

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

ROSTLINNÁ VÝROBA

Plant Production

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

8

VOLUME 45
PRAHA
SRPEN 1999
ISSN 0370-663X

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření Ministerstva zemědělství České republiky a pod gescí České akademie zemědělských věd

An international journal published under the authorization by the Ministry of Agriculture and under the direction of the Czech Academy of Agricultural Sciences

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 rastlinnej výroby, Piešťany, SR)

Doc. Ing. Jan Moudrý, CSc. (Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice, ČR)

Prof. RNDr. Lubomír Náter, 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 Slavík, 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 výzkumu, studie a analýzy z oblasti rostlinné výroby, především pěstování rostlin, tvorby výnosů plodin, kvality jejich produktů, semenářství, fyziologie rostlin, agrochemie, pedagogie, mikrobiologie, meliorací a agroekologie. 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 45 vychází v roce 1999.

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, Česká republika, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: editor@uzpi.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 1999 je 816 Kč.

Aims and scope: Original scientific papers, results of research, review studies and analyses from the crop production sector, particularly care of crops, crop yield formation, quality of plant products, seed production, plant physiology, agrochemistry, soil science, microbiology and agri-ecology are published in this periodical.

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 45 appearing in 1999.

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, Czech Republic, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: editor@uzpi.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 1999 is 195 USD (Europe), 214 USD (overseas).

MOBILITY OF TRACE ELEMENTS IN SOILS

MOBILITA STOPOVÝCH PRVKŮ V PŮDĚ

E. Podlešáková¹, J. Němeček², Z. Roth³

¹Research Institute for Soil and Water Conservation, Praha, Czech Republic

²Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

³Institute of Public Health, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The mobility of potentially hazardous trace elements of the whole set of 54 representative soil units was determined. The set comprises the main soil forms and types of loads (geogenic, fluvial anthropogenic) in variants with and without pH regulation (liming). Total content ($\text{HClO}_4 + \text{HF} + \text{HNO}_3$), potentially mobilizable (0.025M Na_2EDTA) and mobile species (1M NH_4NO_3 , 0.1M CaCl_2) were set up in 178 samples. Principal statistical data prove that the total set involves samples with a wide range of trace elements contents and factors affecting their mobility. Factor analysis with a very narrow (only pH and trace elements content and absolute and relative values of its mobility), standardized (additionally clay and humus) and the most extended (additionally CEC, free oxides of Fe and Al) choice of variables proved the main features of the group of the following trace elements: Mn, Cd, Co, Zn, Ni (Be). The principal associated feature of the factor analysis of the mentioned elements with two to three extracted factors is the grouping of the values of the effective trace elements mobility and pH (negatively correlated) in the first factor, participation of the mobilizable fraction within the second factor in the narrowest set and the distribution of the whole pool (total, mobilizable) between the second and the third factors. The content of clays, negatively correlated with trace element mobilities, manifests itself very strongly, even on the level of the first factor. It was found that the extension of the set does not provide us with a new additional information. The sum of weight of the first, second and the third factors comprising all principal parameters of trace elements mobility accounts for the elements of this described group 60 to 90% of the total variance, for the first factor 28 to 55%. The behaviour of the other trace elements is more complicated. Some similar features with the mentioned group of elements has Be (negatively pH-dependent mobility). What concerns Pb the first factor correlates only in a set lacking geogenic extremes indirectly with pH. The first factor for Pb, As, Cu, Cr mostly involves both mobile species and trace elements pool without any relation to pH, or in some cases (Cu, As) positive relation to pH.

Keywords: trace elements; conditions of mobility; factor analysis

ABSTRAKT: Byla stanovena mobilita potenciálně rizikových stopových prvků nediferencovaného souboru 54 reprezentativních půdních jednotek, zahrnujících hlavní půdní formy a typy zátěže ve variantách bez vápnění a s vápněním. Ve 178 vzorcích byl stanoven celkový obsah, potenciálně mobilizovatelný podíl a mobilní specie. Základní statistické údaje prokazují, že celkový soubor zahrnuje vzorky se širokým rozmezím obsahu stopových prvků a faktorů ovlivňujících jejich mobilitu. Faktórová analýza s velmi úzkým, standardizovaným a nejširším výběrem vlastností majících vztah k mobilitě stopových prvků prokázala hlavní rysy vztahů u prvků Mn, Cd, Co, Zn, Ni (zčásti i Be). Hlavním společným rysem faktorové analýzy těchto stopových prvků, u kterých byly vyextrahovány dva až tři faktory, je sdružení hodnot efektivní mobility prvků a nepřímě pH v prvním faktoru, u nejužšího souboru zastoupení mobilizovatelné frakce v druhém faktoru, a v ostatních případech veškeré zásoby v druhém faktoru nebo rozdělení zásoby mezi druhý a třetí faktor. Významně se uplatňuje často i na úrovni prvního faktoru obsah jílu, negativně korelující s mobilitou, méně pak humus. Bylo prokázáno, že rozšíření souboru na veškeré údaje ovlivňující mobilitu stopových prvků nepřináší nové informace. Zátěž prvního a druhého, až i třetího faktoru, zahrnující hlavní parametry mobility, činí u prvků této skupiny 60 až 90 % celkové variance. Chování ostatních prvků je složitější. S prvou skupinou má nejbližší rysy Be (nepřímá závislost mobilních specií na pH). Mobilita Pb koreluje (nepřímě) s pH pouze u souboru bez geogenních extrémů. V jiných případech se u Pb i As a Cu spojují mobilní specie i zásoby prvku a humus, bez vztahu k pH. U Cr se malé rozdíly při velmi nízké mobilitě projevují značnými rozdíly mezi soubory.

Klíčová slova: stopové prvky; podmínky mobility; faktorová analýza

INTRODUCTION

Studies of the mobility of hazardous trace elements in soils become a necessary basis for soil loads assessment from the viewpoint of some transfer pathways soil-living

organisms or soil hydrosphere. The old criteria of soil pollution by hazardous trace elements in relation to loading of the other ecological media were based on pure empirical principles in terms of total or pseudototal contents in soils. At present they are substituted by

criteria, which follow from the evaluation of mobile species of trace elements, their bioavailability, transfer into organisms and from the assessment of the ecotoxicological relevancy of organisms loads.

In the first paper dealing with this topic attention was paid to the comprehensive evaluation of single trace elements mobilities. The first step, which should have been the contribution to the indication of bioavailability for plants, was the determination of soil trace elements in weak diluted mineral acids (HCl, HNO₃). This procedure did not lead to any progress, because no relation to bioavailability was found. The solubility is individual for every element and it changes in accordance with the kind of contamination. For example the solubility in 2M HNO₃ (cold) in relation to total content counts for the following trace elements (in average): Cd 82%, As 15%, Cr 8%, Cu 42%, Ni 17%, Pb 55% (Podlešáková, Němeček, 1996b). However, the mentioned solubility depends on the participation of the geogenic form with markedly lower solubility and on the participation of the anthropogenic form with expressively higher solubility. The solubility increases in soils characterized by fluvial contamination, as follows: As to 31%, Cr 23%, Cu 77%, Ni 42%, Pb 72%, Zn 61%. These differences in solubility can be used for identification of the degree of the anthropic influence, but also for identification of geogenic loads. Geogenic loads with Cr, Ni, Mn but also Pb, Zn, Cu are characterized by high concentrations but low solubilities (Němeček et al., 1995; Podlešáková, Němeček, 1996b). The results of the extract with 1.5M HNO₃ (boiling) in relation to the total content were used for the identification of anthropogenic contamination with Cu, Ni, Pb, Zn (Steiger et al., 1985).

In the next period the methods were developed for the determination of trace elements, which made use of unbuffered diluted solutions of neutral salts or complex forming substances. Their use reflects the fact that the most mobile fractions of hazardous elements occur in soils in sorbed form or as complexes (Hornburg, Brümmer, 1993). Specific procedures for mobility determination of single trace elements or a group of trace elements were often developed in connection with experiments with their plant uptake (Adriano, 1986; Kabata-Pendias, Pendias, 1992; Davies, 1992 etc.).

The development of methods for the determination of mobilities of the extended set of trace elements focused in the last 15 years on the sequential analysis (Zeilen, Brümmer, 1989) and its application (Němeček et al., 1998) and on the simplified procedure for determining the most available fractions – the potentially mobilizable and mobile ones. They all aim at the prediction of the trace element uptake by plants. Experiments were made with 0.1M NaNO₃ (Gupta, Häni, 1981), 0.01 to 0.1M CaCl₂ (Styperek, Sauerbeck, 1985; Houba et al., 1990; Novozámský et al., 1991) and 0.1 to 1M NH₄NO₃. The generally used extraction method nowadays in Germany is 1M NH₄NO₃ (Prüß et al., 1991; Hornburg, 1993; Hornburg et al., 1993; Thiele, Brümmer, 1993; Prüß, 1995) for the determination of the effective mobile fraction in combination with the determination of the potentially mobilizable fraction in 0.025M Na₂EDTA or DTPA. The indirectly pH-dependent mobility of some elements enable us (Brümmer et al., 1991) to predict the content of mobile species from pH and the total content (Cd, Cu, Pb) or pH and potentially mobilizable fraction (Mn, Zn). Dependence of relative mobility of trace elements upon pH (Cd > Mn > Zn > Ni

I. Basic statistical data concerning content of trace elements, their mobile and mobilizable fractions and their percentage in the total content; data from samples used in pot experiments in mg.kg⁻¹ (n = 162)

Fraction	Statistics	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	Cu	Cr	V	As
TO	GM	755	0.65	14.45	147	25.35	2.62	55.8	32.3	77.8	83.2	33.2
	max	4 246	6.08	192	736	359	7.85	231	432	562	200	3 020
ED	GM	195	0.26	3.13	24.8	4.00	0.02	27.3	8.28	0.40	10.9	1.51
	max	1 432	3.06	74	421	157	0.13	159	402	26.0	31.7	22.4
MN	GM	4.41	0.02	0.03	0.28	0.04	< 0.01	0.11	0.12	0.01	0.14	0.06
	max	218.8	0.33	5.50	14.49	4.80	0.08	1.26	2.06	0.04	1.47	1.74
MC	GM	5.89	0.02	0.03	0.29	0.08	< 0.01	0.06	0.10	0.01	0.25	0.07
	max	272.9	0.41	3.62	9.25	1.09	0.05	3.99	0.69	1.00	0.63	0.62
% ED/TO	GM	26	40	22	17	16	1	49	26	1	13	5
	max	100	100	60	88	65	14	96	100	37	33	33
% MN/TO	GM	1	4	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	4	< 1	< 1	< 1
	max	22	56	8	9	11	1	1	35	1	1	1
% MC/TO	GM	1	3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	3	< 1	< 1	< 1
	max	22	51	5	8	3	1	9	16	1	1	2
% MN/ED	GM	2	9	1	1	1	4	< 1	14	3	1	4
	max	100	100	63	100	40	100	3	100	15	12	39
% MC/ED	GM	3	6	1	1	2	13	< 1	12	4	2	5
	max	100	100	64	76	50	100	17	100	15	10	45

>> Cr, As) and of mobilizable fraction on pH (Cd > Mn > Zn > Ni > Cu > Cr > Pb) was described (Thiele, Brümmer, 1993). The relations between the mobile and mobilizable fraction are used for the differentiation of anthropogenic and geogenic loads (Koch, Gruppe, 1993; Welp et al., 1995). Průeß (1995) shows even the background values in terms of mobile species.

MATERIAL AND METHODS

The selection of samples from Ap horizons of agriculturally used soil for studies of trace elements mobility was based on findings of regional investigations of soil contamination and geogenic loads. 54 samples were used for research of trace elements mobilities and simultaneously for their transfer into testing plants. The samples involve Arenosols, Luvisols, Stagnosols, Cambisols, Podzols (cambic) and Fluvisols from typical parent materials, what concerns Cambisols also from geogenic extremes. The samples represent a wide range of soil properties values: pH 3.8 to 7.4, clay content (< 1 µm)

4 to 30%, content of clay + fine and middle silt (< 10 µm) 12 to 59%, C_{ox} 0.8 to 4.2%, CEC 70 to 240 mmol(+).kg⁻¹, free Fe oxides 0.2 to 1.6%, free Al oxides 0.2 to 1.1%, Fe activity ($Fe_0/Fe_d \cdot 100$) 20 to 60%.

In samples without pH regulation and with pH regulation the following characteristics were determined in twofold repeating:

- total content (TO) of trace elements (after destruction with HF + HClO₄ + HNO₃)
- content of potentially mobilizable (ED) fraction (0.025M Na₂EDTA)
- content of mobile fraction (1M NH₄NO₃; 0.01M CaCl₂ – MN, MC)
- exchangeable pH (pH in 0.1M KCl)
- soil texture (pipette method)
- CEC (Mehlich)
- free amorphous Fe and Al oxides (acid oxalate)
- content of the total free Fe (Coffin)

The results were processed by usual statistical procedures (geometric means, standard deviation) and correlation analysis. The principal statistical treatment was processed by means of factor analysis after logarithmic

II. Factor analysis of data concerning the mobility of trace elements in dependence upon their total content and the extended choice of factors; extended choice of mobility factors after ln transformation, without plants, Varimax rotation, $n = 54$ (samples from pot experiments)

Factor loads F1, F2, (F3), [F4]											
Properties	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	As	Cu	Cr	V
pH	-0.938	-0.934	-0.911	-0.926	-0.912	-0.889	-0.830	-0.914	0.875	-0.521 (0.576)	0.641 -0.632
MC	0.848	0.883	0.761	0.847	0.561 0.670	0.828	0.521	0.724	0.826	(0.678)	0.716
MN	0.878	0.850	0.746	0.861	0.641 0.634	0.885	0.745	0.839	0.787	(0.424)	[0.612]
ED	0.932	0.902	0.916	(0.867)	0.831	0.420 0.669	0.909	0.926	0.911	(0.800)	0.759 0.463
TO	0.866	0.841	0.910	0.367 (0.654)	0.807	0.660	0.793	0.870	0.581 [-0.573]	-0.600 (0.526)	(0.459) [0.691]
C_{ox}	0.821	0.682	0.646	0.781	0.700	(-0.490)	0.800	0.695	0.771	[0.844]	0.773
< 1 µm	-0.678 (0.646)	-0.693 (0.622)	-0.680 (0.649)	-0.667 0.657	-0.698 0.642	-0.625 0.691	-0.511 (0.698)	-0.651 (0.644)	0.768 (0.533)	0.878	0.714 (0.463)
< 10 µm	-0.440 (0.846)	-0.476 (0.813)	-0.446 (0.842)	0.858	0.432 0.853	-0.417 0.849	(0.860)	-0.423 (0.833)	0.579 (0.746)	0.943	0.505 0.699
CEC	0.921	(0.936)	(0.992)	0.902	(0.921)	0.819	(0.904)	[0.931]	(0.953)	0.712	(0.945)
Fe_0	0.577 [0.757]	0.541 [0.791]	0.567 [0.766]	0.556 [0.779]	0.557 [0.778]	0.571 0.713	0.539 [0.783]	0.627 [0.734]	-0.599 [0.742]	0.918	0.946
Fe_0/Fe_d	[0.971]	[0.943]	[0.971]	[0.951]	[0.963]	(0.863)	[0.966]	[0.937]	[0.935]	0.834 (0.411)	0.707
Al_0	0.795	0.763	0.812	0.772	0.781	0.719	0.839	0.836	-0.841	-0.426 0.536	0.755
Loads % F1	37.0	33.7	30.9	33.5	28.6	36.8	23.3	28.9	26.2	21.7	22.7
Loads % F2	20.1	18.7	22.8	18.2	22.9	20.8	21.8	22.4	25.4	21.6	22.1
Loads % F3	(16.0)	(17.1)	(17.2)	(12.2)	(17.5)	(13.7)	(18.7)	(17.8)	(16.2)	(20.4)	(16.3)
Loads % F4	[12.7]	[14.1]	[13.7]	[14.3]	[14.5]		[13.5]	[13.5]	[15.3]	[12.5]	[14.5]

(ln) transformation of all values. The principal component analysis was used for the extraction of factors. It takes further into account only eigenvalues > 1. Orthogonal Varimax rotation was performed. To every table of factor analyses belongs a table of communalities, which gives information about the participation of common factors on the variability of some variable. In our paper only some tables of communalities are given.

In this paper the results of the processing of the whole, undifferentiated set of data, are presented.

RESULTS AND DISCUSSION

Elementary statistical data of the whole investigated set (Tab. I) prove that the selection of samples from the agriculturally used soils with realistic soil loads comprises not only samples characterized by the contamination (exceeding the upper limit of background variability), but also samples in which maximum permissible limits of the Ministry of Environment regulation No 13/1994 are surpassed and cases when some elements (As, Cr, Ni) exceed even the limits of the direct threat of human health in residence areas (Bulletin of the Ministry of Agriculture, 1996). But this viewpoint applies only when we formally keep in mind official regulations, which do not take into account geogenic extremes. The highest relative share of the potentially mobilizable

fraction (ED/TO) is found in mean and maximum values in the following sequence of elements: Cd, Mn, Cu, Pb > Zn, Ni, Co. The lowest ED/TO values show V, As > Be, Cr. The highest relative values of mobile species indicate Cd >> Mn, the lowest Cr. When we use the relation of mobile to mobilizable fraction Cd > Mn are on the first order place, followed by Zn, Ni and Co. But high share show in this case also elements, characterized by low content of mobilizable fraction – Be, As, Cr. These facts are in correspondence with the specific features of trace elements bonds in soils, characterized by Zeilen, Brümmer (1991) and in soils of the Czech Republic by Němeček et al. (1998).

Tabs II to VII present results of the factor analysis of the whole, undifferentiated set of data. This set includes in addition to the total content of trace elements, the content of potentially mobilizable and mobile species of trace elements either a very expanded (Tab. II) or maximally restricted (Tabs III, IV) or for further evaluations standardized set of variables, affecting the mobility of trace elements (Tabs V, VI, VII).

The most general feature of relations, which are derived from the factor analysis of an undifferentiated set is the fact, that Mn, Cd, Co, Zn, Ni (and to some degree also Be or Pb) are characterized by the first factor, which can be interpreted as the factor of negatively pH-dependent effective mobility of trace elements and the second or the third factor, which reflect the total and

III. Factor analysis of data concerning absolute and relative mobility and total content of trace elements (pot experiment, data set lacking plants); choice of mobility factors is restricted to pH; after ln transformation and Varimax rotation, $n = 162$ (samples from pot experiments)

Factor loads F1, F2, (F3), [F4] > 0.4											
Properties	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	As	Cu	Cr	V
pH	-0.925	-0.864	-0.861	-0.856	-0.702	-0.877	(-0.806)	0.592	(0.757)	-0.402	0.593
MC	0.934	0.876	0.931	0.890	0.754	0.847	0.918	[0.982]	0.912	(0.964)	0.909
MN	0.945	0.828	0.852	0.848	0.738	0.963	(0.864)	(0.687)	0.694	0.439	(0.942)
								[0.610]	(0.477)	[0.403]	
ED	0.731 (0.628)	0.794 (0.567)	0.859 (0.501)	0.842 (0.514)	0.796 (0.587)	0.982	0.966	-0.591 (0.547)	0.895	0.913	0.941
TO	(0.958)	0.947	0.849	(0.897)	0.881	(-0.914)	0.903	-0.696	0.828	-0.908	[0.986]
								[0.507]	-0.404		
ED/TO	0.989	(0.933)	-0.942	0.971	0.969	0.675 (0.730)	0.561	0.784	0.508	0.934	0.946
						(0.826)	-0.404	0.816	0.899	0.841	0.900
							0.888	(-0.551)		(0.468)	
MN/TO	0.956	0.884	0.913	0.886	0.908	0.900	-0.847	0.860	0.789	0.938	(0.959)
								0.408	(0.550)		
MC/ED	0.875	0.849	0.773	0.797	0.559	0.526	-0.600	0.681	-0.513	-0.896	0.909
			-0.550		-0.652	-0.800	0.772	(-0.660)	(-0.742)		
MN/ED	0.907	0.833	0.786	0.805	0.683	0.871	-0.898	0.988	-0.409	-0.896	(0.878)
			-0.581	-0.510	-0.700				0.639		
Loads % F1	54.7	47.4	47.3	46.9	36.6	41.4	43.1	26.7	36.5	34.9	25.8
Loads % F2	17.4	22.9	22.7	20.6	25.3	21.4	21.2	21.8	23.5	27.6	25.8
Loads % F3	(16.8)	(14.3)	(16.2)	(17.0)	(21.8)	(19.8)	(17.3)	(21.1)	(20.6)	(15.2)	(23.9)

IV. Communalities to the factor analysis given in Tab. V

Communalities											
Properties	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	As	Cu	Cr	V
pH	0.901	0.757	0.757	0.800	0.608	0.779	0.656	0.387	0.597	0.314	0.383
MC	0.888	0.834	0.910	0.847	0.762	0.726	0.976	0.971	0.930	0.934	0.977
MN	0.934	0.843	0.940	0.869	0.910	0.939	0.753	0.941	0.876	0.381	0.989
ED	0.946	0.969	0.996	0.976	0.987	0.976	0.949	0.986	0.984	0.985	0.963
TO	0.930	0.922	0.849	0.816	0.903	0.950	0.921	0.990	0.849	0.969	0.996
ED/TO	0.991	0.987	0.918	0.960	0.953	0.996	0.486	0.963	0.826	0.971	0.967
MC/TO	0.919	0.889	0.918	0.898	0.926	0.940	0.982	0.971	0.817	0.972	0.973
MN/TO	0.928	0.831	0.905	0.809	0.859	0.896	0.827	0.911	0.943	0.910	0.988
MC/ED	0.925	0.886	0.948	0.864	0.896	0.920	0.956	0.937	0.913	0.989	0.959
MN/ED	0.943	0.877	0.962	0.912	0.957	0.924	0.976	0.985	0.578	0.921	0.998

V. Factor analysis of data concerning the mobility of trace elements, their total content and main factors of their mobility (pH, soil texture, humus), without plants, after ln transformation and Varimax rotation, $n = 84$ (samples from the pot experiments, unlimed variants)

Factor loads F1, F2, (F3)											
Properties	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	As	Cu	Cr	
pH	-0.938	-0.854	-0.875	-0.863	-0.691	-0.895	0.836	0.731	0.722	0.550	0.647
MC	0.883	0.894	0.890	0.866	0.720	0.822	0.567	0.753	0.899	0.694	
MN	0.962	0.828	0.904	0.859	0.782	0.891	-0.648	0.816	0.864	0.768	
ED	0.902	0.902	0.925	0.881	0.919	(0.830)	0.898	0.886	0.951	0.839	
TO	0.792	0.913	0.902	0.835	0.895	0.422	0.823	0.749	0.785	0.818	
C _{ox}	0.702	0.704	0.431 (-0.586)	0.705	0.611	-0.631 (0.509)	0.773	0.537	0.663	0.476	
< 1 μm	(0.863)	-0.805	(0.795)	-0.816	-0.862	0.812	-0.413	0.900	0.922	0.941	
< 10 μm	(0.938)	-0.671	(0.854)	-0.654	-0.759	0.868	-0.428	0.837	0.854	0.874	
Loads % F1	35.1	42.0	34.1	43.0	38.6	34.5	34.8	36.8	46.7	37.6	
Loads % F2	24.9	30.6	25.4	28.2	32.6	24.1	32.5	28.5	27.7	27.9	
Loads % F3						(17.5)					

mobilizable pool of elements. Therefore we are firstly dealing comprehensively with this group of potentially hazardous trace elements.

Results of the factor analysis, which comprises the widest set of variables affecting the mobility of trace elements are given in Tab. II. This set involves in comparison with the others additionally the values of CEC, of the content of amorphous free Fe and Al oxides and the relation of the amorphous fraction to the total content of nonsilicate Fe (Fe_0/Fe_d), often called Fe activity. The two factors explain in this wide set of variables 50 to 57% of the total variation. The first factor, which participation in the above mentioned group of trace elements counts for 29 to 37% in total variance, associates in the same group mobile species, pH (indirectly) and Al_0 , to some extend also Fe_0 . Variables showing maxi-

mum correlation with the second factor involve potentially mobilizable species and the total content (only Zn is shifting to the third factor) and except of this also humus and what concerns Zn and Ni also clays (negatively).

