. J., 46, 1982: 672–678.

VANCLOOSTER, M. – MALLANTS, D. – DIELS, J. – FEYEN, J.: Determining local scale solute transport parameters using time domain reflectometry (TDR). J. Hydrol. (Amsterdam), 148, 1993: 93–107.

VAŠÁK, L.: Fyzikální charakteristiky experimentální plochy Suchdol. [Diplomová práce.] Praha, 1994. – ČZU.

WRAITH, J. M. – COMFORT, S. D. – WOODBURY, B. L. – INSKEEP W. P.: A simplified waveform analysis approach

for monitoring solute transport using time-domain reflectometry. Soil Sci. Soc. Amer. J., 57, 1993: 637–642.

ZEGELIN, S. J. – WHITE, J. – JENKINS, D. R.: Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurements using TDR. Wat. Resour. Res., 25, 1989: 2367–2376.

Došlo 20. 11. 1996

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Svatopluk Matuľa, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchdol, Česká republika, tel.: 02/24 38 46 36, fax: 02/20 92 03 12, e-mail: matula@af.czu.cz

POKYNY PRO AUTORY

Časopis uveřejňuje původní vědecké práce, krátká sdělení a výběrově i přehledné referáty, tzn. práce, jejichž podkladem je studium literatury a které shrnují nejnovější poznatky v dané oblasti. Práce jsou uveřejňovány v češtině, slovenštině nebo angličtině. Rukopisy musí být doplněny krátkým a rozšířeným souhrnem (včetně klíčových slov).

Autor je plně odpovědný za původnost práce a za její věcnou i formální správnost. K práci musí být přiloženo prohlášení autora o tom, že práce nebyla publikována jinde.

O uveřejnění práce rozhoduje redakční rada časopisu, a to se zřetelem k lektorským posudkům, vědeckému významu a přínosu a kvalitě práce.

Rozsah vědeckých prací nemá přesáhnout 15 stran psaných na stroji včetně tabulek, obrázků a grafů. V práci je nutné používat jednotky odpovídající soustavě měrových jednotek SI (ČSN 01 1300).

Vlastní úprava rukopisu má odpovídat státní normě ČSN 88 0220 (formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhůzů na řádku, mezi řádky dvojitě mezery), k rukopisu je vhodné přiložit disketu s prací pořízenou na PC v některém textovém editoru, nejlépe v T602, a s grafickou dokumentací. Tabulky, grafy a fotografie se dodávají zvlášť, nepodlepují se. Na všechny přílohy musí být odkazy v textu.

Pokud autor používá v práci zkratky jakéhokoliv druhu, je nutné, aby byly alespoň jednou vysvětleny (vypsány), aby se předešlo omylům. V názvu práce a v souhrnu je vhodné zkratky nepoužívat.

Název práce (titul) nemá přesáhnout 85 úhůzů. Jsou vyloučeny podtitulky článků.

Krátký souhrn (Abstrakt) je informačním výběrem obsahu a závěru článku, nikoliv však jeho pouhým popisem. Musí vyjádřit všechno podstatné, co je obsaženo ve vědecké práci, a má obsahovat základní číselné údaje včetně statistických hodnot. Musí obsahovat klíčová slova. Nemá překročit rozsah 170 slov. Je třeba, aby byl napsán celými větami, nikoliv heslovitě. Je uveřejňován a měl by být dodán ve stejném jazyce jako vědecká práce.

Rozšířený souhrn (Abstract) je uveřejňován v angličtině, měly by v něm být v rozsahu cca 1–2 strojopisných stran komentovány výsledky práce a uvedeny odkazy na tabulky a obrázky, popř. na nejdůležitější literární citace. Je vhodné jej (včetně názvu práce a klíčových slov) dodat v angličtině, popř. v češtině či slovenštině jako podklad pro překlad do angličtiny.

Úvod má obsahovat hlavní důvody, proč byla práce realizována a velmi stručnou formou má být popsán stav studované otázky.

Literární přehled má být krátký, je třeba uvádět pouze citace mající úzký vztah k problému.

Metoda se popisuje pouze tehdy, je-li původní, jinak postačuje citovat autora metody a uvádět jen případné odchylky. Ve stejné kapitole se popisuje také pokusný materiál.

Výsledky – při jejich popisu se k vyjádření kvantitativních hodnot dává přednost grafům před tabulkami. V tabulkách je třeba shrnout statistické hodnocení naměřených hodnot. Tato část by neměla obsahovat teoretické závěry ani dedukce, ale pouze faktické nálezy.

Diskuse obsahuje zhodnocení práce, diskutuje se o možných nedostacích a práce se konfrontuje s výsledky dříve publikovanými (požaduje se citovat jen ty autory, jejichž práce mají k publikované práci bližší vztah). Je přípustné spojení v jednu kapitolu spolu s výsledky.