When we restrict the selection of factors affecting the elements mobility only on their total content, mobile and mobilizable fractions we obtain results given in Tab. III. The three extracted factors, which are restricted only on trace elements (contents, relative values) and pH explain in the mentioned group of elements 84 to 89% of the whole variation. The first factor becomes for the studied group of elements (including Be) the factor of the negatively pH-dependent effective mobility in absolute values (MN, MC) and also in relative values (MN/TO, MC/TO). The first factor accounts for

VI. Communalities to the factor analysis given in Tab. V

Communalities										
Properties	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	As	Cu	Cr
pH	0.945	0.872	0.856	0.879	0.743	0.848	0.708	0.537	0.675	0.721
MC	0.884	0.810	0.887	0.770	0.672	0.748		0.571	0.808	0.484
MN	0.955	0.697	0.907	0.743	0.752	0.841		0.764	0.759	0.605
ED	0.848	0.814	0.865	0.800	0.860	0.741		0.788	0.920	0.704
TO	0.647	0.845	0.865	0.736	0.801	0.494	0.808	0.682	0.647	0.703
C _{ox}	0.549	0.532	0.539	0.547	0.521	0.732	0.601	0.300	0.493	0.338
< 1 μm	0.893	0.689	0.859	0.704	0.766	0.822	0.751	0.858	0.871	0.886
< 10 μm	0.918	0.550	0.819	0.517	0.577	0.863	0.645	0.730	0.774	0.796

VII. Factor analysis of data concerning the mobility of trace elements, their total content and main factors of their mobility (pH, soil texture, humus), without plants, after ln transformation and Varimax rotation, $n = 178$ (samples from the pot experiment, limed and unlimed variants)

Factor loads F1, F2, (F3)										
Properties	Mn	Cd	Co	Zn	Ni	Be	Pb	As	Cu	Cr
pH	-0.895	-0.804	-0.857	-0.836	(0.814)	-0.857	(0.757)	(0.818)	0.469 (0.660)	(0.630)
Limed	-0.607	-0.675	-0.596	-0.660	(0.677)	-0.554	(0.717)	(0.765)	(0.892)	(0.919)
MC	0.859	0.831	0.844	0.766	0.608	0.783	0.648	0.767	0.860	0.507
MN	0.921	0.819	0.817	0.850	0.604	0.878	(-0.715)	0.792	0.851	0.758
ED	(0.883)	0.906	(0.913)	0.882	0.865	(0.789)	0.825	0.868	0.959	0.835
TO	(0.809)	0.901	(0.923)	0.819	0.864	(0.651)	0.788 (-0.427)	0.845	0.786	0.741
C _{ox}	(0.659)	0.678	-0.456	0.710	0.555	-0.439 (0.545)	0.739	-0.434	0.664	0.481
< 1 μm	0.905	(0.901)	0.888	(0.892)	0.923	0.896 0.896	0.883	0.895	0.934	0.936
< 10 μm	0.917	(0.899)	0.903	(0.897)	0.911	0.933 0.933	0.885	0.919	0.915	0.924
Loads % F1	31.3	28.1	28.4	28.1	28.8	28.7	27.7	30.6	39.5	27.5
Loads % F2	23.0	25.9	23.4	24.2	24.6	22.7	23.2	23.1	22.5	20.7
Loads % F3	(21.1)	(22.3)	(21.9)	(23.2)	(19.6)	(15.9)	(18.3)	(15.4)	(14.4)	(12.8)

36 to 55% of variance. The second factor is for the most part a factor of potential mobility, what concerns Cd, Co, Ni also of total content and for all elements except of Cd also factor of a relative values of mobilizable fraction. The second and third factors taken together reflect total and potentially mobilizable pool. These facts support our approach to the prediction of mobile species from the restricted parameters of trace elements (TO, ED, MN – MC) and pH, which is being published separately (Němeček et al., 1996). Communalities to factor analysis of the narrow set of variables show (Tab. IV) for the mentioned group of elements high weights for all characteristics. This gives evidence that their variance is explained by the three factors in a significant degree.

Tab. V, VI present the factor analysis of sets with a standardized participation of characteristics. Besides the total content, the content of the potentially mobi-

lizable and of both mobile fractions in this set involves pH, texture and humus content. This set of characteristics has two versions: without limed variants and with limed variants of acid soils. The set lacking pH regulation reflects again very markedly the first mentioned group of trace elements (Mn, Cd, Co, Zn, Ni). This fact is reflected first of all in a distribution of variables distribution between the first and second factors (weights of $F_1 + F_2$ 59 to 73%) in the following way:

- F_1 associates pH-negatively-dependent mobilities (more complicated only in case of Ni) and indirectly clay-dependent mobilities for Cd, Ni, Zn
- F_2 associated potentially mobilizable and total contents with the participation of C_{ox}

Negative dependence of mobilities on texture, which manifest themselves in the weight of the first factor in case of Cd, Zn, Ni, was confirmed also in sequential analyses (1988) and in experiments with simulated loads

of samples. Liming weakened the relation of pH to mobile species of Ni and the first factor becomes then the factor of the effective and potential mobility, with similar participation in the whole variance as shows the pH-dependent mobility of the other elements, which expressively declined when compared with the unlimed set. Liming showed itself in weakening of relations of mobile species to clay content.

Comunalities (Tabs IV, VI) provide us with informations about the participation of common factors on the variance of a certain variable. We can make a general statement that values of communalities are high (> 0.7) both in cases of analyzed sets with different extension and in case of single trace elements. Decreased values show most often C_{ox} , but at least one of the mobile species of Ni, Pb, As, Cr, V, but also pH in case of Pb, As, Cu, Cr, V and total content of Be. High values of communality of main variables affecting markedly the mobility of trace elements Mn, Cd, Co, Zn, Ni (it means of total content, mobilizable fraction and pH, but also of clay content) and high values of mobile species too give evidence of favorable conditions for the prediction of mobilities based on the mentioned parameters.

The behavior of the other trace elements is much more complicated. Be, the mobilizable fraction of which is very low, is characterized by negatively pH-dependent mobility. The first factor associates in a standardized set of variables in addition to mobile species also the trace element pool. What concerns Pb, only in a set lacking geogenic extremes the first factor correlates with mobility (MN), indirectly with pH and partly clay content. In this case the second factor associates the pool of the element and humus. In the other cases the relation to pH diminishes and first factor correlates then with the pool of the element, humus, with some of the mobile fractions and indirectly with clay. Similar behavior is found for copper, but in some combinations the first factor involves pH in direct relation. The same applies for As, but in the most restricted set the first factor associates directly pH in relation to relative mobilities. For As, Cu, Cr is the first factor correlated with mobilities, but not with clay. Cr shows great difference among sets due to low values of mobile species.

Concluding the contribution we have to repeat the statement about the similar behavior of trace elements Mn, Cd, Co, Zn, Ni and individual behavior of the rest of investigated elements. In respect to the fact that different relations in undifferentiated sets, distinguished by the range of variables, can be affected by specific features of soil loads, we restricted in further studies our attention on standardized sets and focused the evaluation on a consequent subdivision of sets in accordance with the specificity of loads (geogenic, anthropogenic).

REFERENCES

- Adriano D. C. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. New York, Springer Verlag. 533 pp.
- Brümmer G. W., Hornburg V., Hiller D. A. (1991): Schwermetallbelastung von Böden. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 63: 31–42.
- Davies B. (1992): Trace metals in the environment. Retrospect and prospect. In: Adriano D. C. (ed.): Biochemistry of trace metals: 1–17.
- Gupta S., Häni H. (1981): Einfluß von leicht extrahierbaren Boden – Cd auf die Reaktion verschiedener Testpflanzen (unter spezieller Berücksichtigung der Wurzel austauschkapazität) und einige mikrobiologische Parameter. Korresp. Abwass., 4 (28): 211–213.
- Hornburg V. (1993): Prognose des Verhaltens von Schwermetallen in Böden auf Grundlage der BK 50 DIG NR W. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 72: 369–372.
- Hornburg V., Brümmer G. W. (1993): Verhalten von Schwermetallen in Böden I. Untersuchungen zur Schwermetallmobilität. Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkde, 156: 467–477.
- Hornburg V., Welp G., Brümmer G. W. (1993): $CaCl_2$ und NH_4NO_3 extrahierbare Schwermetallgehalte in Böden ein Methodenvergleich. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 72: 373–376.
- Houba V. J. G., Novozamsky I., Lexmond Th. M., Lee J. J. van (1990): Applicability of 0.01M $CaCl_2$ As a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. Commun. Soil Sci. Pl. Anal., 21: 2281–2290.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (1992): Trace elements in soils and plants. Boca Raton, CRC Press. 365 pp.
- Koch D., Gruppe M. (1993): Mobilität von Schwermetallen geogener/anthropogener Herkunft. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 72: 385–388.
- Němeček J., Podlešáková E., Pastuszková M. (1995): Pozadové obsahy potenciálně rizikových prvků v půdách ČR (obsahy v extraktu 2M HNO_3). Rostl. Vyr., 41 (1): 25–29.
- Němeček J., Podlešáková E., Pastuszková M. (1998): Použití sekvenční analýzy ke stanovení vazeb stopových prvků v půdách. Rostl. Vyr., 44 (5): 203–207.
- Němeček J., Podlešáková E., Vácha R. (1996): Geochemické a antropogenní zatížení půd. Rostl. Vyr., 42 (12): 535–541.
- Novozámský I., Lexmond Th. M., Houba V. J. H. (1991): Single extraction of soil with 0.01M $CaCl_2$ for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. J. Envir. Anal. Chem.
- Podlešáková E., Němeček J. (1996a): Kritéria kontaminace a intoxikace půd. Rostl. Vyr., 42 (8): 357–364.
- Podlešáková E., Němeček J. (1996b): Upřesnění limitů rizikových látek v půdě. Rešerše a návrhy pro MŽP. [Zpráva.] Praha, VÚMOP.
- Prüß A. (1995): Hintergrundwerte für Spurenelemente in Böden verbreiteter Substratesamtgehalte und mobile Anteile. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 76: 1461–1464.
- Prüß A., Turian G., Schveikle V. (1991): Abteilung kritischer Gehalte an NH_4NO_3 extrahierbaren ökotoxikologisch relevanten – Spurenelementen in Böden SW-Deutschlands. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 66: 385–388.
- Steiger K., Machelett B., Podlesak W. (1985): Vergleich von Aufschuss und Extraktionsverfahren zur Ermittlung des Gehaltes von Kupfer, Zink, Cadmium, Blei und Nickel in

- Böden unterschiedlicher anthropogener Belastung. Bodenkultur, 36: 99–107.
- Styperek P. von, Sauerbeck D. (1985): Eignung von chemischen Extraktionsverfahren zur Abschätzung des pflanzenverfügbaren Cd und Zn in verschiedenen Böden und Substraten. Landwirtsch. Forsch., 37, Sonderheft 41 (Kongreßband): 471–486.
- Thiele S., Brümmer G. W. (1993): Bestimmung der mobilen Fraktionen ausgewählter Elemente (Cd, Ni, Co, Cr, As) in Oberböden durch CaCl_2 und NH_4NO_3 Extraktion. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 72: 1313–1316.
- Welp G., Hamer M., Brümmer G. W., Lichtfu R. (1995): Mobilität und Bindungsformen von Cd, Cr, As and V in Böden unterschiedlicher Belastung. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 76: 487–490.
- Zeilen H., Brümmer G. W. (1989): Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 59: 505–510.
- Zeilen H., Brümmer G. W. (1991): Ermittlung der Mobilität und Bindungsformen von Schwermetallen in Böden mittels sequentieller Extraktion. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 66 (1): 439–442.

Received on March 25, 1999

Contact Address:

Ing. Eliška Podlešáková, CSc., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5-Zbraslav, Česká republika, tel.: 02/57 92 16 40, fax: 02/57 92 21 39

POSSIBILITIES OF THE PREDICTION OF TRACE ELEMENTS MOBILITY IN SOILS

MOŽNOSTI PREDIKCE MOBILITY STOPOVÝCH PRVKŮ V PŮDĚ

J. Němeček¹, E. Podlešáková², Z. Roth³

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

²*Research Institute for Soil and Water Conservation, Praha, Czech Republic*

³*Institute of Public Health, Praha, Czech Republic*

ABSTRACT: It has been proved that we can make predictions of the contents of mobile species of trace elements, based on multiple regression analysis from a limited number of variables. Prediction equations of the mobile fraction soluble in 1M NH_4NO_3 reflect in the simplest form the (indirect) dependence upon pH and total content (Cd, Co, Ni, Be) or potentially mobilizable fraction (Mn, Zn). For other trace elements the prediction equation comprises total and mobilizable contents (Cr, Cu) or pH (directly) and either potentially mobilizable (Cu) or total content (As). Similar results have been obtained for the prediction of mobile species in 0.1M CaCl_2 . The complexity and possibility of deriving the prediction equation depends upon the participation of geogenic extremes and severe anthropogenic contamination and measures taken for pH regulation in the analysed set of samples.

Keywords: trace elements; mobile species; prediction equations; multiple regression analysis

ABSTRAKT: Byla prokázána možnost predikce obsahu mobilních specií stopových prvků vícenásobnou regresní analýzou z omezeného počtu proměnných. Rovnice predikce mobilní frakce rozpustné v 1M NH_4NO_3 odrážejí v nejjednodušší formě závislost rozpustnosti na pH (nepřímou) a na celkovém obsahu (Cd, Co, Ni, Be) či na obsahu potenciálně mobilizovatelné frakce (Mn, Zn). U ostatních prvků zahrnuje predikční rovnice celkové a mobilizovatelné obsahy (Cr, Cu) nebo pH (přímou) a buď potenciálně mobilizovatelný (Cu), nebo celkový obsah (As). Podobné výsledky byly získány pro predikci mobilní frakce rozpustné v 0,01M CaCl_2 . Složitost a možnost odvození predikční rovnice závisí na podílu geogenních extrémů či výrazné antropogenní kontaminaci a provedeném vápnění v souboru analyzovaných vzorků.

Klíčová slova: stopové prvky; mobilní specie; predikční rovnice; vícenásobná regresní analýza

INTRODUCTION

The first step in the prediction of transfer of potentially trace elements into plants (bioavailability) is the possibility to derive the general regularities of their mobility in soils.

We have been dealing (Podlešáková, Němeček, 1999) with factors determining the mobility of single trace elements (TEs) in soils. After we had made analysis of all most often investigated factors, which affect the mobility of hazardous elements (total, content of trace elements, content of potentially mobilizable fraction, pH, clay, humus, CEC, content of free Fe and Al), we have come to the conclusion, that it is not only possible, but even necessary to focus on limited set of variables, creating conditions of TE's mobility. The mentioned limited set involves apart of TE's pool (total, potentially mobilizable TE's contents) pH, clay and humus.

It turns out that the very important factor of TE's mobility is the difference between the geogenic (lithogenic, chalcogenic, pedogenic) fraction, which is more strongly bound in soils and anthropogenic fraction with

significantly increased potential mobility (Kunze et al., 1991). The mentioned forms of soil loads manifest themselves in an extreme manner in soils with extreme geogenic loads (mafic, ultramafic parent materials, metallogenically affected materials) and on the other and in fluvial anthropogenic loads.

Brümmer et al. (1991) showed that the prediction of the effective mobility for some TE's can be derived from relations between total content (Cd, Cu, Pb) and pH or between pH and the potentially mobilizable fraction (Mn, Zn).

Taking into account these facts led us to paying attention to prediction purposes of the effective mobility only to its dependence upon the total TE's content, its potentially mobilizable fraction and the pH.

MATERIAL AND METHODS

A set of 54 samples of representative soil of the Czech Republic, which have been used for pot experiments with transfer of hazardous elements into test crops

and 42 samples from field investigation has been analysed. This set involves Arenosols, Luvisols, Stagnosols, Cambisols, Podzols and Fluvisols.

In these samples the following values were determined in repeated variants with pH regulation (liming to pH 6.5) and without pH regulation:

- total content of trace elements (TO) after decomposition in $\text{HClO}_4 + \text{HF} + \text{HNO}_3$
- content of potentially mobilizable (ED) fraction (extraction in 0.025M Na_2EDTA)
- content of mobile fractions after extractions in 1M NH_4NO_3 (MN) and 0.01M CaCl_2 (MC)
- exchangeable pH (in 0.1M KCl)

Multiple regression analysis was used to derive (from total, potentially mobilizable pool of TEs and pH as independent variables) relations to the dependent variable, i.e. mobile species from the data obtained by the mentioned analytical procedures after elimination of extreme outliers and the \ln transformation of data. The calculations were made for 1M NH_4NO_3 (MN) and also for 0.01M CaCl_2 (MC). We present an example of calculated values of the coefficients of the regression equation and testing of their significance ($\text{sig } t < 0.05$) for mobile species of Zn in 1M NH_4NO_3 .

RESULTS AND DISCUSSION

Tab. I presents prediction equations of TEs mobilities, which derive the content of mobile fraction of TEs soluble in 1M NH_4NO_3 from relations among the total content, potentially mobilizable pools of TEs and pH.

What concerns manganese, optimal prediction of the mobile fraction can be derived from the content of potentially mobilizable pool and pH. Subsets do not affect the general type of relations. The increase of the B coefficient for ED is evidently given by the great share of acid soils in the set lacking liming.

Cadmium, the geogenic anomalies of which are not taken into consideration due to the small participation within the set, shows differences in the type of the expression of relations and in the differentiation in accordance with the set and its affecting by liming. The most simple relations, which follow from the total content and pH, indicates an unlimed subset from the pot experiment, in which fluvial extremes are lacking. Even the liming does not affect them in such a manner as the heterogeneity of the set involving pot experiment and field investigations. In the evaluation of the total set, manifested itself the potentially mobilizable pool, the practical use of which is less preferable for Cd to the total content. Liming complicates relations in the whole set.

The most simple relations for zinc are derived for the samples from pot experiments. Only ED and pH make their presence felt. Liming and expanding of the set makes the relation more complicated because the total content participates additionally in the relation.

Simpler relations for cobalt are derived from the total content and pH in the most homogeneous set lacking extremes and in the whole set of pot experiment without liming. Extending of the set and liming introduces into the prediction equation also potentially mobilizable form.

The simplest relations for nickel were derived in the most homogenous sets lacking extremes, namely between the total content and pH (and between the potentially mobilizable fraction and pH for limed soils lacking geogenic anomalies). The extension of the set and also liming has again the influence on the complication of relations.

The last of the elements, which are characterized by the pH-negatively-dependent mobility on the TEs pool, is beryllium. In the most narrow set, lacking all extremes, manifest themselves the potentially mobilizable pool and pH. In the whole set mobility is affected by pH and the total content. Liming complicates relations in the purest set.

Afterwards follow elements, the mobility of which does not depend in lesser extent upon the pH. For lead no predictions could be found. For chromium relations were derived for extended sets, in which only total content and potentially mobilizable content occur. Liming affects relations in a small degree, geogenic anomalies make themselves felt.

Dependent variable: MN_{Zn} – mobile species of Zn

Independent variables	B	$SE B$	t	$\text{sig } t$
ED_{Zn}	0.535	0.154	3.461	0.001
pH	-1.662	0.121	13.629	0.001
c	7.127	0.686	10.379	0.001

B = coefficients of the regression equation

$SE B$ = mean error of coefficients

t = value of the t -test

$\text{sig } t$ = significance with the limit < 0.05

Hereafter we present results of the multiple regression analyses in case when coefficients B next are significant and therefore $\text{sig } t < 0.05$. They are displayed in form of regression equations. The above-mentioned example reflects the relation $\ln \text{MN}_{\text{Zn}} = 0.535 \ln \text{ED} - 1.662 \text{pH} + 7.127$.

Considering the expressive affecting of relations due to the representation of soils characterized by geogenic and anthropogenic fluvial extremes (and extent of the set) the relations were calculated except of the whole set also for subsets:

- lacking geogenic anomalies and fluvial extremes
- lacking geogenic anomalies

The further differentiation is given by the extent of two subsets, involving samples from unlimed variants of the pot experiment (E), samples from the pot experiments and field investigations (E + T) and samples from the pot experiment which include both limed and unlimed variants. For the interpretation of results of the mobilities prediction it is naturally not important whether samples originate from pot experiments or field investigations.

I. Prediction of the mobility of trace elements (1M NH₄NO₃), derived from total contents, contents of potentially mobilizable fraction and pH by multiple regression analysis

Element	Set without geogenic anomalies and fluvial extremes	Set without geogenic anomalies	The whole set
Mn	E ln MN = 0.610 ln ED - 1.601 pH + 8.363 [56]	ln MN = 0.521 ln ED - 1.620 pH + 8.889 [78]	ln MN = 0.503 ln ED - 1.638 pH + 9.031 [84]
	ET ln MN = 0.487 ln ED - 1.543 pH + 8.518 [130]		ln MN = 0.330 ln ED - 1.561 pH + 9.356 [206]
	Ev ln MN = 0.517 ln ED - 1.609 pH + 8.830 [114]	ln MN = 0.454 ln ED - 1.624 pH + 9.218 [146]	ln MN = 0.374 ln ED - 1.610 pH + 9.494 [178]
Cd	E ln MN = 0.568 ln TO - 0.928 pH + 2.174 [68]		ln MN = 0.486 ln ED - 0.851 pH + 2.277 [84]
	ET ln MN = 0.355 ln TO + 0.258 ln ED - 0.857 pH + 1.855 [169]		ln MN = 0.508 ln ED - 0.809 pH + 1.819 [206]
	Ev ln MN = 0.585 ln TO - 0.876 pH + 1.820 [150]		ln MN = 0.370 ln TO + 0.256 ln ED - 0.829 pH + 1.904 [178]
Zn	E ln MN = 0.620 ln ED - 1.756 pH + 7.443 [62]	ln MN = 0.754 ln ED - 1.798 pH + 7.428 [90]	ln Mn = 0.702 ln ED - 1.700 pH + 7.077 [84]
	ET		ln MN = 0.585 ln TO + 0.404 ln ED - 1.617 pH + 4.631 [206]
	Ev ln MN = 0.663 ln TO + 0.279 ln ED - 1.639 pH + 4.514 [134]	ln MN = 0.449 ln TO + 0.450 ln ED - 1.619 pH + 5.083 [158]	ln MN = 0.654 ln TO + 0.384 ln ED - 1.596 pH + 4.146 [178]
Co	E ln MN = 1.372 ln TO - 1.262 pH + 0.651 [56]	ln MN = 1.787 ln TO - 0.334 ln ED - 1.112 pH - 0.985 [78]	ln MN = 1.185 ln TO - 1.260 pH + 0.995 [84]
	ET ln MN = 1.572 ln TO - 0.316 ln ED - 1.016 pH - 0.980 [130]		ln MN = 1.124 ln TO - 0.284 ln ED - 0.991 pH - 0.165 [206]
	Ev ln MN = 0.519 ln TO - 0.281 ln ED - 1.034 pH - 0.714 [114]	ln MN = 1.542 ln TO - 0.338 ln ED - 1.0 pH - 0.976 [146]	ln MN = 1.155 ln TO - 0.279 ln ED - 1.025 pH - 0.003 [178]
Ni	E ln MN = 1.427 ln TO - 1.071 pH - 1.178 [56]	ln MN = 1.420 ln TO - 1.087 pH + 1.420 [78]	ln MN = 0.927 ln TO + 0.312 ln ED - 1.128 pH + 0.153 [84]
	ET ln MN = 0.323 ln TO + 0.244 ln ED - 0.802 pH + 0.389 [130]		ln MN = 0.582 ln TO + 0.251 ln ED - 0.903 pH + 0.198 [206]
	Ev ln MN = 0.407 ln TO + 0.219 ln ED - 0.817 pH + 0.270 [114]	ln MN = 1.002 ln ED - 0.816 pH - 1.280 [146]	ln MN = 0.617 ln TO + 0.212 ln ED - 0.898 pH + 0.091 [178]
Be	E ln MN = 0.429 ln ED - 1.394 pH + 3.189 [68]		ln MN = 0.413 ln TO - 1.354 pH + 0.804 [84]
	ET ln MN = 0.339 ln ED - 1.264 pH + 2.048 [169]		ln MN = 0.210 ln TO - 1.273 pH + 0.536 [206]
	Ev ln MN = 0.262 ln TO + 0.225 ln ED - 1.176 pH + 0.977 [150]		ln MN = 0.289 ln TO - 1.214 pH + 0.094 [178]
Cu	E ln MN = 0.861 ln ED - 0.340 ln TO - 2.990 [62]	ln MN = 0.956 ln ED - 0.349 ln TO - 3.083 [90]	ln MN = 0.928 ln ED - 0.316 ln TO - 3.147 [84]
	ET ln MN = 0.672 ln ED + 0.210 pH - 5.137 [151]		ln MN = 0.756 ln ED + 0.225 pH - 5.327 [206]
	Ev ln MN = 0.885 ln ED - 0.330 ln TO - 2.964 [134]	ln MN = 0.937 ln ED - 0.318 ln TO - 3.062 [158]	ln MN = 0.878 ln ED - 0.244 ln TO + 0.134 pH - 4.034 [178]
As	E ln MN = 0.452 ln TO - 4.665 [62]	ln MN = 0.462 ln TO + 0.224 pH - 5.911 [90]	ln MN = 0.626 ln TO + 0.168 pH - 6.125 [84]
	ET ln MN = 0.479 ln TO + 0.194 pH - 5.900 [151]		ln MN = 0.506 ln TO + 0.112 ln ED + 0.211 pH - 6.113 [206]
	Ev ln MN = 0.528 ln TO + 0.180 pH - 5.906 [134]	ln MN = 0.168 ln TO + 0.142 ln ED + 1.123 pH - 4.045 [158]	ln MN = 0.652 ln TO + 0.108 ln ED + 0.195 pH - 5.989 [178]
Cr	E	ln MN = 0.145 ln TO + 0.097 ln ED - 5.023 [78]	
	ET		ln MN = 0.074 ln TO + 0.072 ln ED - 4.794 [206]
	Ev	ln MN = 0.137 ln TO + 0.061 ln ED - 5.047 [146]	ln MN = 0.077 ln TO + 0.091 ln ED - 4.778 [178]

Explanations to Tabs I, II:

E = samples from the pot experiment, without liming

ET = samples from the pot experiment and field investigations, without liming

Ev = samples from the experiment, limed and non limed

[] = number of data

II. Prediction of the mobility of trace elements (0.01M CaCl₂) derived from total contents, contents of potentially mobilizable fraction and pH by multiple regression analysis