Literatura musí odpovídat státní normě ČSN 01 0197. Citace se řadí abecedně podle jména prvních autorů. Odkazy na literaturu v textu uvádějí jméno autora a rok vydání. Do seznamu se zařadí jen práce citované v textu. Na práce v seznamu literatury musí být odkaz v textu.

Na zvláštním listě uvádí autor plné jméno (i spoluautorů), akademické, vědecké a pedagogické tituly a podrobnou adresu pracoviště s PSC, číslo telefonu a faxu, popř. e-mail.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Original scientific papers, short communications, and selectively reviews, that means papers based on the study of technical literature and reviewing recent knowledge in the given field, are published in this journal. Published papers are in Czech, Slovak or English. Each manuscript must contain a short and a longer summary (including the key words).

The author is fully responsible for the originality of his paper, for its subject and formal correctness. The author shall make a written declaration that his paper has not been published in any other information source.

The board of editors of this journal will decide on paper publication, with respect to expert opinions, scientific importance, contribution and quality of the paper.

The paper extent shall not exceed 15 typescript pages, including tables, figures and graphs.

Manuscript layout shall correspond to the State Standard ČSN 88 0220 (quarto, 30 lines per page, 60 strokes per line, double-spaced typescript). A PC diskette should be provided with the paper, written in an editor program, preferably T602, and with graphical documentation. Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes.

The **title** of the paper shall not exceed 85 strokes. Subtitles of the papers are not allowed either.

Abstract is an information selection of the contents and conclusions of the paper, it is not a mere description of the paper. It must present all substantial information contained in the paper. It shall not exceed 170 words. It shall be written in full sentences, not in form of keynotes, and comprise base numerical data including statistical data. It must contain key words. It should be submitted in English and if possible also in Czech or Slovak.

Introduction has to present the main reasons why the study was conducted, and the circumstances of the studied problems should be described in a very brief form.

Review of literature should be a short section, containing only literary citations with close relation to the treated problem.

Only original method shall be described, in other cases it is sufficient enough to cite the author of the used method and to mention modifications of this method. This section shall also contain a description of experimental material.

In the section **Results** figures and graphs should be used rather than tables for presentation of quantitative values. A statistical analysis of recorded values should be summarized in tables. This section should not contain either theoretical conclusions or deductions, but only factual data should be presented here.

Discussion contains an evaluation of the study, potential shortcomings are discussed, and the results of the study are confronted with previously published results (only those authors whose studies are in closer relation with the published paper should be cited). The sections Results and Discussion may be presented as one section only.

The citations are arranged alphabetically according to the surname of the first author. References in the text to these citations comprise the author's name and year of publication. Only the papers cited in the text of the study shall be included in the list of references. All citations shall be referred to in the text of the paper.

If any abbreviation is used in the paper, it is necessary to mention its full form at least once to avoid misunderstanding. The abbreviations should not be used in the title of the paper nor in the summary.

The author shall give his full name (and the names of other collaborators), academic, scientific and pedagogic titles, full address of his workplace and postal code, telefon and fax number or e-mail.

OBSAH – CONTENTS

Borůvka L., Kozák J., Křišťoufková S.: Distribution of cadmium, lead and zinc in plants grown on heavily polluted soils – Distribuce kadmia, olova a zinku v rostlinách na silně kontaminovaných půdách.....	249
Královec J., Slavík L.: Přenos olova, kadmia a rtuti v systému půda – rostlina – zvíře – Transfer of lead, cadmium and mercury in the system soil – plant – animal.....	257
Hlušek J., Jůzl M., Zrůst J.: Výnosy brambor a obsahy kadmia, niklu a zinku v hlízách – Potato yields and cadmium, nickel and zinc contents in tubers.....	263
Vaněk V., Najmanová J., Petr J., Němeček R.: Vliv hnojení a vápnění na pH půd a výnosy plodin – The effect of fertilization and liming on pH of soils and crop yields.....	269
Kolek L., Vašák J., Faměra O., Kavka M.: Vliv termínu sklizně na ztráty a kvalitu produkce řepky, pšenice a ječmene – The effect of time of harvest on losses and quality of production of rape, wheat and barley.....	275
Míka V., Bartko A., Nerušil P., Smítal F.: Využití metody NIR pro hodnocení kvality řepky – The use of NIR method for evaluation of the rape quality.....	283
Moravcová J., Staněk J., Čapková J., Loučka R.: Stanovení sacharózy, glukózy a fruktózy v rostlinách kapalinovou chromatografií na silně kyselém iontoměničči – The determination of sucrose, glucose and fructose in plants by ligand-exchange chromatography.....	287
Matula S.: Aplikace zařízení TDR TRIME-FM pro měření vlhkosti půdy v zemědělské praxi – The use of TDR TRIME-FM device to measure soil water content in agricultural practice.....	293
Z VĚDECKÉHO ŽIVOTA – FROM THE SPHERE OF SCIENCE	
Griga M.: Projekt CABINET – Biotechnologie sacharidů u luskovin.....	268