Element		Set without geogenic anomalies and fluvial extremes	Set without geogenic anomalies	The whole set
Mn	E	$\ln MC = 0.695 \ln ED - 1.369 \text{ pH} + 6.767$ [56]	$\ln MC = 0.523 \ln ED - 1.408 \text{ pH} + 7.705$ [78]	$\ln MC = 0.519 \ln ED - 1.377 \text{ pH} + 7.569$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.335 \ln ED - 1.110 \text{ pH} + 6.804$ [171]		$\ln MC = 0.167 \ln ED - 1.146 \text{ pH} + 7.763$ [258]
	Ev	$\ln MC = 0.464 \ln ED - 1.298 \text{ pH} + 7.514$ [114]	$\ln MC = 0.320 \ln ED - 1.317 \text{ pH} + 8.238$ [146]	$\ln MC = 0.241 \ln ED - 1.272 \text{ pH} + 8.349$
Cd	E	$\ln MC = 0.376 \ln TO + 0.488 \ln ED - 1.167 \text{ pH} + 3.832$ [68]		$\ln MC = 0.642 \ln ED - 1.116 \text{ pH} + 3.610$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.426 \ln ED - 0.769 \text{ pH} + 1.005$ [212]		$\ln MC = 0.470 \ln ED - 0.746 \text{ pH} + 0.967$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.391 \ln ED - 1.018 \text{ pH} + 2.647$ [68]		$\ln MC = 0.435 \ln ED - 1.000 \text{ pH} + 2.640$ [178]
Zn	E	$\ln MC = 0.499 \ln ED - 1.325 \text{ pH} + 4.509$ [62]	$\ln MC = 0.646 \ln ED - 1.414 \text{ pH} + 5.206$ [90]	$\ln MC = 0.628 \ln ED - 1.371 \text{ pH} + 5.010$ [84]
	ET			
	Ev	$\ln MC = 0.347 \ln ED - 1.176 \text{ pH} + 4.852$ [134]	$\ln MC = 0.467 \ln ED - 1.202 \text{ pH} + 4.707$ [158]	
Co	E	$\ln MC = 1.183 \ln TO - 1.017 \text{ pH} - 0.157$ [56]	$\ln MC = 1.135 \ln TO - 0.944 \text{ pH} - 0.541$ [78]	$\ln MC = 0.827 \ln TO - 0.949 \text{ pH} + 0.222$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.666 \ln TO - 0.686 \text{ pH} - 1.029$ [171]		$\ln MC = 0.407 \ln TO - 0.653 \text{ pH} - 0.648$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.717 \ln TO - 0.863 \text{ pH} + 0.130$ [114]	$\ln MC = 0.686 \ln TO - 0.824 \text{ pH} - 0.051$ [146]	$\ln MC = 0.397 \ln TO - 0.766 \text{ pH} + 0.222$
Ni	E	$\ln MC = 0.193 \ln ED - 0.379 \text{ pH} - 0.506$ [50]	$\ln MC = 0.219 \ln ED + 0.483 \ln TO - 0.544 \text{ pH} - 0.966$ [78]	$\ln MC = 0.410 \ln ED - 0.540 \text{ pH} + 0.217$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.134 \ln ED - 0.397 \text{ pH} - 0.373$ [150]		$\ln MC = 0.248 \ln ED + 0.229 \ln TO - 0.518 \text{ pH} - 0.433$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.124 \ln ED - 0.310 \text{ pH} - 0.821$ [98]	$\ln MC = 0.359 \ln TO + 0.186 \ln ED - 0.416 \text{ pH} - 1.210$ [146]	$\ln MC = 0.325 \ln ED - 0.427 \text{ pH} - 0.267$ [178]
Be	E	$\ln MC = 0.380 \ln ED - 0.447 \text{ pH} - 1.698$ [68]		$\ln MC = 0.286 \ln ED - 0.470 \text{ pH} - 1.992$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.259 \ln TO + 0.242 \ln ED - 0.387 \text{ pH} - 2.787$ [212]		$\ln MC = 0.242 \ln TO + 152 \ln ED - 0.423 \text{ pH} - 2.951$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.158 \ln TO + 0.197 \ln ED - 0.336 \text{ pH} - 3.276$ [150]		$\ln MC = 0.153 \ln TO + 0.138 \ln ED - 0.346 \text{ pH} - 3.478$ [178]
Pb	E		$\ln MC = 0.466 \ln TO + 0.112 \text{ pH} - 5.296$ [90]	$\ln MC = 0.261 \ln ED - 3.614$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.368 \ln TO - 4.314$ [191]		$\ln MC = 0.414 \ln TO - 4.533$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.311 \ln TO + 0.114 \text{ pH} - 4.771$ [134]	$\ln MC = 0.374 \ln TO + 0.114 \text{ pH} - 4.989$ [158]	
Cu	E	$\ln MC = 0.180 \ln TO + 0.413 \ln ED - 3.792$ [62]	$\ln MC = 0.210 \ln TO + 0.446 \ln ED - 3.902$ [90]	$\ln MC = 0.196 \ln TO + 0.438 \ln ED - 3.910$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.178 \ln TO + 0.366 \ln ED - 3.797$ [191]		$\ln MC = 0.250 \ln TO + 0.390 \ln ED - 4.056$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.143 \ln TO + 0.489 \ln ED - 0.088 \text{ pH} - 3.254$ [134]	$\ln MC = 0.133 \ln TO + 0.494 \ln ED - 0.098 \text{ pH} - 3.172$ [158]	$\ln MC = 0.187 \ln TO + 0.429 \ln ED - 3.860$
As	E	$\ln MC = 0.298 \ln ED - 2.751$ [62]	$\ln MC = 0.220 \ln ED - 2.790$ [90]	$\ln MC = 0.333 \ln ED - 2.771$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.274 \ln TO + 0.138 \ln ED + 0.156 \text{ pH} - 4.659$ [169]		$\ln MC = 0.208 \ln TO + 0.159 \ln ED + 0.116 \text{ pH} - 4.241$ [233]
	Ev	$\ln MC = 0.320 \ln TO + 0.136 \ln ED + 0.125 \text{ pH} - 4.543$ [134]	$\ln MC = 0.168 \ln TO + 0.142 \ln ED + 0.123 \text{ pH} - 4.045$ [158]	$\ln MC = 0.137 \ln TO + 0.204 \ln ED + 0.082 \text{ pH} - 3.718$ [178]
Cr	E		$\ln MC = 0.322 \ln TO - 5.645$	$\ln MC = 0.177 \ln TO + 0.114 \ln ED - 4.939$ [84]
	ET	$\ln MC = 0.302 \ln TO - 0.129 \text{ pH} - 4.485$ [171]		$\ln MC = 0.208 \ln ED - 0.105 \text{ pH} - 3.177$ [255]
	Ev	$\ln MC = 0.227 \ln TO - 5.187$ [114]	$\ln MC = 0.237 \ln TO - 5.238$	$\ln MC = 0.118 \ln ED - 0.098 \text{ pH} - 4.757$ [178]

What concerns copper and arsenic, we can deduce equations, which involve or do not involve pH. In any case pH manifests itself in a direct relation to the content of the mobile species of elements. For copper relations were derived from pot experiments, in which total and potentially mobilizable forms occur, with complication with liming of the whole set. Prediction equations for extended sets comprising field investigations include potential mobility and pH. Arsenic shows a diversified pattern of relations. The simplest relation include only relation between the mobile species and the total content. The extension of the most homogeneous set and liming leads to the manifestation of a direct dependence on pH and a mobilizable fraction. The most complicated relation with the manifestation of all factors (ED, TO, pH) we find in the whole set extended by field observations and after liming of the whole set of pot experiments.

The most permissible relations have been selected from all mentioned prediction equations which concern the 1M NH_4NO_3 soluble mobile species, listed in Tab. I. They will be verified.

$$\ln \text{MN}_{\text{Mn}} = 0.503 \ln \text{ED}_{\text{Mn}} - 1.638 \text{pH} + 9.031$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Cd}} = 0.568 \ln \text{TO}_{\text{Cd}} - 0.928 \text{pH} + 2.174$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Zn}} = 0.702 \ln \text{ED}_{\text{Zn}} - 1.700 \text{pH} + 7.077$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Zn}} = 0.585 \ln \text{TO}_{\text{Zn}} + 0.404 \ln \text{ED}_{\text{Zn}} - 1.617 \text{pH} + 4.631$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Co}} = 1.185 \ln \text{TO}_{\text{Co}} - 1.260 \text{pH} + 0.995$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Co}} = 1.124 \ln \text{TO}_{\text{Co}} - 0.284 \ln \text{ED}_{\text{Co}} - 0.991 \text{pH} - 0.165$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Ni}} = 1.420 \ln \text{TO}_{\text{Ni}} - 1.087 \text{pH} + 1.420$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Ni}} = 0.582 \ln \text{TO}_{\text{Ni}} + 0.251 \ln \text{ED}_{\text{Ni}} - 0.903 \text{pH} + 0.198$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Be}} = 0.210 \ln \text{TO}_{\text{Be}} - 1.273 \text{pH} + 0.536$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Cr}} = 0.074 \ln \text{TO}_{\text{Cr}} + 0.072 \ln \text{ED}_{\text{Cr}} - 4.794$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Cu}} = 0.937 \ln \text{ED}_{\text{Cu}} - 0.318 \ln \text{TO}_{\text{Cu}} - 3.062$$

$$\ln \text{MN}_{\text{Cu}} = 0.756 \ln \text{ED}_{\text{Cu}} + 0.225 \text{pH} - 5.327$$

$$\ln \text{MN}_{\text{As}} = 0.462 \ln \text{TO}_{\text{As}} + 0.224 \text{pH} - 5.911$$

The relations which have been derived from the mobile species, soluble in 0.01M CaCl_2 and given in Tab. II, have been viewed in a similar way. For elements with negatively pH-dependent mobility we find analogical relations as stated for 1M NH_4NO_3 - extracts.

Very similar relations are found for manganese. In the case of cadmium potential mobility shows itself more markedly. The most complicated relation manifest itself in the purest set. Zinc shows the same types of relations which include ED and pH in all variants. Liming affects the decline of the coefficients of the prediction equation in a similar way as it does in case of Cd. The relations to the dependent variable are more simple for cobalt with participation of TO and pH when the influence of liming and of extreme values decreases. Analogical relations show nickel. Mainly potentially mo-

bilizable pool and pH manifest themselves, with complications in a set lacking geogenic anomalies due to Fluvisols and in an expanded set with field observations. Beryllium shows the most simple relations with the dominance of ED and pH in samples from the pot experiment. After liming and expanding of the set the relation becomes complicated.

In prediction equations for the other elements only total and potentially mobilizable pool start to show themselves, in some cases also pH. It is interesting that it was possible to deduce prediction equations also for lead. The influence of liming (in a set lacking geogenic anomalies) on the regression equation is low. In samples used in the experiment only mobilizable forms or total content and pH manifest themselves in prediction equations. It was even possible to derive relation for Cr, which is characterized by very low values of both mobile and mobilizable species. Some significance have only those relations, which include not only total content but also a potentially mobile fraction and pH.

We find similar relations for copper not only for pure sets but also for sets involving geogenic variants and fluvial extremes. In more homogeneous but limed variants complicated relations occur. The most simple relations for arsenic are found in sets of unlimed samples from the experiment, only mobilizable fraction is the most important. Extending of the set and liming introduces into relation all used independent variables.

Promising prediction equation has been selected from Tab. II for the mobile species soluble in 0.01M CaCl_2 in a similar way as for 1M NH_4NO_3 . They will be also verified in the future.

$$\ln \text{MC}_{\text{Mn}} = 0.519 \ln \text{ED}_{\text{Mn}} - 1.337 \text{pH} + 7.569$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Cd}} = 0.470 \ln \text{ED}_{\text{Cd}} - 0.746 \text{pH} + 0.967$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Zn}} = 0.628 \ln \text{ED}_{\text{Zn}} - 1.371 \text{pH} + 5.010$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Co}} = 0.827 \ln \text{TO}_{\text{Co}} - 0.949 \text{pH} + 0.222$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Ni}} = 0.410 \ln \text{ED}_{\text{Ni}} - 0.540 \text{pH} + 0.217$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Be}} = 0.286 \ln \text{ED}_{\text{Be}} - 0.470 \text{pH} - 1.992$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Be}} = 0.242 \ln \text{TO}_{\text{Be}} + 1.152 \ln \text{ED}_{\text{Be}} - 0.423 \text{pH} - 2.951$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Pb}} = 0.261 \ln \text{ED}_{\text{Pb}} - 3.614$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Pb}} = 0.466 \ln \text{TO}_{\text{Pb}} + 0.112 \text{pH} - 5.296$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Cr}} = 0.177 \ln \text{TO}_{\text{Cr}} + 0.114 \ln \text{ED}_{\text{Cr}} - 4.939$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Cr}} = 0.208 \ln \text{ED}_{\text{Cr}} - 0.105 \text{pH} - 3.177$$

$$\ln \text{MC}_{\text{Cu}} = 0.196 \ln \text{TO}_{\text{Cu}} + 0.438 \ln \text{ED}_{\text{Cu}} - 3.910$$

$$\ln \text{MC}_{\text{As}} = 0.333 \ln \text{ED}_{\text{As}} - 2.771$$

$$\ln \text{MC}_{\text{As}} = 0.208 \ln \text{TO}_{\text{As}} + 0.159 \ln \text{ED}_{\text{As}} + 0.116 \text{pH} - 4.241$$

It has been proved that the prediction equation depends not only upon the homogeneity of the analyzed set (admixture of geogenic anomalies and fluvial anthropogenic extremes) but also on the pH regulation by

liming. Relation between pH and the trace elements mobility is therefore significantly affected by liming.

REFERENCES

Brümmer G. W., Hornburg V., Hiller D. A. (1991): Schwermetallbelastung von Böden. Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesell., 63: 31–42.

Kunze H., Fleige H., Hindel R. et al. (1991): Empfindlichkeit der Böden gegenüber geogenen und anthropogenen Gehalten an Schwermetallen-Empfehlungen für die Praxis. In: Rosenkranz et al. (eds): Bodenschutz, E. Schmidt Verlag 1530: 1–86.

Podlešáková E., Němeček J., Roth Z. (1999a): Mobility of trace elements in soils. Rostl. Výr., 45 (8): 337–344.

Received on March 25, 1999

Contact Address:

Prof. RNDr. Jan Němeček, DrSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 27 52, fax: 02/20 92 03 12

KONTAMINACE PŮDY A ZELENINY ZÁVLAHOVOU VODOU Z LABE

CONTAMINATION OF SOIL AND VEGETABLES BY IRRIGATION WATER FROM THE LABE RIVER

J. Zavadil

Research Institute for Soil and Water Conservation, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The effect of irrigation by water from the Labe river in the profiles Litol (Nymburk district) and Jiřice (Mělník district) on the content of Hg, Cd, Pb, As, chlorinated and nitrated phenols, aromatic amines and nitroaromates in soil, cabbage and carrot was studied. The results were obtained by vegetation pot trials conducted in the years 1997 and 1998. The content of Hg, Cd, Pb and As in the soil used in these trials and its agrochemical properties are in Tab. I. The content of all measured organic xenobiotic substances (OXL) in this soil was lower than is the limit of their determinability (Tab. V). It was found that the content of Hg, Cd, Pb and As in the Labe water in the profiles Litol and Jiřice is low in the regard of irrigations (Tab. II). Even the highest found content of these hazardous elements ($0.2 \mu\text{g Hg.l}^{-1}$, $1.74 \mu\text{g Cd.l}^{-1}$, $7 \mu\text{g Pb.l}^{-1}$ and $7 \mu\text{g As.l}^{-1}$) is considerably lower than the highest permitted content in irrigation water of purity class I, as determined by Czech Standard 75 7143 (Quality of water for irrigation). Of the measured OXL the Labe water in the profiles Litol and Jiřice was the strongest contaminated by some chlorinated and nitrated phenols (Tab. III). This is mainly the case of chlormethylphenols, dimethylphenols and methyl-dinitrophenols. Their concentration in water was, except one case, the highest by some $\mu\text{g.l}^{-1}$. Of nitroaromates – nitrotoluens and dinitrotoluens and of aromatic amines – ethylanilines, diethylanilines and dichloranilines were found in some samples of Labe water. Concentration of these substances in water, however, did not exceed $1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Watering by Labe water from profiles Litol and Jiřice was not a cause of statistically significant increase of the content of any hazardous element and any OXL in soil (Tabs IV and V), nor in cabbage and roots of carrot (Tabs VI and VII). The content of all measured chlorinated and nitrated phenols, aromatic amines and nitroaromates in soil as well as in vegetables was lower than is the limit determinability. It is evident that the doses of hazardous elements and OXL applied by irrigation from Labe from profiles Litol and Jiřice are not dangerous for soil and crops. Even at high irrigation amount these values are low (Tab. VIII). The doses of hazardous elements fluctuated from minimum 1 g.ha^{-1} (Hg) to maximum 18 g.ha^{-1} (As). Of the measured OXL the highest amount was recorded in some chlorinated and nitrated phenols. Their doses, however, ranged only in the units g.ha^{-1} . The doses of aromatic amines and nitroaromates were several tenths g.ha^{-1} and lower.

Keywords: hazardous elements; organic xenobiotic substance; content in irrigation water, soil and vegetables

ABSTRAKT: Byl sledován vliv závlahy vodou z Labe v profilech Litol (okres Nymburk) a Jiřice (okres Mělník) na obsah Hg, Cd, Pb, As, chlorovaných a nitrovaných fenolů, aromatických aminů a nitroaromátů v půdě, hlávkové kapustě a mrkvi. Výsledky byly získány z vegetačních nádobových pokusů, vedených v letech 1997 a 1998. Bylo zjištěno, že žádný rizikový prvek ve vodě Labe ani svým nejvyšším naměřeným obsahem ($0,2 \mu\text{g Hg.l}^{-1}$, $1,74 \mu\text{g Cd.l}^{-1}$, $7 \mu\text{g Pb.l}^{-1}$ a $7 \mu\text{g As.l}^{-1}$) nepřekročil nejvýše přípustný obsah v závlahové vodě I. třídy čistoty podle ČSN 75 7143. Z měřených organických xenobiotických látek (OXL) bylo Labe v obou profilech nejsilněji kontaminováno některými chlorovanými a nitrovanými fenoly. Jejich koncentrace ve vodě byly však až na jednu výjimku nejvýše několik $\mu\text{g.l}^{-1}$. Koncentrace aromatických aminů a nitroaromátů ve vodě nepřekročily $1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Zálivka vodou z Labe v profilech Litol a Jiřice nebyla příčinou statisticky průkazného zvýšení obsahu žádného rizikového prvku ani OXL v půdě, v hlávkách kapusty ani v kořenech mrkve. Obsah všech měřených chlorovaných a nitrovaných fenolů, aromatických aminů a nitroaromátů v půdě i zelenině byl menší než mez stanovitelnosti.

Klíčová slova: rizikové prvky; organické xenobiotické látky; obsah v závlahové vodě, půdě a zelenině

ÚVOD

Kontaminace Labe organickými xenobiotickými látkami (OXL) a rizikovými prvky je sledována v rámci monitoringu jakosti povrchových vod, vedeného ČHMÚ, a v rámci programu MKOL. Z výsledků těchto měření

(Kubát et al., 1998) je zřejmé, že Labe je ze závlahové využívaných toků ČR nejsilněji kontaminováno organicky vázanými halogenovými látkami (AOX). V úseku od Pardubic po Litoměřice se obsah těchto látek s pravděpodobností nepřekročení 90 % (C_{90}) pohyboval v období 1996 až 1997 od 49,2 do 85,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$. (C_{90} se

používá pro klasifikaci jakosti povrchových vod a jakosti závlahové vody.) Podle C_{90} AOX je voda v celém tomto úseku Labe V. třídy jakosti (velmi silně znečištěná) ve smyslu ČSN 75 7221. Kontaminaci Labe OXL byla věnována zvláštní pozornost při řešení Projektu Labe I a II. Bylo zjištěno, že Labe je nejsilněji kontaminováno těžkými chlorovanými látkami. V koncentraci až několik desítek $\mu\text{g.l}^{-1}$ byly ve vodě tohoto toku naměřeny 1,2-dichlorethan, dichlorbenzeny a chlorbenzeny. V inventarizaci významných emisí prioritních látek z komunálních a průmyslových bodových zdrojů, provedené MKOL (1995), je uveden seznam látek, látkových skupin a sumárních parametrů, jejichž emise je nutno přednostně snížit. Z 27 položek celkem je v tomto seznamu 15 OXL a osm rizikových prvků. Obsah rizikových prvků ve vodě Labe je uveden v již citované ročence (Kubát et al., 1998). V závlahově využívaném úseku tohoto toku se C_{90} Hg pohyboval v rozmezí od 0,10 do 0,11 $\mu\text{g.l}^{-1}$, C_{90} Cd od 0,20 do 0,51 $\mu\text{g.l}^{-1}$, C_{90} Pb od 2,2 do 7,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a C_{90} As od 10,3 do 28,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Podle C_{90} Cd a C_{90} Pb byla voda v celém tomto úseku Labe I. třídy jakosti (neznečištěná), podle C_{90} Hg II. třídy jakosti (mírně znečištěná) a podle C_{90} As II., někde však i III. třídy jakosti (znečištěná) ve smyslu ČSN 75 7221.

Kontaminace vody z Labe OXL je hlavní příčinou její zvýšené mutagenní aktivity (Černá et al., 1996). Frakcionací OXL ve vodě Labe a vyšetřením jednotlivých frakcí těchto látek na mutagenitu Amesovým testem bylo zjištěno, že mezi nejsilnější mutageny, nacházející se ve vodě tohoto toku, patří látky ze skupiny chlorovaných a nitrovaných fenolů, aromatických aminů a nitroaromátů (Zavadil, Bukovjan, 1998). Ve vzorcích vody z Labe v profilu Valy (situován asi 6 km pod místem vypouštění odpadních vod z a. s. Synthésia, Pardubice-Semtín), vyšetřených v roce 1996 Amesovým testem, byla naměřena maximální koncentrace např. methyl-dinitrofenolů 88,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$, monochlorfenolů 10,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$, nitrotoluenů 98,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$, chloranilinů 11,6 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a anilinu 6,7 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Úsek Labe od Pardubic po soutok s Vltavou, který je nejsilněji kontaminován OXL, je zdrojem závlahové vody pro více než 13 000 ha privatizovaných závlah. Vodou z tohoto úseku Labe se zavlažují především zelenina a rané brambory, tedy na vodu náročné, tržně zajímavé plodiny. Z důvodu vysoké nebezpečnosti silně mutagenních OXL pro lidi byl zjišťován vliv používané závlahové vody z Labe na jejich obsah v půdě a zelenině.

MATERIÁL A METODA

Vliv závlahy vodou z Labe na obsah OXL v půdě a zelenině byl sledován ve vegetačním nádobovém pokusu, který byl veden ve skleníku na pracovišti VÚMOP Praha v Hořině, v okrese Mělník v letech 1997 a 1998. Pro pokus byla vybrána hlávková kapusta (odrůda Žlutá raná) a mrkev (odrůda Delicia). Pokus zahrnoval dvě varianty se závlahou vodou z Labe: z profilu Litol (říční

km 152,0) a z profilu Jiřice (říční km 126,5) a kontrolní variantu se závlahou čistou studniční vodou. Profil Litol reprezentuje místa odběru vody z Labe pro závlahové soustavy na okrese Nymburk a profil Jiřice místa odběru vody z tohoto toku na okrese Mělník nad soutokem s Vltavou. Závlahová voda byla k mrkvi i k hlávkové kapustě aplikována závlahou na půdu.

K pokusu byly použity Mitscherlichovy vegetační nádoby o průměru i výšce 0,20 m, naplněné 6 kg lehké hlinitopísčité zeminy s obsahem všech měřených OXL menším než mez jejich stanovitelnosti. Obsah rizikových prvků v této zemině a její agrochemické vlastnosti uvádí tab. I. Každá varianta pokusu s hlávkovou kapustou a mrkví měla osm opakování. V nádobě byla buď jedna kapusta, nebo sedm mrkví. U každé varianty byl ze dvou po sobě následujících opakování vytvořen jeden směsný vzorek.

Byly analyzovány vzorky kontrolní vody, vody z Labe použité k závlaze, půdy a konzumních částí zeleniny, tj. hlávek kapusty a kořenů mrkve. Vzorky kontrolní vody byly odebrány v každém roce na začátku pokusu a na jeho konci. Obsah Hg, Cd, Pb a As v kontrolní vodě je uveden v tab. II. Obsah všech měřených OXL byl v této vodě menší než mez stanovitelnosti. Vzorky vody z Labe byly odebrány jako prosté (jednorázově a nahodile), jednou týdně současně s odběrem vody pro závlahu ze-

I. Obsah rizikových prvků v zemině použité při vegetačních nádobových pokusech a její agrochemické vlastnosti (aritmetický průměr 3 vzorků) – The content of hazardous elements in soil during vegetation pot trials and its agrochemical properties (arithmetic mean of 3 samples)

Ukazatel ¹		1997	1998
pH výměnné ²		7,03	6,77
C_{ox} (%)		2,44	1,88
Zrnitost ³	I. kategorie ⁴ (%)	11,8	15,3
	II. kategorie (%)	7,5	8,4
	III. kategorie (%)	26,1	21,2
	IV. kategorie (%)	54,6	55,1
S	(mmol.100 g ⁻¹)	12,2	10,8
T	(mmol.100 g ⁻¹)	12,9	10,9
V	(%)	94,9	99,1
H ⁺	(mmol.100 g ⁻¹)	0,7	0,1
Přístupné živiny podle ⁵ Mehliča II (mg.kg ⁻¹)	P	292	251
	K	750	431
	Mg	480	220
	Ca	2 771	2 212
Rizikové prvky ⁶ vyluh ⁷ 2M HNO ₃ (mg.kg ⁻¹)	Cd	0,16	0,13
	Pb	11,1	10,2
	As	1,01	1,04
Rizikové prvky celkový obsah ⁸ (mg.kg ⁻¹)	Hg	0,085	0,079
	Cd	0,17	0,23
	Pb	23,3	27,2
	As	8,03	6,83

¹indicator, ²exchangeable, ³grain size, ⁴category, ⁵available nutrients according to, ⁶hazardous elements, ⁷extract, ⁸total content

leniny ve vegetačních pokusech. Nádoby s vodou Labe používanou k zálivce byly uloženy v ledničce.

Obsah Hg, Cd, Pb a As stanovila akreditovaná laboratoř VÚMOP Praha (Hg na přístroji AMA 254, ostatní rizikové prvky metodou atomové absorpční spektrometrie AAS). Obsah Hg v půdě byl stanoven jako celkový (ve výluhu směsi HNO₃, HClO₄ a HF) a ve výluhu 2M HNO₃. Chlorované a nitrované fenoly, aromatické aminy a nitroaromáty stanovil Aquatest, Stavební geologie, a. s. Vzorky vody pro stanovení chlorovaných a nitrovaných fenolů byly po okyselení na pH 2 extrahovány na SPE (Solid Phase Extraction) kolonce. Zachycené fenoly byly eluovány dichlormethanem a po derivatizaci analyzovány metodou plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie (GS/MS). Z půdy a zeleniny byly chlorované a nitrované fenoly extrahovány směsí dichlormethanu a acetonu (4 : 1). Extrakt byl po filtraci, zakoncentrování, rozpuštění v 0,1% HNO₃ a u vzorků zeleniny po odstranění vysráženého chlorofylu extrahován na SPE kolonkách. Dále se postupovalo stejným způsobem jako

v případě vzorků vody. Aromatické aminy a nitroaromáty ve vodě byly stanoveny po okyselení na pH 2 metodou GS/MS s headspace dávkovačem. Z půdy byly tyto látky extrahovány vodou a ze zeleniny směsí dichlormethanu a acetonu (4 : 1). Po zfiltrování, zakoncentrování a rozpuštění v 0,1% HNO₃ byl extrakt analyzován stejnou metodou jako vzorky vody. Mez stanovitelnosti chlorovaných a nitrovaných fenolů ve vodě byla 1 µg.l⁻¹, aromatických aminů a nitroaromátů 0,1 µg.l⁻¹. Meze stanovitelnosti těchto látek v půdě jsou zřejmé z tab. V a v zelenině z tab. VII.

Výsledky rozborů půdy a zeleniny byly vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou rozptylu na hladině významnosti 0,05.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Obsah Hg, Cd, Pb a As ve vodě z Labe v profilu Litol a Jiřice byl z hlediska závlah nízký (tab. II). I nej-

II. Obsah rizikových prvků v kontrolní vodě a ve vodě z Labe (µg.l⁻¹) – Content of hazardous elements in control water and in Labe water (µg.l⁻¹)

Voda ¹	Rok ⁴	Prvek ⁵	N _s	Max	Min	Aritmetický průměr ⁶	Medián ⁷
Kontrolní ² (studniční ³)*	1997	Hg	0	< 1	< 1	< 1	< 1
		Cd	2	0,18	0,13	0,15	0,15
		Pb	1	< 1	< 1	< 1	< 1
		As	0	< 1	< 1	< 1	< 1
	1998	Hg	0	< 0,1	< 1	< 1	< 1
		Cd	1	0,50	< 0,01	0,26	0,26
		Pb	0	< 1	< 1	< 1	< 1
		As	1	< 1	3	2	2
Labe Litol**	1997	Hg	0	< 1	< 1	< 1	< 1
		Cd	6	1,74	< 0,01	0,54	0,26
		Pb	6	2	< 1	1	1
		As	8	6	2	4	4
	1998	Hg	0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
		Cd	8	0,50	0,01	0,16	0,15
		Pb	7	2	< 0,1	1	1
		As	8	7	4	6	6
Labe Jiřice**	1997	Hg	0	< 1	< 1	< 1	< 1
		Cd	8	0,34	0,06	0,17	0,10
		Pb	6	2	< 1	1	1
		As	8	5	1	3	3
	1998	Hg	1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
		Cd	8	0,50	0,01	0,23	0,18
		Pb	7	7	< 0,1	3	3
		As	8	7	2	4	5

* v každém roce byly odebrány 2 vzorky – 2 samples were taken each year

** v každém roce bylo odebráno 8 vzorků – 8 samples were taken each year

N_s = počet hodnot větších než mez stanovitelnosti – number of values higher than the limit of determinability

Max = nejvyšší naměřená hodnota – highest measured value

Min = nejnižší naměřená hodnota – lowest measured value

Při výpočtu aritmetického průměru byly hodnoty menší než mez stanovitelnosti uvažovány jako tato mez – In calculation of arithmetic mean were the values lower than is the limit of determinability considered as this limit

¹water, ²control, ³well, ⁴year, ⁵element, ⁶arithmetic mean, ⁷median

III. Obsah chlorovaných a nitrovaných fenolů, aromatických aminů a nitroaromátů ve vodě z Labe ($\mu\text{g.l}^{-1}$) – Content of chlorinated and nitrated phenols, aromatic amines and nitroaromates in Labe water (in $\mu\text{g.l}^{-1}$)

Kontrolní profil ¹	Rok ²	Látka ³	N_x	Max	Min	Aritmetický průměr ⁴	Medián ⁵
Litol	1997	chlormethylfenoly ⁶	4	13,2	< 1	3,0	1,2
		dimethylfenoly ⁷	5	2,6	< 1	1,6	1,4
		methyl dinitrofenoly ⁸	5	3,5	< 1	2,2	2,4
		dichloraniliny ⁹	1	0,6	< 0,1	0,2	< 0,1
		nitrotoluenu ¹⁰	4	0,3	< 0,1	0,2	0,2
	1998	dimethylfenoly	1	3,3	< 1	1,3	< 1
		methyl dinitrofenoly	2	6,6	< 1	2,1	< 1
		diethylaniliny ¹¹	1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
		dichloraniliny	1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
		nitrotoluenu	6	0,8	< 0,1	0,3	0,1
dinitrotoluenu ¹²	3	1,0	< 0,1	0,3	< 0,1		
Jiřice	1997	chlormethylfenoly	5	7,7	< 1	2,9	1,6
		dimethylfenoly	4	1,6	< 1	1,2	1,2
		(o,m,p)-nitrofenoly ¹³	1	3,4	< 1	1,3	< 1
		methyl dinitrofenoly	6	4,3	< 1	2,6	2,7
		dichloraniliny	3	0,3	< 0,1	0,2	< 0,1
		nitrobenzeny ¹⁴	1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	1998	dimethylfenoly	1	5,0	< 1	1,5	< 1
		methyl dinitrofenoly	1	7,4	< 1	1,8	< 1
		ethylaniliny ¹⁵	1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
		nitrotoluenu	4	0,8	< 0,1	0,2	< 0,1
dinitrotoluenu	1	0,5	< 0,1	0,2	< 0,1		

V každém roce bylo v každém profilu odebráno 8 vzorků – 8 samples were taken in each profile each year
 N_x = počet hodnot větších než mez stanovitelnosti – number of values higher than the limit of determinability

Max = nejvyšší naměřená hodnota – highest measured value

Min = nejnižší naměřená hodnota – lowest measured value

Při výpočtu aritmetického průměru byly hodnoty menší než mez stanovitelnosti uvažovány jako tato mez – In calculation of arithmetic mean were the values lower than is the limit of determinability considered as this limit

Ostatní měřené látky ze skupiny chlorovaných a nitrovaných fenolů (monochlorfenoly, dichlorfenoly, trichlorfenoly, pentachlorfenol, dinitrofenoly, alkyldinitrofenoly), aromatických aminů (anilin, methylaniliny, dimethylaniliny, chloraniliny) a nitroaromátů (nitrobenzen, chlornitrobenzen) nebyly v letech 1997 a 1998 v žádném vzorku vody zjištěny v koncentraci větší než mez stanovitelnosti – The other measured substances from the group of chlorinated and nitrated phenols (monochlorphenols, dichlorphenols, trichlorphenols, pentachlorphenols, dinitrophenols, alkylnitrophenols), aromatic amines (aniline, methylanilines, dimethylanilines, chloranilines), and nitroaromates (nitrobenzene, chlornitrobenzene) were not found in the years 1997 and 1998 in any sample of water in concentration higher than is the limit of determinability

¹control profile, ²year, ³substance, ⁴arithmetic mean, ⁵median, ⁶chlormethylphenols, ⁷dimethylphenols, ⁸methyl dinitrophenols, ⁹dichloranilines, ¹⁰nitrotoluens, ¹¹diethylanilines, ¹²dinitrotoluens, ¹³(o,m,p)-nitrophenols, ¹⁴nitrobenzenes, ¹⁵ethylanilines

vyšší zjištěný obsah těchto rizikových prvků ($0,2 \mu\text{g Hg.l}^{-1}$, $1,74 \mu\text{g Cd.l}^{-1}$, $7 \mu\text{g Pb.l}^{-1}$ a $7 \mu\text{g As.l}^{-1}$) je podstatně nižší než nejvýše přípustný obsah v závlahové vodě I. třídy čistoty (vhodná pro závlahu). ČSN 75 7143 připouští v závlahové vodě této jakostní třídy při závlahovém množství $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ $5 \mu\text{g Hg.l}^{-1}$, $10 \mu\text{g Cd.l}^{-1}$, $50 \mu\text{g Pb.l}^{-1}$ a $50 \mu\text{g As.l}^{-1}$. Naše poznatky o kontaminaci Labe v profilech Litol a Jiřice Pb, Cd, Pb a As jsou ve velmi dobré shodě s výsledky získanými při kontrole jakosti povrchových vod realizované ČHMÚ (Kubát et al., 1998).

Z měřených OXL byla voda Labe v profilech Litol a Jiřice nejsilněji kontaminována některými chlorovanými a nitrovanými fenoly (tab. III). Jde hlavně o chlor-

methylfenoly, dimethylfenoly a methyl dinitrofenoly. Jejich koncentrace ve vodě byla však až na jednu výjimku nejvýše několik $\mu\text{g.l}^{-1}$. Z nitroaromátů byly v některých vzorcích vody Labe zjištěny nitrotoluenu a dinitrotoluenu a z aromatických aminů ethylaniliny, diethylaniliny a dichloraniliny. Koncentrace těchto látek ve vodě nepřekročila $1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Vhodnost vody Labe pro závlahu nelze podle koncentrace měřených OXL posoudit, protože ČSN 75 7143 ani žádná zahraniční norma nestanoví jejich nejvýše přípustnou koncentraci v závlahové vodě. Kontaminace vody Labe chlorovanými a nitrovanými fenoly, aromatickými aminy a nitroaromáty není v žádném profilu státní kontrolní sítě monitorována.

IV. Obsah rizikových prvků v půdě po pokusu (mg.kg^{-1}) (aritmetické průměry ze 4 opakování) – Content of hazardous elements in soil after the trial (mg.kg^{-1}) (arithmetic means from 4 replications)

Extrakční činidlo ¹	Rok ³	Prvek ⁴	Varianty ⁵					
			hlávková kapusta ⁶			mrkev ⁷		
			kontrola ⁸	Labe Litol	Labe Jiřice	kontrola	Labe Litol	Labe Jiřice
2M HNO ₃	1997	Cd	0,16	0,18	0,18	0,15	0,15	0,15
		Pb	9,6	9,8	8,7	10,6	9,6	9,5
		As	1,14	1,26	1,18	1,27	1,27	1,19*
	1998	Cd	0,21	0,21	0,22	0,17	0,17	0,16
		Pb	8,1	7,9	8,0	10,5	9,3	8,9
		As	1,15	1,10	1,17	1,20	1,20	1,16
Směs kyselin ² (HNO ₃ , HClO ₄ , HF)	1997	Hg	0,077	0,078	0,077	0,081	0,074	0,076
		Cd	0,19	0,18	0,19	0,17	0,16	0,17
		Pb	21,1	21,4	20,9	21,7	21,2	22,7
		As	6,47	6,26	6,22	8,97	8,60	8,47
	1998	Hg	0,068	0,067	0,075	0,073	0,076	0,073
		Cd	0,25	0,22	0,25	0,21	0,20	0,19
		Pb	22,5	21,0	20,7	19,6	18,8	18,7
		As	8,65	6,51	8,36	6,75	6,97	6,43

* statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti 0,05 – statistically significant difference on the level of significance 0.05

¹extraction agent, ²mixture of acids, ³year, ⁴element, ⁵variants, ⁶cabbage, ⁷carrot, ⁸control

V. Obsah organických xenobiotických látek v půdě po pokusu ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Content of organic xenobiotic substances in soil after the trial ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Rok ¹	Skupina látek ²	Varianty ³					
		hlávková kapusta ⁴			mrkev ⁵		
		kontrola ⁹	Labe Litol	Labe Jiřice	kontrola	Labe Litol	Labe Jiřice
1997	chlorované a nitrované fenoly ⁶	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
	aromatické aminy ⁷	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
	nitroaromáty ⁸	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
1998	chlorované a nitrované fenoly	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
	aromatické aminy	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
	nitroaromáty	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50

* všechny měřené látky ve skupině viz tab. VII – all measured substances in the group see Tab. VII

¹year, ²group of substances, ³variants, ⁴cabbage, ⁵carrot, ⁶chlorinated and nitrated phenols, ⁷aromatic amines, ⁸nitroaromates, ⁹control

VI. Obsah rizikových prvků v zelenině (mg.kg^{-1} sušiny) (aritmetické průměry ze 4 opakování) – Content of hazardous elements in vegetable (mg.kg^{-1} of dry matter) (arithmetic means from 4 replications)

Rok ¹	Prvek ²	Kapusta ³ (hlávka ⁴)			Mrkev ⁵ (kořen ⁶)		
		kontrola ⁷	Labe Litol	Labe Jiřice	kontrola	Labe Litol	Labe Jiřice
1997	Hg	0,016	0,016	0,017	0,006	0,007	0,006
	Cd	0,027	0,035	0,037	0,066	0,063	0,077
	Pb	0,12	0,17	0,10	0,23	0,18	0,27
	As	0,19	0,20	0,19	0,14	0,15	0,19
1998	Hg	0,017	0,018	0,019	0,003	0,003	0,003
	Cd	0,04	0,04	0,05	0,17	0,17	0,14
	Pb	0,97	0,58	0,73	0,25	0,22	0,30
	As	0,13	0,08	0,15	0,09	0,08	0,08

¹year, ²element, ³cabbage, ⁴head, ⁵carrot, ⁶root, ⁷control

VII. Obsah organických xenobiotických látek v zelenině ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) – Content of organic xenobiotic substances in vegetable ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ of dry matter)

Rok ¹	Látka ²	Kapusta ³ (hlávka ⁴)			Mrkev ⁵ (kořen ⁶)		
		kontrola ⁷	Labe Litol	Labe Jiřice	kontrola	Labe Litol	Labe Jiřice
1997	chlorované a nitrované fenoly ⁸ monochlorfenoly dimethylfenoly dinitrofenoly methyl dinitrofenoly alkyldinitrofenoly	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000
	dichlorfenoly trichlorfenoly pentachlorfenol chlormethylfenoly (o,m,p)-nitrofenoly	< 200	< 200	< 200	< 50	< 50	< 50
	aromatické aminy ⁹ anilin methylaniliny ethylaniliny dimethylaniliny diethylaniliny chloraniliny dichloraniliny	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000
	nitroaromáty ¹⁰ nitrobenzeny nitrotolueny	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000
1998	všechny měřené ¹¹ chlorované a nitrované fenoly, aromatické aminy a nitroaromáty	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50

¹year, ²substance, ³cabbage, ⁴head, ⁵carrot, ⁶root, ⁷control, ⁸chlorinated and nitrated phenols, ⁹aromatic amines, ¹⁰nitroaromates, ¹¹all measured

VIII. Množství rizikových prvků a organických xenobiotických látek aplikovaných do půdy závlahou vodou z Labe ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) – Amount of hazardous elements and organic xenobiotic substances applied into soil with watering by Labe water ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Prvek, resp. látka ¹	Kontrolní profil ² Litol				Kontrolní profil Jiřice			
	hlávková kapusta ³		mrkev ⁴		hlávková kapusta		mrkev	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Hg	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd	1,5	0,4	1,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7
Pb	3,5	3,0	3,7	3,0	3,5	8,0	3,7	9,0
As	11,2	17,0	12,0	18,0	8,4	11,0	9,0	12,0
chlormethylfenoly	8,4	< 1	9,0	< 1	8,1	< 1	8,7	< 1
dimethylfenoly	4,5	2,1	4,8	3,6	3,4	2,4	3,6	4,2
(o,m,p)-nitrofenoly	< 1	< 1	< 1	< 1	3,6	< 1	3,9	< 1
methyl dinitrofenoly	6,2	3,4	6,6	5,9	7,3	2,9	7,8	5,0
dichloraniliny	0,6	< 0,1	0,6	< 0,1	0,6	< 0,1	0,6	< 0,1
nitrotolueny	0,6	0,5	0,6	0,8	< 0,1	0,3	< 0,1	0,6
dinitrotolueny	< 0,1	0,5	< 0,1	0,8	< 0,1	0,3	< 0,1	0,6

Dávka každého z neuvedených chlorovaných a nitrovaných fenolů byla $< 1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ a aromatických aminů a nitroaromátů $< 0,1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ – Dose of each of not mentioned chlorinated and nitrated phenols was $< 1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ and aromatic amines and nitroaromates $< 0,1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$
Závlahové množství vody z Labe⁵: 1997 u kapusty³ $2800 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (11 l/nádob⁶), u mrkve⁴ $3000 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (11,8 l/nádob⁶); 1998 u kapusty $1600 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (6,3 l/nádob⁶), u mrkve $2800 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (11 l/nádob⁶)

¹element or substance, ²control profile, ³cabbage, ⁴carrot, ⁵irrigation amount of Labe water, ⁶pot

Zálivka vodou z Labe v profilech Litol a Jiřice nebyla příčinou statisticky průkazného zvýšení obsahu žádného rizikového prvku ani OXL v půdě (tab. IV a V), hlávkách kapusty ani v kořenech mrkve (tab. VI a VII). Obsah každého rizikového prvku v půdě před pokusem i po něm byl mnohem nižší než limit kontaminace půdy pro lehké sedimentární substráty (Podlešáková et al., 1996). Obsah všech měřených chlorovaných a nitrovaných fenolů, aromatických aminů a nitroaromátů v půdě i zelenině byl menší než mez stanovitelnosti. Z výsledků je zřejmé, že dávky rizikových prvků a OXL, aplikované závlahovou vodou z Labe v profilech Litol a Jiřice, nejsou nebezpečné pro půdu ani plodiny. I při vysokém závlahovém množství jsou nízké (tab. VIII). Dávky rizikových prvků v pokusech byly v rozmezí od minimálně 1 g.ha⁻¹ (Hg) do maximálně 18 g.ha⁻¹ (As). Z měřených OXL byly v největším množství aplikovány některé chlorované a nitrované fenoly. Jejich dávky se však pohybovaly pouze v jednotkách g.ha⁻¹. Dávky aromatických aminů a nitroaromátů činily několik desetin g.ha⁻¹ a méně.

Získané poznatky o vlivu rizikových prvků v závlahové vodě na jejich obsah v půdě a plodinách jsou ve shodě s výsledky vegetačních nádobových a poloprovozních pokusů se závlahovou vodou z Labe, vedených VÚMOP Praha v první polovině 90. let (Zavadil, 1994). Bylo zjištěno, že závlaha vodou Labe je nevýznamným zdrojem jak rizikových prvků, tak i OXL v půdě a plodinách. Při těchto pokusech nebyl však obsah chlorovaných a nitrovaných fenolů aromatických aminů a nitroaromátů v závlahové vodě, půdě a plodinách měřen. Vyšetřením půdy a plodin (především zeleniny) na mutagenitu Amesovým testem bylo prokázáno, že v půdě

zavlažované vodou z Labe nedochází ke kumulaci mutagenních látek a k jejich transferu do rostlin. Většina studovaných vzorků půdy a plodin byla odebrána na Mělnicku na pozemcích zavlažovaných vodou z Labe více než 20 let.

Tato vědecká práce je realizačním výstupem řešení projektu NAZV EP7059 *Aktuální problémy jakosti závlahové vody*.

LITERATURA

- Černá M., Pastorková A., Šmíd J., Bavorová H., Očadlíková D., Zavadil J. (1996): Genotoxicity of industrial effluents, river waters, and their fractions using the Ames test and *in vitro* cytogenetic assay. *Toxicol. Lett.*, 88: 191–197.
- Kubát J., Rieder M., Leontovičová D., Junová D., Kopecká E. (1998): Jakost vody v tocích 1997. I. Povodí Labe, Vltavy a Ohře. II. Povodí Moravy a Odry. Praha, ČHMÚ.
- Podlešáková E., Němeček J., Hálová G. (1996): Návrh limitů kontaminace půd potenciálně rizikovými stopovými prvky pro ČR. *Rostl. Výr.*, 42, 1996 (3): 119–125.
- Zavadil J. (1994): Kontaminace půdy, plodin a podzemních vod cizorodými látkami ze závlahové vody. [Závěrečná zpráva.] Praha, VÚMOP. 32 s.
- Zavadil J., Bukovjan K. (1998): Výsledky monitoringu jakosti vody Labe pod Pardubicemi. *Chem. Listy*, 92: 551–561.
- ČSN 75 7143 (1991): Jakost vody pro závlahu. Praha.
- ČSN 75 7221 (1998): Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Praha.

Došlo 25. 3. 1999

Kontaktní adresa:

Ing. Josef Zavadil, CSc., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5-Zbraslav, Česká republika, tel.: 02/57 92 16 40, fax: 02/57 92 21 39, e-mail: zavadil@vumop.tel.cz

Upozornění pro autory vědeckých časopisů

Z důvodu rychlejšího a kvalitnějšího zpracování grafických příloh (grafů, schémat apod.) příspěvků zasílaných do redakce Vás žádáme o jejich dodání kromě tištěné formy i na disketách.

Pérovky mohou být zpracovány jako předloha pro skenování nebo mohou být dodány též jako bitmapa ve formátu ***.TIF** (600 DPI). Pro skenování by grafy neměly obsahovat šedivé plochy. Místo šedi se mohou použít různé typy černobílého šrafování.

Jestliže jsou **grafy vytvořeny v programu EXCEL**, je potřeba je dodat uložené v tomto programu (nestačí grafy naimportované do programu WORD).

Obrázky **nezasílejte** ve formátu **Harvard Graphics**, nýbrž vyexportované do některého z výše uvedených formátů.

VPLYV RÔZNYCH SPÔSOBOV OBRÁBANIA PÔDY NA JEJ FYZIKÁLNE A HYDROFYZIKÁLNE VLASTNOSTI

THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF SOIL CULTIVATION ON ITS PHYSICAL AND HYDROPHYSICAL PROPERTIES

K. Kováč, Š. Žák

Research Institute of Plant Production, Piešťany, Slovak Republic

ABSTRACT: In the field stationary trial conducted in the maize-growing region on degraded Chernozems in the years 1993 to 1997 four different types of soil cultivation to spring barley (T1 conventional, T2 reduced, shallow soil loosening to the depth 100 to 120 mm, T3 minimization-protective, shallow loosening and sowing with tillage-less drills, T4 direct seeding into uncultivated soil with drills Moore and Tye + glyphosate) and their effect on physical and hydrophysical soil properties were studied. The above properties were not more markedly affected by investigated types of soil cultivation in the given soil-ecological conditions. The trends of increase of bulk density of soil and its moisture in topsoil in the variants of protective soil cultivation (T3, T4) compared with conventional and reduced soil cultivation (T1, T2) and decrease of total porosity (T3, T4) and minimum air capacity (at T4) were recorded. The share of investigated factors (soil cultivation, soil layers, year) was changing in different years and entered significant interactions. Bulk density of soil, soil moisture and total porosity were significantly affected by interaction year x soil cultivation. The mentioned properties were also statistically significantly influenced by interaction year x soil layer. Strong significant dependence (according to the years 1993, 1995, 1996, $r = 0.738^{**}$, $r = 0.581^{+}$, $r = 0.715^{**}$) was found between bulk density of soil and soil moisture. Average field emergence rate of spring barley for all the studied years was at T1 88, T2 80, T3 76, T4 72%. The following grain yields and numbers of spikes in the sequence according to the investigated technologies were recorded on average at T1 5.79, T2 5.76, T3 5.53, T4 5.60 t.ha⁻¹ or 961, 907, 857, 876 spikes.m⁻². Slight indirect dependence (-0.197) was found between grain yield and bulk density of soil by comparison of grain yield dependence on physical soil properties, a slight direct dependence (+0.214) between yield and soil porosity and strong direct (significant) dependence (+0.728) between grain yield and maximum capillary water capacity.

Keywords: conventional and protective soil tillage; physical and hydrophysical soil properties

ABSTRAKT: V poľnom stacionárnom pokuse v kukuričnej oblasti na degradovaných hlinitých černozemiach v rokoch 1993 až 1997 boli sledované štyri rôzne spôsoby obrábania pôdy k jarnému jačmeňu (konvenčné, redukované, minimalizačno-ochranné, priama sejba do neobrobenej pôdy) a ich vplyv na fyzikálne a hydrofyzikálne vlastnosti pôdy. V daných pôdno-ekologických podmienkach sledované spôsoby obrábania pôdy uvádzané vlastnosti výraznejšie neovplyvnili. Boli zaznamenané tendencie zvýšenia objemovej hmotnosti pôdy a jej vlhkosti v ornici pri variantoch ochranného obrábania pôdy (T3, T4), v porovnaní s konvenčným a redukovaným obrábaním pôdy (T1, T2), a zníženia celkovej pórovitosti (T3, T4) a minimálnej vzdušnej kapacity (T4). Podiel sledovaných faktorov (obrábanie pôdy, vrstvy pôdy, ročník) sa v jednotlivých ročníkoch menil a vstupoval do preukazných interakcií. Objemovú hmotnosť pôdy, pôdnu vlhkosť a celkovú pórovitosť signifikantne ovplyvnila interakcia ročník x obrábanie pôdy. Uvedené vlastnosti štatisticky významne ovplyvnili i interakcia ročník x vrstva pôdy. Medzi objemovou hmotnosťou pôdy a pôdnu vlhkosťou sme zistili silnú preukaznú závislosť (podľa rokov 1993, 1995, 1996 $r = 0,738^{**}$, $r = 0,581^{+}$, $r = 0,715^{**}$).

Kľúčové slová: konvenčné a ochranné obrábanie pôdy; fyzikálne a hydrofyzikálne vlastnosti pôdy

ÚVOD

V širšom kontexte ekologizácie rastlinnej výroby patrí významné miesto pôdoochranným technológiám, ktoré sú založené na princípe ekologickej odôvodnenosti každého zásahu a jeho agronomickej účinnosti (Miština et al., 1993). Technológie využívajú ochranný efekt rastlinného krytu a strništných zvyškov, čím chránia pôdu pred eróziou a zlepšujú jej vlastnosti.

Najefektívnejším systémom obrábania pôdy s ohľadom na jej protieróznu ochranu je priama sejba do ne-

obrobenej pôdy. Čím dlhšie je obdobie priamej sejby na jednom stanovišti, tým sa zvyšuje protierózny efekt. Pôdoochranné obrábanie pôdy s výraznými ekologickými aspektami je dôležitou súčasťou integrovanej rastlinatej výroby (Kováč, 1994 a i.).

Rozhodujúcim kritériom pre výber spôsobu obrábania pôdy je ekonomika. Celý rad autorov uvádza, že bezorebné systémy spĺňajú nielen environmentálne, ale i ekonomické hľadiská (Žák et al., 1994; Marko et al., 1995).

Cieľom nášho výskumu bolo posúdiť vplyv konvenčného, redukovaného a ochranného obrábania pôdy v stacio-

nárnom oševnom postupe na zmenu jej základných fyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností.

MATERIÁL A METÓDA

Poľný pokus bol založený na pokusnej báze v Borovciach v nadmorskej výške 172 m. Zaujímavé územie sa nachádza v kukuričnej oblasti. Pôda je degradovaná černozem, vytvorená na hrubom sprašovom nánose. Pôda má stredný obsah fyzikálneho ílu. Humusový horizont je hlboký 0,4 až 0,5 m a je mierne diferencovaný na hornú (eluviálnu) a dolnú (iluviálnu) časť.

Vyznačuje sa priaznivým a vysokým obsahom prachových frakcií s optimálnym obsahom ílu. Z hľadiska fyzikálnych vlastností je ornica a podorničný horizont mierne zhutnený. Majú vysokú retenčnú schopnosť pre vodu a pomerne nízky bod vädnutia, čo podmieňuje vysokú využiteľnosť pôdnej vody. Obsah humusu v profile ornice je stredný a v podorničnom horizonte 2 nízky.

Poľný pokus bol stacionárny, polyfaktorový, založený blokovoou metódou v štyroch opakovaníach. Predplodiny: cukrová repa v roku 1992, kukurica na zrno v rokoch 1994 až 1995, repka olejná v roku 1996, pri ktorých sme skúšali spôsoby obrábania pôdy. Testovacou plodinou bol jarný jačmeň, odroda Orbit. Teplotné a zrážkové pomery hodnotených rokov sú uvedené v tab. I.

Varianty obrábania pôdy

T1 – konvenčná technológia: Pod jarný jačmeň orba na 0,18 až 0,20 m. Po orbe sa oráčina ošetrila vhodným náradím. Predsejbová príprava pôdy kombinátorom. Sejba sejačkou D8 30 AMAZONE.

T2 – redukovaná technológia: Po zbere predplodiny sa pôda plytko obrobila do hĺbky 0,10 až 0,12 m kyrením bez obracania radličkovým kypričom Lemken Smaragd. Na predsejbovú prípravu pôdy sa použili stroje s aktívnym pohybom pracovných orgánov (kombinovaný rotačný kyprič s utlačovacím valcom KG 301 AMAZONE). Sejba sejačkou D8 30 AMAZONE.

T3 – minimalizačno-ochranná technológia: Na jeseň plytké kyrenie bez obracania pomocou Lemken Smaragd. Na jar sejba bezorebnou sejačkou, resp. strojom s prípravou pôdy a so súčasťou sejbou. V roku 1993 sa použil systém Rau, v roku 1995 Horsch a v rokoch 1996 a 1997 sejba sejačkou Tye.

T4 (PS) – priama sejba do neobrobenej pôdy + glyphosate: Bola použitá slama ako mulč. Množstvo rastlinnej (mulčovanej) slamy bolo podľa rokov 2,78, 4,33, 2,78, 3,14 t.ha⁻¹. Použité sejačky Moore (1993, 1995), Tye (1996, 1997).

Odbery pôdy boli vykonávané na jar, v máji po vzídení jarného jačmeňa. Fyzikálne vlastnosti sme stanovovali Kopeckého metódou, vo valčekoch o objeme 100 cm³ v štyroch opakovaníach a v hĺbkach: 0,05 až 0,10, 0,15 až 0,20, 0,25 až 0,30 m. Získané výsledky sme štatisticky zhodnotili analýzou rozptylu, resp. korelačnou a regresnou analýzou.

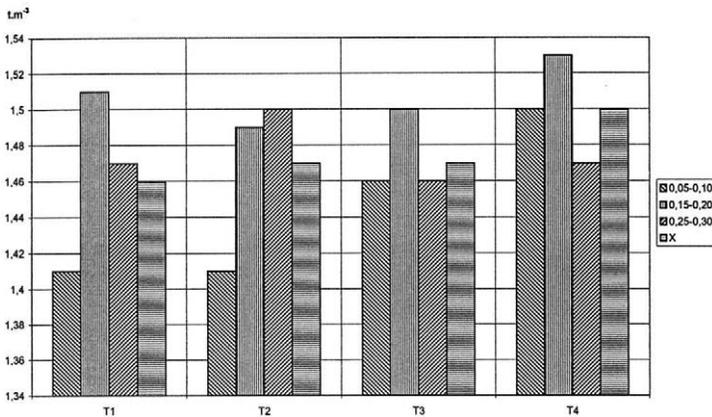
VÝSLEDKY

Priemerná objemová hmotnosť pôdy v pokuse za všetky roky, vrstvy a varianty bola 1,48 t.m⁻³ (obr. 1). Podľa variantov obrábania pôdy sa pohybovala od 1,46 t.m⁻³ (T1) do 1,50 t.m⁻³ (T2). Rozdiely boli vcelku malé a štatisticky nepreukazné. Väčšie rozdiely v objemovej hmotnosti pôdy boli medzi vrstvami pôdy, ktoré

I. Prehľad mesačných zrážok (mm) a denných teplôt (°C) v rokoch 1993 až 1997 (Piešťany) – Survey of monthly precipitation (mm) and daily temperatures (°C) in the years 1993 to 1997 (Piešťany)

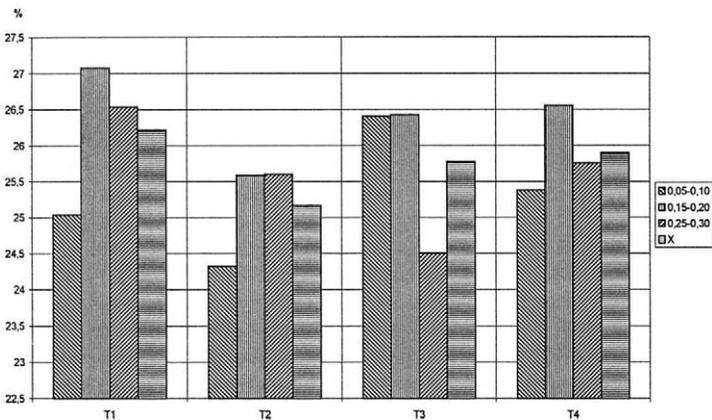
Rok ¹	Mesiac ²												Σ
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
	Zrážky ³												
Normál ⁵	32	33	32	43	54	80	76	68	38	42	51	46	595
1993	22,0	18,9	9,6	11,4	28,2	48,6	71,2	62,9	32,8	79,4	35,7	71,9	492,6
1994	52,4	10,2	16,9	104,4	67,1	45,3	76,5	126,4	84,9	85,8	19,6	43,3	692,8
1995	42,6	36,4	54,5	58,8	86,3	91,4	28,1	55,9	68,7	8,2	26,0	38,0	594,9
1996	20,7	14,1	15,5	82,1	116,3	67,5	36,3	81,3	66,8	35,5	14,9	11,0	562,1
1997	15,0	27,0	10,1	26,9	54,9	53,1	190,9	11,0	11,8	14,1	104,0	17,9	536,7
	Teploty ⁴												
Normál	-1,8	0,2	4,2	9,4	14,1	17,7	18,9	18,7	14,5	9,6	4,6	0,3	9,2
1993	-1,2	-2,3	2,7	10,3	17,1	18,0	18,6	19,3	14,8	11,1	1,7	1,5	9,3
1994	2,9	1,0	6,9	9,8	14,5	18,2	22,4	20,7	16,5	7,9	5,3	1,3	10,6
1995	-1,4	4,3	3,9	9,9	14,1	17,0	22,1	18,9	13,6	11,0	2,2	-0,3	9,6
1996	-2,5	-3,2	1,5	10,0	15,9	18,4	17,8	18,8	11,6	10,4	6,8	-2,7	8,6
1997	-2,8	1,8	4,6	7,1	15,9	19,1	19,0	20,9	15,4	7,9	5,4	2,2	9,7

¹year, ²month, ³precipitation, ⁴temperatures, ⁵normal



1. Priemerná objemová hmotnosť pôdy vo vrstvách 0,05 až 0,30 m pri rôznych spôsoboch jej obrábania v rokoch 1993 až 1997 ($t \cdot m^{-3}$) – Average bulk density of soil in the layers 0.05 to 0.30 m at different types of its cultivation in the years 1993 to 1997 ($t \cdot m^{-3}$)

os x: varianty obrábania pôdy – x axis: variants of soil cultivation



2. Priemerná vlhkosť pôdy vo vrstvách 0,05 až 0,30 m pri rôznych spôsoboch jej obrábania v rokoch 1993 až 1997 (obj. %) – Average soil moisture in the layers 0.05 to 0.30 m at different types of its cultivation in the years 1993 to 1997 (vol. %)

os x: varianty obrábania pôdy – x axis: variants of soil cultivation

dosiahli priemerné hodnoty (v poradí vrstiev 0,05 až 0,10, 0,15 až 0,20, 0,25 až 0,30 m) 1,46, 1,52, 1,46 $t \cdot m^{-3}$ a boli štatisticky vysokopreukazné. Pri všetkých variantoch obrábania pôdy s výnimkou variantu T4 (priama sejba) bola priemerná objemová hmotnosť pôdy nižšia vo vrstve 0,05 až 0,10 m (vysokopreukazne) v porovnaní s ostatnými vrstvami. Čo sa týka hĺbky pôdy, bola najvyššia (s malou odchýlkou pri variante T2) vo vrstve 0,15 až 0,20 m (1,52 $t \cdot m^{-3}$). Objemová hmotnosť pôdy v jednotlivých rokoch je uvedená v tab. II, z ktorej vyplýva, že v jednotlivých rokoch sa objemová hmotnosť pôdy postupne menila (podľa rokov 1,41, 1,50, 1,50, 1,48 $t \cdot m^{-3}$). Rozdiely boli vysokopreukazné. Variabilita objemovej hmotnosti pôdy bola štatisticky významná interakciou obrábania pôdy x roky. Najvyššiu ročnú variabilitu sme zistili pri variantoch T4 (114 %) a T3 (112 %).

Priemerná celková pórovitosť pôdy v pokuse bola 40,63 % a pri pokusných variantoch sa pohybovala od 40,79 % (T2) do 41,38 % (T1). Rozdiely boli malé a štatisticky nepreukazné. Väčšie rozdiely v celkovej pórovitosti pôdy boli medzi jej vrstvami (štatisticky vysokopreukazné) v poradí podľa vrstiev (smerom do hĺbky) 41,98, 39,54, 40,36 %. Variabilita celkovej pórovitosti

pôdy bola štatisticky významne ovplyvnená rokmi. Výsledky v jednotlivých rokoch sú uvedené v tab. II. Štatisticky významný vplyv na celkovú pórovitosť pôdy sme zaznamenali vplyvom interakčného pôsobenia obrábania pôdy x roky (vysokopreukazne).

Priemerná minimálna vzdušná kapacita pôdy v pokuse bola 6,36 %. Podľa skúšaných variantov sa pohybovala od 6,21 % (T1) do 7,17 % (T3). Analýza variancie ukázala, že rozdiely boli štatisticky nepreukazné. Podľa vrstiev pôdy bola priemerná minimálna vzdušná kapacita 7,53, 5,40, 6,14 % obj. Rozdiely boli preukazné. Najväčšie rozdiely boli vo vrchnej vrstve. Zo skúšaných variantov obrábania pôdy sme najnižšiu hodnotu zaznamenali pri variante T4 (priama sejba).

Výsledky pôdnej vlhkosti v obj. % sú znázornené na obr. 2, z ktorého je zrejme, že priemerná vlhkosť pôdy v pokuse (za všetky varianty, vrstvy a roky) bola 25,76 % obj. Pri jednotlivých variantoch sa pohybovala od 25,17 % (T2) do 26,22 % (T1). Rozdiely v pôdnej vlhkosti medzi sledovanými spôsobmi obrábania pôdy boli nepreukazné, podobne i rozdiely v pôdnej vlhkosti medzi sledovanými vrstvami. Priemerná vlhkosť pôdy v sledovaných rokoch sa výrazne menila (tab. II). Variabilita pôdnej vlhkosti bola v jednotlivých rokoch

II. Základné fyzikálne a hydrofyzikálne vlastnosti pôdy pri rôznych spôsoboch jej obrábania v rokoch 1993 až 1997 – Basic physical and hydrophysical soil properties at different types of its cultivation in the years 1993 to 1997

Variant ¹	Vrstva ²	1993				1995				1996				1997			
		O	P	W	MKVK												
T ₁	0,05–0,10	1,38	45,05	23,85	35,25	1,41	44,10	26,80	32,30	1,43	43,60	17,90	39,40	1,41	44,25	31,60	36,80
	0,15–0,20	1,44	43,05	25,60	36,65	1,57	37,80	31,20	33,20	1,52	39,80	21,60	36,30	1,51	40,22	29,90	34,40
	0,25–0,30	1,44	39,65	25,45	33,45	1,52	35,80	29,50	31,90	1,43	43,60	23,00	38,40	1,47	39,68	28,20	34,00
	\bar{x}	1,43	42,58	24,97	35,12	1,50	39,23	29,17	32,47	1,46	42,33	20,83	38,03	1,46	41,38	29,90	35,07
T ₂	0,05–0,10	1,42	43,60	23,80	35,20	1,44	42,90	26,60	32,80	1,36	46,20	20,20	37,20	1,41	44,23	26,70	32,10
	0,15–0,20	1,44	43,20	25,75	37,20	1,54	35,40	27,80	30,60	1,53	39,40	23,10	35,90	1,49	39,33	25,70	32,45
	0,25–0,30	1,51	40,20	25,90	36,75	1,50	36,60	27,00	30,40	1,49	41,00	24,00	35,50	1,50	39,21	25,50	32,40
	\bar{x}	1,46	42,33	25,15	36,38	1,44	38,30	27,13	31,27	1,46	42,20	22,43	36,20	1,47	40,92	25,97	32,32
T ₃	0,05–0,10	1,39	44,80	24,65	37,65	1,37	45,70	24,50	31,10	1,57	33,80	24,70	33,80	1,50	40,90	31,80	36,70
	0,15–0,20	1,37	45,65	23,90	33,85	1,49	40,90	28,90	32,80	1,59	34,30	25,00	34,30	1,53	40,30	27,90	32,80
	0,25–0,30	1,36	46,15	23,85	35,80	1,48	41,40	23,70	31,90	1,45	39,10	24,10	39,10	1,53	39,50	26,40	34,15
	\bar{x}	1,38	45,53	24,13	35,77	1,45	42,67	25,70	31,93	1,54	35,73	24,60	35,73	1,52	40,23	28,70	34,55
T ₄	0,05–0,10	1,39	44,65	20,90	37,75	1,62	35,80	28,10	31,90	1,48	41,40	20,90	37,20	1,50	40,90	31,60	34,15
	0,15–0,20	1,35	46,65	22,45	34,70	1,55	38,60	27,70	31,50	1,63	35,70	26,30	35,10	1,58	37,95	29,80	34,60
	0,25–0,30	1,35	46,90	22,45	35,05	1,52	39,80	26,30	29,90	1,49	41,00	25,10	35,20	1,52	40,15	29,20	33,75
	\bar{x}	1,37	46,07	21,93	35,83	1,56	38,07	27,37	31,10	1,53	39,37	24,10	35,83	1,53	39,67	30,20	34,17
HD pre varianty ³	0,01	0,14	7,57	3,00	6,85	0,23	12,06	6,08	9,29	0,21	9,29	5,89	7,38	0,20	3,31	4,00	4,65
	0,05	0,10	5,27	2,09	4,76	0,16	8,39	4,23	6,47	0,15	6,47	4,10	5,14	0,14	2,30	2,79	3,23

 O = objemová hmotnosť pôdy – bulk density of soil (t.m⁻³)

P = celková pórovitosť pôdy – total porosity of soil (%)

W = vlhkosť pôdy – soil moisture (%)

MKVK = maximálna kapilárna vodná kapacita – maximum capillary water capacity (%)

¹variant, ²layer, ³for variants

rozdielna, pričom v roku 1997 bola najvyššia pri variante T4. Zo štatistického hodnotenia priemernej pôdnej vlhkosti v pokuse vyplýva, že jej variabilitu signifikantne ovplyvnila interakcia ročník x obrábanie pôdy a interakcia ročník x vrstva pôdy (vysokopreukazne).

V pokuse sme sledovali i maximálnu kapilárnu vodnú kapacitu, ktorú skúšané spôsoby obrábania pôdy signifikantne neovplyvnili. Neopreukazné rozdiely boli i medzi vrstvami pôdy. Signifikantnú variabilitu maximálnej kapilárnej vodnej kapacity sme zaznamenali medzi ročníkmi (tab. II).

DISKUSIA

Fyzikálne vlastnosti pôdy predstavujú súbor pôdnych vlastností, ktoré významnou mierou ovplyvňujú priebeh a rýchlosť rôznych fyzikálno-chemických a biologických procesov, preto ich vhodné úpravy sa môže ovplyvniť reprodukčný proces pestovania plodín (Hraško, Bedrna, 1988; Ambruš, 1992). Priemerné úrody jarného jačmeňa boli podľa rokov 5,81 (1993), 5,25 (1995), 6,48 (1996), 5,15 t.ha⁻¹ (1997). Podľa rôznych autorov (napr. Lhotský, 1991) prekročenie hranice 1,5 t.m⁻³ objemovej hmotnosti pôdy v ornici na stredne ťažkých pôdach znamená prekročenie kritickej hranice nežiaduceho zhutnenia pôdy. V priemere za celé pokusné obdobie sme zaznamenali túto hodnotu pri variante T4 (priama sejba do neobrobenej pôdy), pričom vo vrstve 0,15 až 0,20 m sa pri tomto variante dosiahla hodnota až 1,53 t.m⁻³. V jednotlivých rokoch hodnoty objemovej hmotnosti pôdy s výnimkou prvého pokusného ročníka sa pohybovali od 1,53 do 1,55 t.m⁻³. Z agronomického hľadiska sa na fyzikálne podmienky pôdy pri zakladaní porastu obilnín kladú diferencované požiadavky. Vrchná vrstva pôdy má byť spravidla do hĺbky sejby kyprejšia (objemová hmotnosť pôdy okolo 1,0 t.m⁻³). Vrstva lôžka pre osivo má byť uľahnutá prirodzeným spôsobom, alebo sa upraví podľa potreby tak, aby dosiahla hodnoty 1,30 až 1,45 t.ha⁻³ (Miština et al., 1993 a i.). Z hľadiska diferencovaných parametrov fyzikálneho stavu lôžka pre osivo jarného jačmeňa zabezpečovali zo skúšaných spôsobov obrábania pôdy približne podobný stav varianty obrábania pôdy T1 a T2. Pokiaľ ide o ochranné obrábanie pôdy, diferencované parametre fyzikálneho stavu pôdy pre jačmeň zo skúšaných systémov zabezpečovali v roku 1993 Rau a v roku 1995 Horsch (T3).

Zrkladovým obrazom objemovej hmotnosti pôdy je celková pórovitosť, ktorej limitné hodnoty na stredne ťažkých pôdach (napr. Lhotský, 1991) predstavujú 45 %. Z našich výsledkov vyplýva, že pri všetkých skúšaných variantoch obrábania pôdy sme zaznamenali nižšie hodnoty celkovej pórovitosti pôdy, ako sú uvádzané limitné hodnoty. Naše výsledky korešpondujú s predchádzajúcim výskumom (Ambruš, 1992) v rokoch 1989 až 1991. Citovaný autor na rovnakom stanovišti v ornici na variante klasického obrábania pôdy k jarnému jačmeňu zistil pri odbere v májovom termíne celkovú pórovitosť (podľa rokov) 41,4, 40,0, 39,6 %. Dosiahnuté hodnoty na degradovaných černoziach, tak ako ich prezentuje

Fulajtár (1986), v porovnaní s našim pokusom sú však vyššie. Štatistickým hodnotením výsledkov v celkovej pórovitosti pôdy analýzou variancie sme zistili, že obrábanie pôdy ju signifikantne neovplyvnilo. Rozdiely sú malé. Slabé tendencie vyššej pórovitosti sú v prospech variantov obrábania pôdy T1 a T2.

Podobné výsledky ako pri celkovej pórovitosti sa dosiahli i pri minimálnej vzdušnej kapacite. Za kritickú hranicu minimálnej vzdušnej kapacity pre všetky druhy pôdy sa považuje hranica 10 %. Vo všetkých variantoch obrábania pôdy poklesla vzdušná kapacita pod túto hranicu.

Vzhľadom na poveternostné podmienky obrábanie pôdy ovplyvnilo pôdnu vlhkosť diferencovane, najmä v suchších ročníkoch. Z hľadiska sledovaných ukazovateľov bola pôdna vlhkosť najviac ovplyvnená obrábaním pôdy, a to interakciou obrábanie x ročník (vysokopreukazne). V priemere za všetky roky pokusu bola pri variantoch T3 a T4 slabá tendencia vyššej pôdnej vlhkosti v porovnaní s variantami T1 a T2. Výsledky sú v zhode s poznatkami, ktoré publikovali Suškevič, Odložilík (1986), Marko et al. (1995) a ďalší.

Priemerná poľná vzhádzavosť jarného jačmeňa za všetky sledované roky bola pri T1 88, T2 80, T3 76, T4 72 %. V priemere za sledované technológie sme zaznamenali úrody zrna a počty klasov v poradí podľa sledovaných technológií pri T1 5,79, T2 5,76, T3 5,53, T4 5,60 t.ha⁻¹, resp. 961, 907, 857, 876 klasov.m⁻² (Kováč, 1998).

Porovnávaním závislosti úrody zrna od fyzikálnych vlastností pôdy sme zistili medzi úrodou zrna a objemovou hmotnosťou pôdy slabú nepriamu závislosť (-0,197), medzi úrodou a pórovitosťou zeminy slabú priamu závislosť (+0,214) a medzi úrodou zrna a maximálnou kapilárnou vodnou kapacitou silnú priamu (signifikantnú) závislosť (+0,728).

V zhode s poznatkami iných autorov (Fulajtár, 1986; Ambruš, 1992 a i.) bola obrábaním pôdy najmenej ovplyvnená maximálna kapilárna vodná kapacita, ktorú však signifikantne ovplyvnil ročník.

LITERATÚRA

- Ambruš J. (1992): Výskum vplyvu zhutňovania pôdy pod jarným jačmeňom na fyzikálne vlastnosti pôdy. [Záverčná správa.] Piešťany, VÚRV. 30 s.
- Fulajtár E. (1986): Fyzikálne vlastnosti pôd Slovenska, ich úprava a využitie. Poľnohosp. Veda, Sér. A (1): 156 s.
- Hraško J., Bedrna Z. (1988): Aplikované pôdoznanectvo. Bratislava, Príroda. 474 s.
- Kováč K. (1994): Vplyv ochranného obrábania pôdy na zmenu jej fyzikálnych vlastností. In: Zbor. Ref. odb. Semin. Pôdochranné technológie pestovania rastlín, Piešťany, VÚRV: 36-41.
- Kováč K. (1998): Technológie obrábania pôdy k jačmeňu siatemu jarnému. In: Kubinec S., Kováč K. a kol.: Progresívne technológie pestovania jarného jačmeňa. Piešťany, VÚRV. 82 s.

- Lhotský J. (1991): Komplexní agromeliorační soustavy pro zhutnělé půdy. Met. Závad. Výsl. Výzk. Praxe (20).
- Marko F., Kováč K. a kol. (1995): Rozširovanie pestovania obilnín a olejnin bezorebnou technológiou. [Závěrečná správa.] Piešťany, VÚRV. 34 s.
- Mišťina T., Kováč K. a kol. (1993): Ochranné obrábanie pôdy. Piešťany, VÚRV. 165 s.
- Suškevič M., Odložilík S. (1986): Změny fyzikálních vlastností černozemní půdy vyvolané systémy zpracování půdy. Rostl. Výr., 32 (11): 1131–1140.
- Žák Š., Briedík D., Hubináková L. (1994): Vplyv netradičných technologických postupov na tvorbu a kvalitu úrod cukrovej repy a niektoré fyzikálne vlastnosti pôdy. [Závěrečná správa.] SELEKT, Bučany, VŠÚ. 73 s.

Došlo 10. 8. 1998

Kontaktná adresa:

Doc. Ing. Karol Kováč, CSc., Výskumný ústav rastlinnej výroby, Bratislavská cesta 122, 921 68 Piešťany, Slovenská republika, tel.: 00421 838/772 23 26, fax: 00421 383/772 63 06

VPLYV HNOJENIA NA KVALITU SUŠINY SENA ASOCIÁCIE *LOLIO-CYNOSURETUM TYPICUM*

EFFECT OF FERTILIZATION ON THE QUALITY OF HAY DRY MATTER IN THE ASSOCIATION *LOLIO-CYNOSURETUM TYPICUM*

R. Holúbek, J. Jančovič, M. Babelová

Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic

ABSTRACT: In the period from 1992 to 1995, primary and secondary metabolic contents of anthropogenically influenced semi-natural grassland (association *Lolium-Cynosuretum typicum*) of the Strážovské vrchy locality were observed. Non-fertilized control and variant fertilized with 90 kg N.ha⁻¹ + 30 kg P.ha⁻¹ were compared in our experiment. The plants were used three times during their vegetation period: first mowing – in the growing phase of the beginning of tasseling of the prevailing grass types; second mowing – four or five weeks later; third mowing – six or eight weeks after the second mowing. Chemical analyses carried out by the laboratories of the Research Institute of Agriculture in Nyone and Department of Fodder Growing, Slovak University of Agriculture in Nitra showed that dry non-fertilized semi-natural grasslands contained on average 14.25 to 16.45% crude protein, 8.88 to 10.12% PDI, 5.49 to 5.90 MJ.kg⁻¹ dry matter NEL, 20.03 to 21.03% fibre, 5.50 to 6.08% lignin and that dry matter contained 70.27 to 72.58% of digestible organic matter. The fertilized variant produces the average value of dry matter of hay with equivalent crude protein content and PDI compared with non-fertilized control with a significant low value of NEL and higher value of lignin content, which is also reflected in its lower digestible organic matter. A relatively high portion of dicotyledon types (40 to 50%) in decayed state was shown by high value of IANP with a maximum of 165.05 in the second mowing in the non-fertilized variant and 175.15 in the third mowing in the variant fertilized with nitrogen and phosphorus. Fertilized plants contain on average 15.12 to 16.85% crude protein, 9.51 to 10.07% PDI, 5.42 to 5.69 MJ.kg⁻¹ dry matter NEL, 20.28 to 21.79% fibre and 5.77 to 6.20% lignin in dry matter. Digestion of organic matter is rated as good (69.49% in the third mowing and 71.39% in the first mowing).

Keywords: semi-natural grassland; fertilization; primary and secondary metabolites; digestion of organic matter

ABSTRAKT: V rokoch 1992 až 1995 sa na antropogénne ovplyvňovanom poloprirodnom trávnom poraste (asociácia *Lolium-Cynosuretum typicum*) v lokalite Strážovských vrchov sledoval obsah primárnych a sekundárnych metabolitov. V experimentoch sa porovnávala nehnojená kontrola (variant 1) s variantom 2 hnojeným 90 kg N.ha⁻¹ + 30 kg P.ha⁻¹. Porasty sa využívali trikrát počas vegetačného obdobia: prvá kosba v rastovej fáze začiatok klásenia prevládajúcich druhov tráv; druhá kosba o štyri až päť týždňov; tretí kosba o šesť až osem týždňov po druhej kosbe. Chemickými rozbormi, vykonanými laboratóriami Výskumného ústavu poľnohospodárskeho v Nyone a katedry krmovinárstva SPU v Nitre, sme zistili, že sušina nehnojených poloprirodných trávnych porastov obsahuje priemerne 14,25 až 16,45 % N-látok, 8,88 až 10,12 % PDI, 5,49 až 5,90 MJ.kg⁻¹ sušiny NEL, 20,03 až 21,03 % vlákničky, 5,50 až 6,08 % lignínu a má 70,27 až 72,58 % stráviteľnosť organickej hmoty. Hnojený variant produkuje sušinu sena s vyrovnaným obsahom N-látok a PDI v porovnaní s nehnojenou kontrolou s nepreukazne nižšími hodnotami NEL a vyššími hodnotami obsahu lignínu, čo sa premieta i v nižšej stráviteľnosti organickej hmoty. Relatívne vysoký podiel dvojklíčnolistových druhov (40 až 50 %) na eutrofizovanom stanovišti sa prejavil vysokými hodnotami IANP s maximom 165,05 v druhej kosbe v nehnojenom variante a 175,15 v tretej kosbe vo variante hnojenom dusíkom a fosforom. Hnojený porast obsahuje v sušine sena priemerne 15,12 až 16,85 % N-látok, 9,51 až 10,07 % PDI, 5,42 až 5,69 MJ.kg⁻¹ sušiny NEL, 20,28 až 21,79 % vlákničky a 5,77 až 6,20 % lignínu. Stráviteľnosť organickej hmoty hodnotíme ako dobrú (69,49 % v tretej a 71,39 % v prvej kosbe).

Kľúčové slová: poloprirodný trávny porast; hnojenie; primárne a sekundárne metabolity; stráviteľnosť organickej hmoty

ÚVOD

Poloprirodné trávne porasty (PTP) zohrávajú dôležitú úlohu v toku hmoty a energie v biosfére a zároveň sú dôležitou súčasťou poľnohospodárskych sústav. Analýzy súčasného stavu vo vzťahu k možnostiam ďalšieho

skvalitňovania poľnohospodárskej výroby všeobecne poukazujú na to, že PTP sú potenciálnym zdrojom efektívneho získavania objemových krmív a zvyšovania ich kvality (Krajčovič a kol., 1968; Lichner a kol., 1977; Holúbek, 1991). Kvalita tejto sekundárnej vegetácie však len zriedka zodpovedá potrebám a požiadavkám

výživy zvierat (Rychnovská a kol., 1985; Holúbek, 1991).

Zvýšenie produkcie fytohmoty trávnych porastov podmieňuje predovšetkým výživa a hnojenie organickými a minerálnymi hnojivami (Klapp, 1971; Velich, 1986; Holúbek, 1991; Krajčovič, 1996 a i.). Kvalita produkcie trávnych porastov je limitovaná obsahom živín, klimatickými podmienkami, frekvenciou využívania a najmä fytoocenologickým zložením (Ščehovič, 1994; Holúbek, 1997). Odporúčané fytoocenologické zastúpenie floristických skupín (50 až 60 % tráv, 20 až 30 % leguminóz a 20 % ostatných bylín, Klapp, 1971) je po intenzívnom hnojení dusíkom ťažko realizovateľné. Systematické hnojenie vyššími dávkami dusíka (nad 100 kg.ha⁻¹) postupne vedie k vytvoreniu zjednodušených, prevažne trávnych spoločenstiev (85 až 90 % tráv). Počet významných druhov s pokryvnosťou nad 1 % je v negatívnej lineárnej korelácii s dávkami dusíka (Velich, 1986). Táto významná simplifikácia lúčnych fytoocenóz sa premieta do nutričnej hodnoty, chutnosti a stráviteľnosti krmu a väčšej závislosti produkcie od meteorologických podmienok. V záujme objektívneho posúdenia kvality sušiny sena sa v ostatných rokoch sleduje okrem primárnych metabolitov tiež obsah sekundárnych metabolitov a ich vplyv na kŕmnu hodnotu trávnych porastov (Ščehovič, 1994; Holúbek, 1997).

MATERIÁL A METÓDA

Fytoocenologické, produkčné a nutričné ukazovatele sušiny sena sme sledovali v rokoch 1992 až 1995 po dlhodobom košarovaní mladým dobytkom na eutrofizovaných poloprirodných trávnych porastoch v oblasti Strážovských vrchov (lokalita Chvojnica) ako súčasť projektu A-61 G.

Z hľadiska fytoocenologického členenia patrí toto územie do oblasti západokarpatskej flóry (*Praecarpaticum*). Fytoocenologicky PTP s prevahou druhov so strednou až vysokou kŕmnu hodnotou predstavuje asociácia *Lolium-Cynosuretum typicum* R. Tx. 1937 – zväz *Cynosurion* (Jurko, 1974). Tvoria ju extrémne spásané spoločenstvá údolných pasienkov aluviálnych nív až do podhorského stupňa s charakteristickou trávou asociácie *Lolium perenne*, ktorá na pôdach s vyšším obsahom štrku podlieha konkurencii odolnejších druhov, ako je *Festuca rubra* a *Agrostis vulgaris*, ktoré ju postupne vytlačujú. Na miestach s intenzívnymi antropogénnymi zásahmi sa asociácia približuje k zošľapovaným spoločenstvám zväzu *Polygonion avicularis*, s ktorým má veľa spoločných znakov. V rámci asociácie *Lolium-Cynosuretum* je v horských dolinách vyčlenená subsociácia *Lolium-Cynosuretum alchemilletosum* (Grodz. et Zarz 65) emend. Jurko 69. Vytvára prechod k horským pasienkom a prechod k asociácii *Anthoxatho-Agrostietum*. Okrem *Lolium perenne* k charakteristickým (významným) druhom patria: *Cynosurus cristatus*, *Phleum pratense*, *Anthoxanthum odoratum*, *Briza media*, *Trifolium repens*, *Bellis perennis*, *Leontodon autumnalis*, *Hypochaeris radicata*,

Plantago lanceolata, *Vicia cracca*, *Centaurea jacea*, *Tragopogon orientalis*.

Klimaticky patrí celé územie do oblasti mierne teplej, okrsku mierne teplého, vlhkého, vrchovinného, s ročným úhrnom zrážok 600 až 800 mm. Klimatickú charakteristiku experimentálnych rokov uvádzame v tab. I.

Geologická stavba je tvorená horninami proteozoika a kenozoika. Prevažujú tu illimerizované až oglejené pôdy na polygénnych hlinách a hnedé pôdy. Zistené hodnoty sorpčných vlastností v pôde pokusného stanovišťa sú adekvátne pôdam typu kambizeme, ktorých charakteristickým znakom sú nižšie parametre pôdnej úrodnosti.

Pôdna reakcia je vo vrchnej časti pôdneho profilu (do 150 mm) extrémne kyslá, nedosahuje ani 4,2 pH/KCl. Celkový obsah dusíka dosahuje strednú úroveň, obsah fosforu je nízky (15,76 mg.kg⁻¹), obsah prístupného horčíka stredný (68,00 mg.kg⁻¹) a obsah draslíka štvornásobne prekračuje hodnoty zodpovedajúce vysokému obsahu (696 mg.kg⁻¹).

Vplyv výživy a využívania PTP sme sledovali v štyroch opakovaníach bez inputu minerálnych hnojív (nehnojená kontrola – variant 1) a pri dávke 90 kg N.ha⁻¹ + 30 kg P.ha⁻¹ (variant 2). Fosfor sme aplikovali na jar pred začiatkom vegetácie, dusík v rovnakých dávkach na jar, po prvej a po druhej kosbe. Draslík sme neaplikovali kvôli jeho vysokému obsahu v pôde.

Porasty sme využívali v senokosnej zrelosti (tri kosby). Z odobratých vzoriek sme v laboratóriách katedry krmovinnárstva SPU v Nitre a Výskumného ústavu poľnohospodárskeho v Nyone stanovili:

1. obsah sušiny (pri 105 °C do konštantnej hmotnosti)
2. obsah organických látok v sušine:
 - koncentrácia dusíka – Kjeldahlovou metódou, obsah dusíkatých látok sme vypočítali podľa vzťahu: NL = N x 6,25
 - lignín a celulóza – gravimetricky pomocou trietylénglykolu aktivovanej kyselinou chlorovodíkovou
 - obsah lignocelulózy – gravimetricky pomocou kyslého detergentu ADS, rozpusteného v N-acetyl-N,N,N-trimetylamóniu
 - rozpustné fenoly (CPFS) a nerozpustné fenolové kyseliny (CPFI) – v metanolovom extrakte, v ktorom dochádza k redukcii prítomných fenolov v alkalickom prostredí; z farebného komplexu, vytvoreného reakciou molybdénových a volfrámových solí s fenolovými látkami, sa spektrofotometricky stanovila intenzita modrého sfarbenia roztoku odmeraním extinkcie; lineárny vzťah medzi optickou hustotou a obsahom fenolov umožňuje vypočítať koncentráciu podľa týchto vzťahov:

CPFS = (extinkcia CPFS x 0,8877 – 0,0066) x 500 obsah sušiny vo vzorke (% sušiny)

CPFI = (extinkcia CPFI x 0,8877 – 0,0066) x 500 obsah sušiny vo vzorke (% sušiny)

- stráviteľnosť organickej hmoty (SOH) – Ščehovič (1994):

Rok ¹ Kosba ²	1992			1993			1994			1995		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Dni rastu ³	38	48	78	43	48	56	42	49	56	36	36	70
Suma teplôt ⁴ (°C)	443,9	871,7	1 176,9	672,3	722,0	1 324,0	520,3	826,6	1 011,3	323,1	549,5	1 162,6
Úhrn zrážok ⁵ (mm)	82,8	99,3	88,1	48,3	73,5	185,0	277,2	95,0	257,5	186,0	110,5	246,0
Suma slnečného svitu ⁶ (h)	313,2	443,4	560,2	363,3	357,4	400,2	292,6	427,3	459,2	230,4	259,5	665,2
Ročný úhrn zrážok ⁷ (mm)	603,1			518,4			943,1			835,5		
Celoročný slnečný svit ⁸ (h)	1 986,4			1 880,3			1 804,0			1 733,8		

¹year, ²cut, ³days of growth, ⁴sum of temperatures, ⁵sum of precipitation, ⁶sum of sunlight, ⁷annual sum of precipitation, ⁸annual sunlight, ⁹total

$$\text{SOH} = 34,286 - 1,295 L + 0,589 \times (113,71 - 1,222 \text{ LC} + 0,462 \text{ CV} - 10,85 \text{ CPFI})$$

kde: L – obsah lignínu v sušine PTP (%)
 LC – obsah lignocelulózy v sušine PTP (%)
 CV – obsah celulózy v sušine PTP (%)
 CPFI – obsah esterifikovaných fenolových kyselín v sušine PTP (%)

- skutočne stráviteľné dusikaté látky v tenkom čreve (PDI) a energetickú hodnotu PTP – Sommer a kol. (1994)
- obsah vlákniny – Hennenberg-Stohmanovou metódou
- index potenciálnej negatívnej aktivity (IANP) – Ščehovič (1994):

$$\text{IANP} = 100 - (100 \times \text{PLE/PLT})$$

kde: PLE – fenoly uvoľnené za prítomnosti extraktu
 PLT – fenoly uvoľnené bez prítomnosti extraktu

Detailnejšie metodické postupy experimentálnych prác uvádzajú Jančovič, Holúbek (1999).

Dosiahnuté výsledky sme štatisticky vyhodnotili metódou analýzy rozptylu.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah dusikatých látok

Obsah N-látok v trávnych spoločenstvách závisí od podielu floristických skupín, druhového zloženia, výživy a hnojenia, klimatických podmienok a rastovej fázy – etapy organogenézy. Môže kolísať od 30 do 35 % v sušine mladého porastu s prevahou listov až po úroveň 5 až 10 % pri prestarnutom poraste s vysokým podielom stebel. Koncentrácia N-látok v sušine listov je podstatne vyššia v porovnaní s ich obsahom v stebloch, pričom leguminózy v trávnom poraste obsahujú viac N-látok ako trávy (Klapp, 1971; Ščehovič, 1992). Hnojenie vyššími dávkami dusíka (nad 120 kg.ha⁻¹) tieto rozdiely eliminuje a koncentrácia N-látok v trávach môže prevýšiť ich obsah v leguminózach (Frame, Tiley, 1990). V konfrontácii s výživou zvierat by mal krmí z kŕmnych porastov obsahovať 120 až 150 g.kg⁻¹ N-látok (Labuda a kol., 1975). Z našich experimentálnych prác rezultuje, že túto požiadavku PTP asociácia *Lolium-Cynosuretum typicum* spĺňa, čo dokumentujú výsledky v jednotlivých rokoch, kosbách a variantoch (tab. II) i priemerné hodnoty (obr. 1).

Zo štatistického hodnotenia výsledkov obsahu N-látok sme nezistili preukazné rozdiely medzi variantmi a experimentálnymi rokmi. Trávy ako nitrofilné a v spoločenstvách dominujúce rastliny hnojené dusíkom by si mali uchovať vysoký obsah PDI, t. j. proteínu resorbovateľného v tenkom čreve.

Sledovaním vplyvu intenzity N-hnojenia trávnych porastov sme zistili zvyšovanie obsahu N-látok na jednej strane a pokles obsahu energetických komponentov prezentovaných BNLV, vlákninou a vodorozpustnými

II. Ukazovatele kvality sena asociácie *Lolio-Cynosuretum typicum* v % sušiny – Parameters of hay quality *Lolio-Cynosuretum typicum* association in % of dry matter

Ukazovateľ ¹	Variant ²	Roky ³											
		1992			1993			1994			1995		
		kosby ⁴											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
N-látky ⁵ (%)	1	15,30	16,00	18,20	15,80	12,40	15,10	16,60	14,50	17,70	18,10	14,10	14,60
	2	16,20	16,30	18,40	14,90	14,10	18,90	17,20	15,60	16,50	17,50	14,50	13,60
PDI (%)	1	9,78	10,23	11,64	10,10	7,93	9,66	10,61	9,27	11,32	10,20	8,07	7,86
	2	10,30	10,42	11,77	9,53	9,02	8,89	11,03	9,98	10,55	9,45	8,63	7,81
NEL (MJ.kg ⁻¹ sušiny ⁹)	1	5,92	6,07	6,52	6,19	6,02	6,11	5,73	5,70	5,32	5,85	4,61	3,99
	2	6,14	5,81	6,28	5,91	5,93	6,08	5,58	5,42	5,24	5,16	4,78	4,11
Stráviteľnosť organickej hmoty ⁶ (%)	1	71,93	73,58	77,88	74,94	73,10	74,78	70,51	70,92	68,23	72,95	66,02	60,17
	2	74,05	71,08	75,06	73,57	73,11	74,06	69,44	69,07	66,34	68,52	66,03	62,52
Vláknina ⁷ (%)	1	21,10	19,40	16,20	21,00	19,70	19,70	22,50	19,70	20,80	19,50	21,30	23,90
	2	20,54	18,68	20,24	23,24	19,71	24,76	21,26	18,05	17,17	21,10	24,70	25,00
Lignín ⁸ (%)	1	5,63	5,40	3,74	4,68	5,25	4,41	6,16	5,95	6,77	5,51	7,72	9,27
	2	5,06	6,21	4,00	5,73	5,12	4,65	5,74	6,58	6,81	6,56	6,89	7,72
CPFS (%)	1	2,74	3,28	2,53	3,75	4,69	4,61	3,04	3,43	3,42	3,07	3,14	2,29
	2				4,14	4,72	3,91	2,34	3,22	3,24	3,02	2,81	2,82
CPFI (%)	1	1,22	1,10	1,09	1,11	1,18	1,15	1,21	1,30	1,39	1,21	1,27	1,59
	2				0,93	1,17	1,16	1,36	1,29	1,47	1,42	1,47	1,60
IANP	1							100,00	165,00	143,00	133,00	165,10	176,40
	2							71,20	143,20	150,00	153,80	145,20	200,30

PDI = skutočne stráviteľné N-látky v tenkom čreve – protein digestability in small intestine

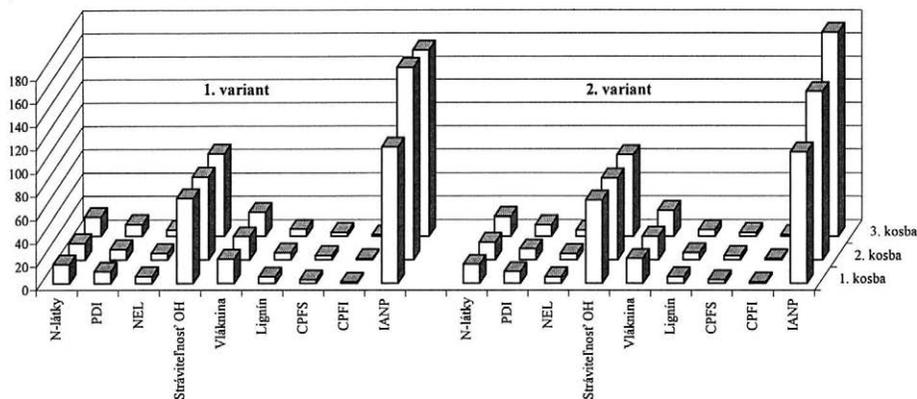
NEL = netto energia laktácie – netto energy of lactation

CPFS = rozpustné fenoly – soluble phenols

CPFI = fenolové kyseliny – phenolic acids

IANP = index potenciálnej negatívnej aktivity – index of potential negative activity

¹parameter, ²variant, ³years, ⁴cuts, ⁵crude protein, ⁶organic matter digestability, ⁷fiber, ⁸lignin, ⁹dry matter



1. Ukazovatele kvality sena asociácie *Lolium-Cynosu retum typicum* v % sušiny (priemer za štyri roky) – Parameter of hay quality *Lolium-Cynosu retum typicum* in % of dry matter (average of four years)

N-látky – crude protein

PDI = skutočne stráviteľné N-látky v tenkom čreve – protein digestability in small intestine

NEL = netto energia laktácie – netto energy of lactation

stráviteľnosť OH – organic matter digestability

vláknina – fibre

lignín – lignin

CPFS = rozpustné fenoly – soluble phenols

CPFI = fenolové kyseliny – phenolic acids

IANP = index potenciálnej negatívnej aktivity – index of potential negative activity

kosba – cut

cukrami na strane druhej (Kolář, 1983; Holúbek, 1991). V tejto súvislosti bol bilančnými pokusmi na zvieratách zistený vysokopreukazný nárast stráviteľnosti N-látok. Zvyšovanie obsahu N-látok a ich stráviteľnosti viedli k zvýrazneniu zvýšenia obsahu SNL, ktorý sa neprejavil nutričným efektom, ale naopak zvýšenou exkréciou dusíka močom, a to v plnom rozsahu zvýšeného príjmu (Braun a kol., 1996). To znamená, že vysoké dávky dusíkatých hnojív (organických aj minerálnych) napriek zvýšeniu úrodu fytomasy neprinášajú požadovaný ekonomický efekt.

V kontexte nových pohľadov na riešenie problematiky N-látok nie je toto kritérium (SNL, N-látky) postačujúce, pretože nerešpektuje procesy prebiehajúce v zažívacom trakte polygastrických zvierat počas trávenia prijateho krmiva. V nových systémoch hodnotenia N-látok sa interpretuje trávenie a metabolizmus dusíka so súčasou identifikáciou a kvantifikáciou strát dusíka, ktoré sú spôsobené jeho neprimeraným príjmom (Sommer, Čerešňáková, 1995). V tejto súvislosti sme vypočítali hodnoty PDI (tab. II, obr. 1). Pratotecnické zásahy, ako sú výživa, hnojenie a kosby, nemali výrazný vplyv na obsah PDI. Priemerný obsah PDI (za štyri roky) vo variante 1 bol v prvej kosbe 10,17 %, v druhej 8,75 % a v tretej 10,12 %. Variant hnojený dusíkom a fosforom sa prezentoval obsahom PDI 10,07 % v prvej, 9,51 % v druhej a 9,75 % v tretej kosbe. Na základe uvedených výsledkov treba hľadať možnosti uplatnenia viacerých spôsobov výživy a využívania trávnych porastov, ktoré umožnia dlhodobo udržať krmnu zrelosť s poža-

dovanou nutričnou hodnotou, chutnosťou a stráviteľnosťou krmu.

Obsah fenolov

Kvalitu krmu z PTP výrazne ovplyvňuje etapa organogenézy a floristické zloženie. Z tohto aspektu má veľký význam floristická skupina dvojklíčnolistových bylín, pretože tieto sú nositeľmi vysokého obsahu sekundárnych metabolitov. V štruktúre dvojklíčnolistových rastlín je až 85 % druhov s relatívne vysokými koncentraciami rôznych fenolových frakcií, asi 10 % druhov bohatých na terpény a zvyšok je charakteristický obsahom iných sekundárnych metabolitov, najmä alkaloidov (Štechovič, 1992). Podstatná časť týchto chemických štruktúr má obranný charakter, ktorého pôsobenie sa realizuje:

- toxicitou, zápachom, chuťou (vplyv na prijateľnosť a chutnosť),
- baktericídne, fungicídne a denaturačne (väzby s rôznymi štruktúrami, výsledkom pôsobenia ktorých je znižovanie výživnej hodnoty denaturovaných štruktúr),
- vplyvom na energetickú a krmnu hodnotu.

V záujme posúdenia vplyvu sekundárnych metabolitov na kvalitu krmu z trávnych porastov sme sledovali najmä obsah fenolov a fenolových zlúčenín.

Najvýznamnejším predstaviteľom fenolových zlúčenín je lignín (tab. II). Zo štatistického hodnotenia obsahu lignínu rezultuje, že medzi variantmi hnojenia a jednotlivými kosbami boli nepreukazné a medzi ročníkmi preukazné rozdiely.

Za limit stráviteľnosti je považovaný obsah 7 % lignínu v sušine tráv. PTP pri diferencovanom hnojení a trojkosnom využívaní uvedený limit v priemerných hodnotách s výnimkou roku 1995 nedosahuje. Počas rastu tráv dochádza v kvalite ich pletív k podstatným zmenám. Pokiaľ sa nezačne objavovať na rastline súkvetie (metlina, klas alebo klasovite stiahnutá metlina), obsah lignínu v rastline je limitovaný, rastliny sú šťavnaté s relatívne vysokým obsahom vody, majú vysokú stráviteľnosť a koncentráciu energie. Produkčné trávy (reznáčka laločnatá, kostrava lúčna) prekročia limitnú hodnotu (7 % v sušine) vtedy, ak sa ich zber uskutočňuje v rastovej fáze kvitnutia až tvorby semien. Koncentrácia lignínu v nadzemnej fytočasť rastlín sa zvyšuje v priemere o 0,03 % za deň, pričom v mladších vývojových štádiách je jeho obsah 5 % v sušine, v starších sa zvyšuje až na 10 % (Keftash, Tuvesson, 1993). Samotný lignín, získaný rôznymi izolačnými procedurami, je hnedá amorfna pevná látka, nerozpustná vo vode a väčšine organických rozpúšťadiel. Izolovaný lignín vykazuje väčšinou molekulovú hmotnosť od 2 800 do 6 800. Je pravdepodobné, že medzi opakujúcimi sa základnými stavebnými jednotkami lignínu existuje veľa rôznych typov väzieb.

Ščehovič (1992) považuje za závažnú problematiku obsahu vanilínu, ktorý sa s niekoľkými ďalšími fenolmi nachádza vo výslednom produkte po degradácii lignínu. Zjednodušene sa dá povedať, že vanilín predstavuje kvalitatívny charakter lignifikácie, ktorá sama osebe je pojem kvantitatívny. To znamená, že stráviteľnosť bunkových stien závisí predovšetkým od koncentrácie vanilínu. V našich experimentoch najvyšší obsah vanilínu sme zistili v leguminózach (2,01 až 2,28 %), najnižší v púpave lekárskej (1,17 %) a psici tuhej (1,78 %) (Holúbek, Jančovič, 1999).

Za významnú frakciu z hľadiska kvality krmu z PTP sú považované rozpustné fenolové polyméry – taníny. Vyznačujú sa schopnosťou viazať sa vodíkovými väzbami na iné polyméry, ako napr. bielkoviny, štruktúrne cukry, pektíny a pod. Tieto väzby sú reverzibilné, ak ide o kondenzované polyméry, a nereverzibilné v prípade hydrolyzovateľných polymérov. Ich pôsobenie v zažívacom trakte je polyvalentné (Ščehovič, 1992). Z výsledkov našich experimentov vyplýva, že na hodnoty obsahu CPFS mal štatisticky vysokopreukazný vplyv ročník. V ďalších sledovaných zdrojoch premenlivosti (varianty) sú výsledky obsahu rozpustných fenolov nepreukazné. V kosbách sme zistili preukazný rozdiel len medzi prvou a druhou kosbou.

Nerozpustné fenoly (CPFI) sú podobne ako lignín viazané na vlákňinovú štruktúru bunkových stien, ale ich esterické väzby na rozdiel od lignínových väzieb sú reverzibilné, to znamená, že počas fermentácie v zažívacom trakte prežúvavcov sa tieto kyseliny uvoľňujú a vyvíjajú baktericídne pôsobenie na mikroorganizmy bacheru. Výsledky obsahu CPFI uvádzame v tab. II a na obr. 1. Štatisticky hodnotením sme zistili preukazný vplyv rokov na obsah nerozpustných fenolov. Vo variantoch a kosbách neboli rozdiely v obsahu štatisticky

preukazné. Najnižšie hodnoty obsahu fenolov sme evidovali v prvých kosbách, v štruktúre ktorých dominujú jednoklíčnolistové trávy, najvyššie v druhých a tretích kosbách, v štruktúre ktorých dominujú dvojklíčnolistové druhy lúčnych rastlín, bohatých na obsah sekundárnych metabolitov. V priemerných hodnotách vzrastá koncentrácia nerozpustných fenolov s intenzitou hnojenia dusíkom (obr. 1).

Stráviteľnosť organickej hmoty

Najdôležitejším meradlom kvality krmu je jeho stráviteľnosť. Pri zvyšovaní stráviteľnosti živín sa nielen zvyšuje množstvo využiteľnej energie z 1 kg sušiny krmiva, ale zároveň sa zvyšuje i celkové množstvo prijímaných objemových krmív. Trojkosný systém využívania trávnych porastov umožňuje produkovať krm s požadovaným obsahom vlákniny a dobrou až veľmi dobrou stráviteľnosťou organickej hmoty. Analýzou rozptylu sme zistili, že faktor hnojenie nemá štatisticky preukazný vplyv na stráviteľnosť organickej hmoty. Vyššie hodnoty stráviteľnosti organickej hmoty sme zistili vo variante 2 (90 kg N + PK). V prvej kosbe toto zvýšenie predstavuje 1,19 %, v druhej kosbe 1,08 % a v tretej 0,77 %. Súvisí to pravdepodobne s vyššou pokryvnosťou trávnej zložky v úrode fytoomasu na variante hnojenom dusíkom. Rozdiely v stráviteľnosti organickej hmoty medzi kosbami nie sú štatisticky preukazné. Nižšia stráviteľnosť organickej hmoty koreluje v prvej a druhej kosbe s obsahom lignínu.

Index potenciálnej negatívnej aktivity

V eutrofizovanom spoločenstve lúčnej flóry dominovali dvojklíčnolistové druhy rastlín. V tejto súvislosti kvalita PTP v konfrontácii s obsahom sekundárnych metabolitov sa v ostatných rokoch vyjadruje indexom potenciálnej negatívnej aktivity (ďalej IANP). Tento index dovoľuje pomerne rýchlym a nenáročným spôsobom kvantifikovať potenciálnu negatívnu reakciu inhibítorov, nachádzajúcich sa v rastlinnom organizme, resp. v spoločenstvách rastlín.

IANP zodpovedá potenciálnej schopnosti rastlinnej hmoty inhibovať proces v zažívacom trakte prežúvavcov. Kumuluje negatívnu syntézu všetkých komponentov, nachádzajúcich sa v presne definovanom extrakčnom prostredí, na enzymatickú degradáciu špecifického vlákninového substrátu. Z výsledkov uvedených v tab. II a na obr. 1 vyplýva, že požadované kritérium hodnôt IANP do 120 spĺňajú PTP iba v prvej kosbe v roku 1994. V nasledujúcom roku (1995) vo variantoch i kosbách hodnoty IANP vysoko prekračujú požadovanú optimálnu hranicu, pričom vplyv roku a kosby na hodnoty IANP je štatisticky preukazný, vplyv variantu nepreukazný, čo podmieňuje vysoká pokryvnosť dvojklíčnolistových listnatých bylín na oboch variantoch.

ZÁVER

Experimentálnym štvorročným sledovaním vplyvu výživy a hnojenia priemyselnými hnojivami eutrofizovaného poloprirodného trávneho porastu (asociácia *Lolium-Cynosuretum typicum*) sme dospeli k týmto záverom:

V štruktúre PTP dominuje floristická skupina dvojkľúčolistových rastlín. Pokryvnosť leguminóz je prezentovaná na extenzívnom variante 15 až 25 %, pokryvnosť skupiny ostatných bylín 36 až 43 %. Intenzívne hnojenie (90 kg N.ha⁻¹ + 30 kg P.ha⁻¹) sa prejavilo vyššou pokryvnosťou floristickej skupiny tráv od 52 do 64 %. Obsah N-látok v sušine sena na hnojenom a nehnojenom variante spĺňa kritériá požadované normovanou potrebou polygastrických zvierat. Rozdiely medzi variantmi sú štatisticky preukazné. Vyšší obsah N-látok sme zistili na variante hnojenom dusíkom a fosforom.

Trojkosne využívané PTP, zberané na začiatku kvitnutia, produkujú krm s hodnotami NEL v prvej kosbe 5,70 až 5,92 MJ.kg⁻¹, v druhej kosbe 5,49 až 5,60 MJ.kg⁻¹ a v tretej kosbe 5,43 až 5,49 MJ.kg⁻¹ sušiny. Sú prezentované nízkym obsahom vlákničky v sušine sena pod 22 % a relatívne nízkym obsahom lignínu pod 6 %. Obsah vlákničky a lignínu sa zvyšoval s rastom podielu vysokých tráv a bylín vo fytoocenózach. Dosahujú veľmi dobrú stráviteľnosť organické hmoty (priemerne 70,91 až 72,58 %) so štatisticky nepreukaznými rozdielmi medzi extenzívnym a intenzívnym variantom.

PTP s vysokou pokryvnosťou dvojkľúčolistových rastlín sú nositeľmi vysokého obsahu rozpustných (2,26 až 3,64 %) a nerozpustných (1,19 až 1,42 %) fenolov (tab. II). Štatistickým hodnotením výsledkov obsahu fenolov, vyjadreného indexom potenciálnej negatívnej aktivity (IANP), sme zistili vysokopreukazné rozdiely medzi variantmi, kosbami i rokmi. Intenzívne hnojený porast sa prezentuje nižšími hodnotami IANP (priemerne 81,60 až 114,60). IANP ako ukazovateľ kumulovanej negatívnej potenciálnej schopnosti rastlinnej hmoty dosahuje vysoké hodnoty. Požadované kritérium hodnôt IANP do 120 je vysoko prekračované v druhých a tretích kosbách experimentálnych rokov. Výnimkou sú experimentálne sledovania v roku 1994 v prvej kosbe, kde IANP dosahuje hodnoty pod 100. V tomto kontexte koncentrácia jednotlivých komponentov, a špeciálne sekundárnych metabolitov, nie je zákonite proporcionálna ich biologickej aktivite, vyvíjanej v zažívacom trakte prežúvavcov. Preto je žiaduce porovnať stráviteľnosť organickej hmoty, resp. živín, okrem metódy *in vivo* aj *in vitro*.

LITERATÚRA

Braun B. a kol. (1996): Vztah úrovně hnojení na změny nutriční hodnoty a produkci travní hmoty. *Ibidem*: 64–72.

Kontaktná adresa:

Prof. Ing. Rudolf Holúbek, DrSc., Slovenská poľnohospodárska univerzita, A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel.: 00421 87/51 17 51, fax: 00421 87/41 14 51

- Frame J., Tiley G. E. D. (1990): Herbage productivity of a range of wildflower mixtures under two management systems. *Soil – grassland – animal relationships. Proc. 13th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed. Banská Bystrica*: 359–364.
- Holúbek R. (1991): Produkčná schopnosť a kvalita poloprirodných trávnych porastov v mierne teplej a mierne suchej oblasti. *Poľnohosp. Veda, Sekc. A. Poľnohospodárstvo. Bratislava, Veda, SAV*. 129 s.
- Holúbek R. (1997): Kvalita sena ovplyvnená hnojením poloprirodných trávnych porastov. *Agrochémia*, 37 (1): 5–7.
- Holúbek R., Jančovič J. (1999): The effect of long-term fertilization on the changes of P and K in soil and dry matter of semi-natural grasslands. *Proc. Int. Symp. Long-term static fertilizer experiments, Warszawa, Kraków*: 245–251.
- Jančovič J., Holúbek R. (1999): Niektoré parametre kvality vybraných lúčnych rastlín po dlhodobom hnojení poloprirodného trávneho porastu. *Rostl. Výr.*, 54 (2): 85–91.
- Jurko A. (1974): *Prodromus der Cynosurion-Gesellschaften in den Westkarpaten. Folia Geobot. Phytotax.*, 9: 1–44.
- Keftash D., Tuvešson M. (1993): The nutritional value of lucerne (*Medicago sativa* L.) in different developmental stages. *Swed. J. Agric. Res.*, 23: 153–159.
- Klapp E. (1971): *Wiesen und Weiden. Berlin und Hamburg, Verlag Paul Parey*. 620 s.
- Kolář I. (1983): Vliv intenzifikace výroby píce na pastvinách na nutriční hodnotu porostů. In: *Zbor. Konf. Význam a úloha dusíka v súčasnom lúkarstve a pasienkárstve, Banská Bystrica, DT ČSVTS*: 135–140.
- Krajčovič V. (1996): Príspevok k transformácii živín na PTP. In: *Zbor. medzin. Konf. Agronomická fakulta a vývoj poľnohospodárstva na Slovensku, Nitra, VŠP*: 280–283.
- Krajčovič V. a kol. (1968): *Krmovinárstvo. Bratislava, SVPL*. 561 s.
- Labuda J. a kol. (1975): Výživa a kŕmenie hospodárskych zvierat. *Bratislava, Príroda*. 523 s.
- Lichner S. a kol. (1977): *Lúky a pasienky. Bratislava*. 419 s.
- Rychnovská M. a kol. (1985): *Ekologie lučních porostů. Praha, Academia*. 291 s.
- Sommer A. a kol. (1994): Potreba živín a výživná hodnota krmív pre hovädzí dobytok, ovce a kozy. *Nitra, VÚŽV*. 111 s.
- Sommer A., Čerešňáková Z. (1995): K problému hodnotenia N-látok u prežúvavcov. In: *Dni výživy zvierat, Nitra, VŠP*: 20–21.
- Šteħovič J. (1992): Kvalita objemových krmovín z trvalých trávnych porastov. In: *Zbor. Aktuálne otázky krmovinárstva v teórii a praxi, Nitra, VŠP*: 152–158.
- Šteħovič J. (1994): Kvalita krmovín z floristicky pestých lúčnych porastov pasienkov a intenzifikácia poľnohospodárstva. In: *Zbor. Ref. ved. Konf. Nitra, SPU*: 71–80.
- Velich J. (1986): *Studium vývoje produkční schopnosti trvalých lučních porostů a drnového procesu při dlouhodobém hnojení a jeho optimalizace. Praha, VŠZ*. 162 s.

Došlo 18. 9. 1998

INZERCE

Redakce časopisu nabízí tuzemským i zahraničním firmám možnost inzerce na stránkách časopisu ROSTLINNÁ VÝROBA. Prostřednictvím inzerátů uveřejňovaných v našem časopise budou o vašich výrobcích informováni pracovníci z výzkumu a provozu u nás i v zahraničí.

Bližší informace získáte na adrese:

Redakce časopisu ROSTLINNÁ VÝROBA
RNDr. E. Stříbrná
Ústav zemědělských a potravinářských informací
Slezská 7
120 56 P r a h a 2

ADVERTISEMENT

The Editors of the journal offer to the Czech as well as foreign firms the possibility of advertising on pages of the ROSTLINNÁ VÝROBA (Plant Production) journal. Through your adverts published in our journal, the specialists both from the field of research and production will be informed about your products.

For more detailed information, please contact:

ROSTLINNÁ VÝROBA
RNDr. E. Stříbrná
Ústav zemědělských a potravinářských informací
Slezská 7
120 56 P r a h a 2

ECONOMIC AND ENERGY EFFECTIVENESS OF SELECTED CULTURAL PRACTICES IN WINTER WHEAT IN DIFFERENT CROP ROTATIONS

EKONOMICKÁ A ENERGETICKÁ EFEKTIVNOST VYBRANÝCH PĚSTITELSKÝCH OPATŘENÍ U OZIMÉ PŠENICE V RŮZNÝCH OSEVNÍCH POSTUPECH

A. Harasim

Institute of Soil Science and Plant Cultivation, Puławy, Poland

ABSTRACT: The objectives of the study were to determine how yield decline in winter wheat cropped continuously could be prevented by applying different crop cultural practices and to assess their economic and energy-related effectiveness. The analysis was based on data from four-factorial field trials run on experiment farms in the years 1988 to 1990 on soils rated as good wheat-growing complex. The study included four crop rotations, two levels of chemical crop protection, two levels of nitrogen fertilization (70 and 105 kg N.ha⁻¹) and two wheat varieties Emika and Lanca. Of all the factors under study yields, economics and energy-related performance of wheat production were the most affected by positioning in crop rotation. As the position became worse yields and the economic and energy-related indices got lower. The best performance with regard to yields, economics and energy was obtained when variety Lanca was grown after non-cereal crops (peas) at a lower nitrogen rate (70 kg N.ha⁻¹) and at full chemical protection. It was found that rational crop rotation continues to be an indispensable yield-forming factor since an adverse effect of bad crop position could not be levelled off by compensating measures. Consumables (fertilizers, pesticides, seeds) took the highest percentage of direct costs and energy inputs (46 and 50%, resp.) whereas human labour was the least expensive item (8 and 5%).

Keywords: winter wheat; yields; varieties; crop rotations; nitrogen fertilization; crop protection; economic and energy effectiveness

ABSTRAKT: Byla ověřována možnost ovlivnit výnosy ozimé pšenice použitím různých pěstitelských opatření a byla vyhodnocena jejich ekonomická a energetická efektivnost. Analýza vycházela z výsledků čtyřfaktorálních polních pokusů, které proběhly v letech 1988 až 1990 na pokusných farmách, na půdách vhodných pro pěstování pšenice. V pokusech byly sledovány čtyři osevní postupy, dvě úrovně chemické ochrany plodin, dvě hladiny dusíkatého hnojení (70 a 105 kg N.ha⁻¹) a dvě odrůdy pšenice Emika a Lanca. Osevní postup ze všech faktorů nejvíce ovlivnil výnosy, ekonomiku a energetickou výkonnost produkce pšenice, špatně zvolený osevní postup snižoval výnosy i další ekonomické a energetické ukazatele. Vyšší produktivity bylo dosaženo při pěstování pšenice odrůdy Lanca po jiných předplodinách než obilninách (po hrachu) při nižší dávce dusíku (70 kg N.ha⁻¹) a při plné chemické ochraně. Racionální osevní postup je hlavním výnosotvorným faktorem. Případný nepříznivý vliv při špatné volbě předplodiny nelze vyrovnat dalšími kompenzačními opatřeními. Nejvyšší podíl přímých nákladů a energetických vstupů (46, resp. 50 %) připadl na použitý materiál (hnojiva, pesticidy, osivo), zatímco lidská práce byla nejnepříznivější položkou (8 a 5 %).

Klíčová slova: ozimá pšenice; výnosy; odrůdy; osevní postupy; dusíkaté hnojení; ochrana plodin; ekonomická a energetická efektivnost

INTRODUCTION

The increase of small grains in the total cropped area leads to frequent cases of their continuous cropping. Winter wheat is remarkable for its high requirements with regard to position in crop rotation. When put in an adverse position, particularly after a cereal, it responds with a grain yield decrease which most frequently reaches 20 to 30% (Jelinowski, 1977;

Niewiadomski, Boreńska, 1979; Harasim, 1982; Sieling, Hanss, 1990; Kuś, 1995).

It is important to look for possibilities of restricting the adverse effects of bad crop position through different approaches to crop management. Increased fertilizer rates, higher sowing rates, chemical crop protection, proper varieties and more intensive soil management are most frequently applied to offset the effect of unsuitable position in the cropping sequence (Jelinowski,

1977; Niewiadomski, Boreńska, 1979; Niewiadomski, 1980; Kuś, 1984; Harasim, Pacholczyk, 1985; Harasim, 1988; Steinbrenner, Obenauf, 1988; Kuś et al., 1991).

In crop rotation studies environmental and agronomic issues are most frequently given the closest attention. Under market economy and with the search for universal evaluation methods economic and energy-related criteria gain more significance (Niewiadomski, 1980; Krejčíř, 1988; Krzymuski, 1992; Vrkoč, 1992).

The aim of the study was to examine the possibilities to prevent the yield decline in winter wheat resulting from continuous cropping by applying full chemical protection, increased nitrogen fertilization and proper variety selection. The effectiveness of the husbandry elements was assessed with regard to their yield- economics- and energy-related effects.

MATERIAL AND METHODS

The basis for the study was provided by data from field trials conducted in the years 1988 to 1990 on three experiment farms on soils of the good wheat-growing complex (type: brown soil leached, degraded black earth, degraded chernozem). The trials were run in three three-year cycles and were laid down as a split-plot split-block design in three replications. It was established after winter wheat to be followed in the 1st and 2nd year by preparation of fields. In the 3rd year winter wheat was sown as a test crop.

Four factors were examined:

- I. Four crop positions that differed with the number of preceding years without wheat (A = sugar beets^{***}, peas, winter wheat; B = winter wheat, peas, winter wheat; C = sugar beets^{***}, winter wheat, winter wheat; D = winter wheat, winter wheat, winter wheat)
- II. Two levels of chemical protection of wheat against fungus diseases at full control of monocot and dicot weeds (a = fungicide at earing; b = fungicide at shooting and at earing)
- III. Two levels of nitrogen fertilization ($N_1 = 70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; $N_2 = 105 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
- IV. Two winter wheat varieties (E = Emika, L = Lanca)

The data are from growing winter wheat (test crop) in the 3rd year of the trial. The soil was medium high in P, high in K, medium high in Mg. Soil pH was slightly acidic. The years of the study tended to be dry since they were characterized by shortage of rainfall and rather high air temperatures. NPK fertilization, date and rate of wheat seeding, control of weeds and that of leaf and ear diseases was the same in all treatments. Fertilizer application rates to winter wheat were $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ and $100 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nitrogen (70 and $105 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) was split-applied $45 + 25$ and $55 + 50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, the first application being given in the spring after the resumption of growth and the second at the shooting stage. For each location optimum sowing date

was chosen (20th September to 5th October). Sowing rates per 1 ha were 4 million seeds (200 kg) for Emika and 5 million seeds (210 kg) for Lanca. Both varieties were released for production over the whole territory of Poland. Prior to sowing the seeds were treated with Baytan Universal 19.5 DS. Weeds were controlled with Aminopielik D ($3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$) and Dicuran 80 WP ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Leaf and ear diseases (*Puccinia*, *Septoria*) were controlled with Tilt 250 EC ($0.5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$) at shooting stage (protection levels a and b). At full crop protection (level b) *Pseudocercospora herpotrichoides* was controlled with Topsin M 70 WP ($1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) at the shooting stage. The assessment of the effectiveness of different crop management schemes was based on two-year means.

The amount of capital inputs was based on crop management followed in individual treatments and on actual consumption of fertilizers, seeds and crop protection chemicals. Labor inputs and machine wear was determined based on data from on-farm studies. Costs of labour and capital and crop value were calculated based on 1997 prices and given as new polish zloty (PLN).

Economic evaluation involved direct costs that included mineral fertilizers, seeds, pesticides, fuel and lubricants, labour, depreciation of machines and implements during their use. Direct surplus was calculated as the balance of crop value (W) and direct production costs (K). Relationship between the two values (W/K) expressed as percentage is the gross payability index. Energy inputs included: direct energy vehicles (fuel and lubricants), consummables (fertilizers, seeds, pesticides), capital investments (depreciation of agricultural machines and implements) and labour inputs.

Energy-related value of the grain crop was assessed using a FAO-recommended method (Wielicki, 1990) in which 1 kg of dry matter was assumed to have an energy value of 18.36 MJ. Capital inputs, fuel consumption, machine wear and labour cost were converted to MJ by using appropriate indices of energy consummability which were applied in preparing energy balance sheets of crop production (Wójcicki, 1981; Anuszewski, 1987; Wielicki, 1990).

The following conversion factors were used:

- cereal seeds (1 kg) = 7.5 MJ
- mineral fertilizers: 1 kg N = 77 MJ
1 kg P_2O_5 = 14 MJ
1 kg K_2O = 10 MJ
- pesticides (1 kg of active ingredient) = 300 MJ
- diesel fuel (1 kg) = 48 MJ
- machine wear (1 kg) = 112 MJ
- spare parts (1 kg) = 80 MJ
- repair materials (1 kg) = 30 MJ
- human labour (1 manhour) = 40 MJ

The index of energy effectiveness (E) was calculated from the formula: $E = P/N$, where: P = energy value of grain crop obtained from 1 ha (MJ) and N = amount of four energy input flows used to generate a grain crop from 1 ha.

RESULTS AND DISCUSSION

There was no significant interaction of the factors under study with respect to their effect on winter wheat yields, so the respective effects were analysed separately. It was the position in crop rotation that affected grain yields to the greatest extent (Tab. I). Significantly higher yields were obtained from wheat grown after peas (A, B) that involved a break of either one year (A) or two years (B) in continuous wheat culture. The yields of winter wheat grown as intermittent monoculture (D) were 22 to 24% lower than when wheat was preceded by peas (A, B). Crop position A (after a sequence of two good preceding crops) failed to produce high grain yields due to increased plant lodging. The same factor was instrumental in restricting yields of winter wheat fertilized with a higher nitrogen rate (105 kg N.ha⁻¹). Grain yields benefited significantly from full crop protection against fungal diseases. Of the investigated factors, nitrogen fertilization level and variety did not affect yields of winter wheat in a significant manner. The data contained in review studies (Jelinowski, 1977; Steinbrenner, Obenauf, 1988) indicate that continuous culture of winter wheat results in absolute grain yield decreases of 0.8 to 1.2 t.ha⁻¹ over the outputs obtained under optimum crop sequences. In this study the difference was 1.0 to 1.6 t.ha⁻¹ (Tab. I). There is a fair amount of agreement that it is possible to maintain high grain yields provided a two-year break is practiced in growing winter wheat on the same piece of land (Seidel, Decker, 1973; Jelinowski, 1977; Harasim, Pacholczyk, 1985; Steinbrenner, Obenauf, 1988). Based on the analysis of research data from the former German Democratic Republic and from Poland a conclu-

sion was drawn that when full weed and disease management scheme is implemented the break in continuous cropping if wheat can be reduced to one year (Steinbrenner, Obenauf, 1988).

Economic and energy-related effectiveness are important indicators which describe how the value of production relates to inputs. Production costs and energy inputs involved in wheat production related to 1 ha of land showed less variation than when converted to the unit of produce (1 t of grain). The magnitude of unit costs and inputs was most influenced by grain yields obtained. The latter varied significantly with cropping sequence and with crop protection level (Tab. I). Given the similar grain yields of wheat at the two nitrogen fertilization levels the effectiveness of that element of crop husbandry was decided by production costs and energy inputs. Economic and energy-related effects coincided with crop production assessment data. The highest direct surplus of gross payability and the highest energy effectiveness of winter wheat production were secured by such factors as positioning the wheat crop after non-cereals (A, B), using a lower nitrogen rate (70 kg N.ha⁻¹), full chemical protection and cropping variety Lanca (Tab. I). Likewise, when calculated on 1 t of grain basis the best economic and energy performance was obtained from putting wheat in the optimum rotation positions (A, B). Of the remaining factors full chemical crop protection, lower nitrogen rate and variety Lanca incurred a lower production cost and at the same time required lower energy inputs to produce 1 t of grain (Tab. I).

The factors under study had little impact on the item-by-item breakdown of total production costs and energy inputs (Tab. II). The top position on the list of

I. Grain yields and indices of economic and energy-related valuation of winter wheat production in relation to the investigated factors

Factors	Factor levels	Grain yield (t.ha ⁻¹)	Production value		Direct costs of production		Gross margin PLN.ha ⁻¹ (W - K)	Gross payability index (W/K.100)	Energy inputs		Energy effectiveness index (P/N)
			PLN.ha ⁻¹ (W)	GJ.ha ⁻¹ (P)	PLN.ha ⁻¹ (K)	PLN.t ⁻¹ of grain			GJ.ha ⁻¹ (N)	MJ.t ⁻¹ of grain	
I. Crop sequence*	A (b-p-w)	6.68	3 340	104.27	1 775	266	1 565	188	23.23	3 477	4.49
	B (w-p-w)	6.51	3 255	101.62	1 740	267	1 516	187	23.05	3 540	4.41
	C (b-w-w)	5.55	2 775	86.64	1 709	308	1 066	162	22.63	4 078	3.83
	D (w-w-w)	5.05	2 525	78.83	1 678	332	847	150	22.23	4 403	3.55
II. Plant protection	a = part	5.69	2 845	88.82	1 684	296	1 161	169	22.31	3 922	3.98
	b = full	6.21	3 105	96.94	1 768	285	1 337	176	23.26	3 745	4.17
III. N rate (kg.ha ⁻¹)	N ₁ = 70	5.94	2 970	92.72	1 696	286	1 274	175	21.46	3 612	4.32
	N ₂ = 105	5.95	2 975	92.88	1 756	295	1 219	169	24.11	4 053	3.85
IV. Winter variety	Emika (E)	5.83	2 915	91.01	1 709	293	1 206	171	22.66	3 886	4.02
	Lanca (L)	6.07	3 035	94.75	1 742	287	1 293	174	22.91	3 775	4.12
LSD _{0,05}	I.	0.80									
	II.	0.31									
	III.	n. s.									
	IV.	n. s.									

* b = sugar beet, p = peas, w = winter wheat, n. s. = not significant

II. Structure of direct costs of production and energy-related inputs

Factors	Factor levels	Structure of direct costs (%)						Structure of energy-related inputs (%)					
		mineral fertilizers	pesticides	seeds	fuel	farm machines	human labour	mineral fertilizers	pesticides	seeds	fuel	farm machines	human labour
I. Crop sequence*	A (b-p-w)	17.3	15.8	11.5	15.5	32.0	7.9	38.1	4.4	6.6	29.9	15.9	5.1
	B (w-p-w)	17.6	16.1	11.7	15.6	31.0	8.0	38.4	4.4	6.7	29.7	15.8	5.0
	C (b-w-w)	18.0	16.4	11.9	15.4	30.5	7.8	39.1	4.5	6.8	29.4	15.3	4.9
	D (w-w-w)	18.3	16.7	12.2	15.2	29.9	7.7	39.8	4.6	6.9	29.0	14.9	4.8
II. Plant protection	a = part	18.2	15.7	12.1	15.3	30.9	7.8	39.6	4.1	6.9	29.1	15.4	4.9
	b = full	17.4	16.7	11.5	15.6	30.8	8.0	38.4	4.9	6.6	29.3	15.7	5.1
III. N rate (kg.ha ⁻¹)	N ₁ = 70	16.9	16.5	12.0	15.7	30.9	8.0	35.1	4.7	7.1	31.3	16.5	5.3
	N ₂ = 105	18.7	15.9	11.6	15.1	31.0	7.7	42.3	4.2	6.4	27.8	14.6	4.7
IV. Winter variety	Emika (E)	18.0	16.3	11.5	15.5	30.8	7.9	39.0	4.5	6.5	29.5	15.5	5.0
	Lanca (L)	17.6	16.1	12.1	15.4	30.9	7.9	38.7	4.4	6.9	29.5	15.5	5.0
Mean		17.8	16.2	11.8	15.4	30.9	7.9	38.8	4.5	6.7	29.5	15.5	5.0

* b = sugar beet, p = peas, w = winter wheat

III. Combinations of factors securing the greatest economic, energetic and production effects of winter wheat over different crop rotation

Position in crop rotation	Combinations*	Grain yield (t.ha ⁻¹)	Combinations	Gross payability index (%)	Combinations	Energy effectiveness index
A	bN ₁ L	7.08	bN ₁ L	196	bN ₁ L	4.91
B	bN ₁ L	6.98	bN ₁ L	197	bN ₁ L	4.87
C	bN ₂ L	6.09	bN ₂ L	169	bN ₁ L	4.33
D	bN ₂ L	5.46	bN ₁ L	156	bN ₁ L	3.86

* for designations see Tab. I

direct production costs was taken by costs related to depreciation of agricultural machines and tools (31% of the total costs on average), human labour was only 8% of the total costs. The intermediate positions were taken by fertilizer, pesticide and fuel costs (15 to 18%). The breakdown of energy inputs was topped by fertilizers (39%) to be followed by fuel consumption (29%). The percentage of pesticides, seeds and human labour in the total energy inputs was relatively small (4 to 7%). Total consumables (fertilizers, pesticides and seeds) accounted for 46% of direct production costs and for 50% of energy inputs.

The analysis of wheat production data from different crop rotation positions showed that agronomic, economic and energy-related performance benefited from cropping variety Lanca, full crop protection and in most cases from the lower fertilizer rate (N₁ = 70 kg.ha⁻¹). Agronomic effects of nitrogen fertilization depended on the position of wheat in crop rotation (Tab. III). The best effects were obtained in the peas-wheat cropping sequence (A, B), and with the magnitude of the grain yield obtained the justifiable nitrogen rate was 70 kg N.ha⁻¹. That nitrogen rate also secured higher money returns and better energy-related effectiveness as compared to nitrogen fertilization increased by 50%. In less advantageous crop positions (C, D) the highest grain

yields were possible if the higher nitrogen rate (N₂ = 105 kg.ha⁻¹) was applied. However, the negative effect of bad position in the cropping sequence could not be offset by compensating measures (increased N fertilization, chemical crop protection, choice of variety).

The data support the contention that rational crop rotation continues to be an important and, indeed, an indispensable yield forming-factor. A similar conclusion was also drawn by other investigators (Jelinowski, 1977; Niewiadomski, 1980; Kuš, 1995). The data from the author's own study (Tab. I) indicate that the highest grain yields and the best gross payability and energy effectiveness indices were obtained from good crop rotation positions, with lower nitrogen rate and with full crop protection. The results are in agreement with those from other studies (Kuš et al., 1992a, b). Noteworthy is also the high energy effectiveness of winter wheat production in good rotation positions (A, B) at full crop protection and at the lower nitrogen rate (N₁). The two varieties differed little from each other with respect to that indicator (Tab. I). Wielicki (1989) states that under average farming conditions 1 unit of energy inputs (1 MJ) should generate 4 energy units (4 MJ) of the produce. The condition was met for the factors examined in this study.

REFERENCES

- Anuszewski R. (1987): Method of appraisal of the energy-consumption of agricultural produce [MET.] Zag. Ekon. Roln., 4: 16–26. (in Polish)
- Harasim A. (1982): Yield height and yield components of winter wheat and spring barley grown after various forecrops. Puławy, IUNG, R (165). (in Polish)
- Harasim A. (1988): Effect of position in a crop rotation and stand density on the productivity of two winter wheat cultivars. Pam. Puł., 93: 215–223. (in Polish)
- Harasim A., Pacholczyk W. (1985): Response of several winter wheat cultivars to different crop sequences. Pam. Puł., 85: 93–104. (in Polish)
- Jelinowski S. (1977): The effect of increasing proportion of cereals in crop rotation on the grain yields and total productivity. Puławy, IUNG, R (116). (in Polish)
- Krejčíř J. (1988): Energetická bilance osevních postupů. Acta Univ. Agric. Brno, Fac. Agron., 36 (2–4): 23–30.
- Krzymuski J. (1992): Studies and valuation of crop rotations. Acta Acad. Agric. Techn. Olszt., Agric., 55: 253–262.
- Kuś J. (1984): Evaluation of crop rotations with different percentages of cereals. Puławy, IUNG, R (185). (in Polish)
- Kuś J. (1995): Rola zmianowania roślin we współczesnym rolnictwie. Puławy, IUNG.
- Kuś J., Harasim A., Krasowicz S. (1992a): Studies on the possibility of increasing the percentage of cereals in cropping system. V. Economical effectiveness. Pam. Puł., 101: 169–184. (in Polish)
- Kuś J., Krasowicz S., Harasim A. (1992b): Studies on the possibility of increasing the percentage of cereals in cropping system. VI. Energy effectiveness. Pam. Puł., 101: 185–200. (in Polish)
- Kuś J., Mróz A., Skiba H. (1991): Effect of chemical control of diseases on yields of cereals grown in different crop rotations. Fragm. Agron., 4: 72–83. (in Polish)
- Niewiadomski W. (1980): Main theoretical problems of specialized crop rotations. Zesz. Nauk. ART Olszt. Roln., 29: 5–14. (in Polish)
- Niewiadomski W., Boreńska L. (1979): Yielding of winter wheat at its different percentage in the crop rotation. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 218: 39–44. (in Polish)
- Seidel D., Decker H. (1973): Bodenhygienische Aspekte bei der Intensivierung der Getriede Produktion. Nachr.-Bl. Dtsch. Pfl.-Schutzdienst., 27 (2): 25–29.
- Sieling K., Hanss H. (1990): Yield reaction of winter wheat in monoculture in dependence upon weather and soil. J. Agron. Crop Sci., 165: 151–158.
- Steinbrenner K., Obenauf U. (1988): Untersuchungen zur Anbapause von Winterweizen. Arch. Acker- Pfl.-Bau Bodenkd., 32 (1): 57–62.
- Vrkoč F. (1992): Některé současné problémy soustav hospodaření. In: Sbor. věd. Konf. Praha: 5–22.
- Wielicki W. (1989): An analysis of energetic efficiency in agriculture. Post. Nauk Roln., 1: 69–86. (in Polish)
- Wielicki W. (1990): Energochłonność produkcji roślinnej. Stud. międzyn. Służ. Roln. 1–2: 1–6.
- Wójcicki Z. (1981): Energy consumption of the plant production. Roczn. Nauk Roln. C, 75 (1): 165–197. (in Polish)

Received on August 17, 1998

Contact Address:

Dr. Adam Harasim, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Czarotoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska, tel.: (48-81) 886 34 21, fax: (48-81) 886 45 47

INSTITUTE OF AGRICULTURAL AND FOOD INFORMATION
Slezská 7, 120 56 Praha 2, Czech Republic
Fax: (00422) 24 25 39 38

In this institute scientific journals dealing with the problems of agriculture and related sciences are published on behalf of the Czech Academy of Agricultural Sciences. The periodicals are published in the Czech or Slovak languages with long summaries in English or in English language with summaries in Czech or Slovak.

Subscription to these journals should be sent to the above-mentioned address.

Periodical	Number of issues per year
Rostlinná výroba (Plant Production)	12
Czech Journal of Animal Science (Živočišná výroba)	12
Veterinární medicína (Veterinary Medicine – Czech)	12
Zemědělská ekonomika (Agricultural Economics)	12
Journal of Forest Science	12
Zemědělská technika (Agricultural Engineering)	4
Plant Protection Science (Ochrana rostlin)	4
Czech Journal of Genetics and Plant Breeding (Genetika a šlechtění)	4
Zahradnictví (Horticultural Science)	4
Czech Journal of Food Sciences (Potravinařské vědy)	6

VLIV REGULÁTORŮ RŮSTU NA VÝNOS A JAKOST BULEV CUKROVKY

THE EFFECT OF GROWTH REGULATORS ON THE YIELD AND QUALITY OF SUGAR BEET ROOTS

J. Pulkrábek¹, J. Šroller¹, J. Zahradníček²

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

²*Research Institute of Sugar Production, a. s., Praha, Czech Republic*

ABSTRACT: Growth regulators (biologically active substances) in sugar beet are used to improve biological values of seed and growth regulation and development of the course of vegetation with an aim to increase the yield of roots and their sugar content. The possibilities of effect of intensive formation of new leaves in spring period or deposition of reserve substances into root in autumn, increase of sugar content and sugar production per 1 ha were investigated. Regulation of the process of formation of white sugar yield is very complicated. In view of hormonal regulation Kutina (1988) and Procházka et al. (1997) tried to characterize it briefly. Zahradníček et al. (1996) reports that in despite of majority of other plant materials in which cytokinins of zeatin type prevail, cytokinin N⁶-(delta²-isopentenyl)adenin was dominant. The degree of reaction of selected sugar beet variety (high sugar content Edda and normal Hilma) on application of growth regulators was studied. In exact small-plot field trials in the experimental station at Uhřetěves the effect of growth regulators on amount and quality of harvested sugar beet roots was evaluated. Applications of growth regulators Rastim 30 DKV (0.3 l.ha⁻¹, active substance benzolinon), Atonik (0.6 l.ha⁻¹, aromatic nitrocompounds) and highly effective Cytokinin R [3.10⁻⁶ M, N⁶-(meta-hydroxybenzyl)adenosine] (in special literature denoted as mOH.BAR) were investigated. The first spraying was applied in growth stage 31 to 33 (6 to 14 leaves). The second one about six weeks before harvest, in the growth stage 42 to 46. Fertilization and agrotechnics of the trial were usual. Soils of experimental station at Uhřetěves are deep, they belong to great soil group Luvisol. Average daily air temperature is 8.3 °C, during the growing season 14.6 °C. Average yearly precipitation amounts to 575 mm, out of this period April to September 380 mm. The results of three-year trials (Tabs I and II) confirm a positive effect of selected growth regulators on the amount of harvested sugar beet roots. Significant increase of root yield on average of studied years was found in autumn treatment with cytokinin, Atonik as well as Rastim 30 DKV in both the studied varieties but it was more marked in more yielding variety Hilma. The highest increase against untreated control on average of studied years was recorded after two treatments of the stand with Rastim 30 DKV (13.7% increase). Rastim 30 DKV acted most significantly in the variety Hilma in different years. The effect of studied substances on sugar content was very low in all three experimental years. Our previous opinion that application of growth regulators may rather affect amount of production than its quality given by sugar content above all. This applies to varieties with genetically conditioned higher sugar content (C and NC types). Increased root yield after stand treatment with investigated growth regulators reflected in the increase of sugar production, more significantly in the variety Hilma than Edda. On average of investigated years the yield of white sugar against untreated control increased in the variety Edda as much as by 7.1% in the variant treated with cytokinin four to six weeks before harvest. In the other studied variants an increase varied from 1.6 to 3% on average. In the variety Hilma increase was more marked particularly in variants with pre-harvest-autumn application (by 11 to 15%). Conclusions (Pulkrábek, 1995) that double treatment with Atonik or Rastim 30 DKV increase root yields per 1 ha by 3 to 5% and that it does not affect significantly the sugar content of sugar beet yield should be added by the fact that in yielding and normal varieties (e.g. Hilma) increase of the root yield is higher than in varieties with high sugar content (e.g. Edda). It follows from the previous trials (Zahradníček et al., 1996) evaluating the effect of leaf application of Atonik that root losses during storage before their technological processing are lower than in untreated control. These conclusions were also confirmed in the laboratory tests (Kotyk et al., 1996). They manifest decreased rate of respiration after treatment of sugar beet with Atonik. In summary the effect of leaf treatment of sugar beet with Atonik can be evaluated very positively. It increases sugar production in the field and it decreases storage losses of sugar before its technological processing by lower respiration during storage.

Keywords: sugar beet; growth regulators; cytokinins; yield formation; sugar content; root quality

ABSTRAKT: V tříletých přesných maloparcelkových pokusech na stanici v Uhřetěvsi byl u dvou odrůd cukrovky sledován vliv regulátorů růstu na množství a jakost sklizených bulev. V jednotlivých letech působil nejvýznamněji na zvýšení výnosu bulev Rastim 30 DKV u odrůdy Hilma. Vliv sledovaných látek na cukernatost byl ve všech třech pokusných letech velmi

malý. Aplikací biologicky aktivních látek lze lépe ovlivnit množství produkce než její kvalitu, danou především cukernatostí. V průměru sledovaných let stoupl výnos bílého cukru proti neošetřené kontrole u odrůdy Edda až o 7,1 % u varianty ošetřené cytokininem čtyři až šest týdnů před sklizní. U ostatních sledovaných variant se pohyboval nárůst v průměru od 1,6 do 3 %. U odrůdy Hilma byl výraznější zejména u variant s předsklizňovou – podzimní aplikací (o 11 až 15 %). Ošetření cukrovky Atonikem nejen zvyšuje produkci cukru na poli, ale i nižším dýcháním při skladování snižuje skladovací ztráty cukru před jejím technologickým zpracováním.

Klíčová slova: cukrovka; regulátory růstu; cytokininy; tvorba výnosu; cukernatost; kvalita bulev

ÚVOD

Rada pěstitelských zásahů v technologii pěstování cukrovky významně ovlivňuje produkční schopnost rostlin (Pačuta, Bajží, 1998) a projevuje se i ve změnách technologické jakosti bulev, obsahu chlorofylu, betainu, některých těžkých kovů apod. Současná rostlinná produkce využívá regulátory růstu rostlin k řízení fyziologických procesů v požadovaném směru tvorby produkce. U cukrovky je hlavní pozornost zaměřena na zlepšení biologické hodnoty osiva a regulace růstu a vývoje v průběhu vegetace s cílem zvýšit výnos bulev a jejich cukernatost (Lassa, Perez-Peña, 1976; Leton, Milford, 1977; Ghanen, 1985; Hayasaka, 1988). Cílem pokusu bylo ovlivnit intenzivní tvorbu nových listů v jarním období či ukládání zásobních látek do bulvy na podzim, zvýšit cukernatost a produkci cukru z 1 ha.

V našich podmínkách byla ověřována řada biologicky aktivních látek s různým vlivem na výnos a jakost bulev sklizené cukrovky (Kutina, 1988; Giba et al., 1992; Pulkrábek et al., 1993, 1996; Švachula et al., 1996 a další). V poslední době např. Zahradníček et al. (1993, 1996) ověřovali účinky bioregulatoru 6-benzylaminopurinu (BAP), Rastimu 30 DKV a dalších látek na výnosové a technologické ukazatele cukrovky. Uplatněním Rastimu 30 DKV v zemědělské výrobě se zabývala Henselová (1989), jeho využití v podmínkách Východoslovenské nížiny hodnotil Rimár (1992).

Regulace procesu tvorby výnosu bílého cukru je velmi složitá. Z hlediska hormonálního se jí pokusili stručně charakterizovat Kutina (1988) a Procházka et al. (1997). Zahradníček et al. (1996) uvádějí, že na rozdíl od většiny jiných rostlinných materiálů, ve kterých převažují cytokininy zeatinového typu, byl v listech cukrovky zjištěn hlavně cytokinin N^6 -(delta²-isopentenyl)adenin. Kotyk et al. (1996) sledovali vliv Cytokininu R na endogenní respiraci části bulvy a prokázali, že cytokinin snižuje dýchání, což znamená, že snižuje úbytky cukru v bulvě jak ve vegetaci, tak zřejmě při následném skladování.

Pokusili jsme se přispět k vysvětlení vlivu některých regulátorů růstu na množství a ukazatele technologické jakosti sklizených bulev u dvou odrůd cukrovky. Cílem předložené práce bylo zjistit, do jaké míry reaguje sledovaná cukernatá a normální odrůda cukrovky na aplikaci biologicky aktivních látek (růstových regulátorů) změnou (zlepšením) technologické jakosti a zda tato změna má nějakou souvislost s výnosem a produkcí bílého cukru.

MATERIÁL A METODA

V přesných maloparcelkových pokusech byl na pokusné stanici v Uhřetěvsi hodnocen vliv regulátorů růstu na množství a jakost sklizených bulev cukrovky. Sledovány byly aplikace růstových regulátorů Rastim 30 DKV (0,3 l.ha⁻¹, účinná látka benzolinon), Atonik (0,6 l.ha⁻¹, aromatické nitrosloučeniny) a vysoce účinný Cytokinin R [3.10⁻⁶ M, N⁶-(meta-hydroxybenzyl)adenosin] (v odborné literatuře označován jako mOH.BAR). Ošetření regulátory růstu v průběhu vegetace proběhlo ručním postřikovačem v dávce cca 200 až 400 l vody na 1 ha. První postřik byl realizován v růstové fázi 31 až 33 BBCH (červen, jarní aplikace těsně před zapojením porostu, 6 až 14 listů). Druhý asi šest týdnů před sklizní (konec srpna, podzimní či předsklizňová), v růstové fázi 42 až 46 BBCH. Do pokusů byla zařazena cukernatá odrůda Edda (od firmy KWS) a normální odrůda Hilma (od firmy Hillesböh). Hnojení a agrotechnika pokusu proběhly podle běžné metodiky. V přepočtu bylo hnojeno 80 kg N, 40 kg P a 90 kg K v č. ž. na 1 ha. Porosty byly zakládány výsevem na vzdálenost 3 až 6 cm a ručně jednoceny. Jednotlivé varianty byly čtyřikrát opakovány, sklizňová plocha jedné parcely byla 15 m². Pokusy byly ručně sklizeny a stanoveny hmotnosti bulev a chrástu. Technologická jakost sklizených bulev cukrovky byla hodnocena ze vzorku 20 až 25 bulev ve VÚC Praha, a. s.

Půdy pokusné stanice v Uhřetěvsi jsou hluboké, patří k půdnímu typu hnědozem. Průměrná denní teplota vzduchu je 8,3 °C, ve vegetačním období 14,6 °C. Průměrné roční srážky činí 575 mm, z toho v období duben až září 380 mm.

Zjištěné hodnoty byly statisticky vyhodnoceny. Lineární regrese a analýza rozptylu jednotlivých pokusů byla vypočtena za použití tabulkového programu Microsoft Excel a Quattro-Pro.

Vegetační období 1994 bylo poznamenáno srážkově silně podnormálním červnem s nadnormálními teplotami. I v červenci byly srážky podnormální a teploty nadnormální. Srpen byl srážkově i teplotně nadnormální, což mělo za následek silnou retrovegetaci řepných rostlin v druhé polovině vegetačního období. Výnosové ukazatele byly nízké. Rok 1995 byl na začátku vegetace pro cukrovku nepříznivý (opožděné seti, přivalové deště při vzházení a sucho koncem června a začátkem července). Druhá polovina vegetace umožnila rostlinám cukrovky vytvořit mohutný listový aparát a následně uspokojivý výnos bulev i s nižší cukernatostí. Rok 1996 byl

I. Vliv regulátorů růstu na technologickou jakost cukrovky odrůdy Hilma (kontrola v absolutních hodnotách a ostatní varianty vyjádřeny v procentech kontroly) – The effect of growth regulators on the technological quality of the sugar beet variety Hilma (control in absolute values and the other variants expressed in percentage of the control)

Varianta ¹	Rok ²	Výnos chrástu ³	Výnos bulev ⁴	Poměr chrástu a bulev ⁵	Cukernatost ⁶	Alfaamino-N	Konzentrace ⁷ K	Konzentrace Na	Výrobnost ⁸	Výnos polarizačního cukru ⁹	Výnos bílého cukru ¹⁰	Teoretická výtěžnost ¹¹
		t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹		%	mmol.100 g ⁻¹	mmol.100 g ⁻¹	mmol.100 g ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	%
1. kontrola ¹² 100 %	1994	32,89	55,22	0,60	16,13	2,50	4,95	1,18	83,7	8,91	7,46	13,5
	1995	26,19	46,10	0,57	14,20	2,26	5,64	1,06	80,3	6,54	5,24	11,40
	1996	45,45	57,94	0,78	16,57	1,67	4,13	1,41	85,8	9,60	8,24	14,22
	\bar{x}	34,85	53,09	0,65	15,63	2,14	4,91	1,21	83,28	8,35	6,98	13,04
2. Cytokinin R (jaro ¹³)	1994	110,6	104,3	96,4	101,1	104,3	108,2	100,4	99,1	105,5	104,7	100,2
	1995	112,0	101,7	110,1	101,6	110,6	95,9	82,1	101,4	103,7	105,5	103,1
	1996	99,4	102,0	97,4	101,0	93,0	94,4	87,9	101,2	103,1	104,4	102,2
	\bar{x}	102,9	102,7	100,8	101,2	103,6	99,6	90,3	100,6	104,1	104,8	101,8
3. Cytokinin R (podzim ¹⁴)	1994	94,9	104,5	90,8	101,8	92,7	101,1	79,8	100,9	106,5	107,5	102,8
	1995	115,7	112,2	95,4	101,4	94,8	90,1	87,1	102,5	123,1	126,4	103,9
	1996	101,2	103,0	98,2	101,4	121,6	101,6	96,0	100,0	104,5	104,5	101,4
	\bar{x}	102,8	108,8	95,1	101,6	100,9	97,0	88,2	101,1	110,1	111,0	102,6
4. Cytokinin R (2x)	1994	93,5	102,4	91,3	103,9	82,6	97,6	78,3	101,9	106,2	108,2	105,9
	1995	110,3	111,6	98,9	101,6	94,7	90,6	120,8	101,4	113,5	115,3	103,1
	1996	98,9	108,0	90,7	100,2	107,2	116,6	96,7	98,4	109,2	107,6	98,6
	\bar{x}	100,1	107,5	93,3	101,9	93,2	100,2	97,8	100,6	109,3	109,7	102,4
5. Atonik (2x)	1994	91,8	101,5	90,4	103,8	81,6	97,1	76,6	102,0	105,2	107,3	105,9
	1995	111,6	122,9	90,8	104,5	126,4	90,7	94,7	102,3	128,8	132,1	106,8
	1996	100,0	109,6	91,2	102,6	85,8	107,1	98,3	99,9	112,5	112,5	102,6
	\bar{x}	100,3	110,6	90,9	103,6	98,4	97,4	90,3	101,4	114,2	115,5	105,0
6. Rastim 30 DKV (2x)	1994	93,9	106,6	88,1	100,8	97,6	110,7	87,7	99,2	107,4	106,5	100,0
	1995	115,7	125,3	92,4	102,6	105,3	92,4	94,7	101,9	128,6	131,3	104,6
	1996	103,6	111,3	93,0	100,0	92,8	106,5	110,0	99,1	111,4	110,4	99,1
	\bar{x}	103,6	113,7	91,3	101,0	99,1	102,5	98,3	100,1	114,4	114,2	101,0

¹variant, ²year, ³beet tops yield, ⁴root yield, ⁵ratio of beet tops and roots, ⁶sugar content, ⁷concentration, ⁸productivity, ⁹yield of polarization sugar, ¹⁰yield of white sugar, ¹¹theoretical percentage, ¹²control, ¹³spring, ¹⁴autumn

II. Vliv regulátorů růstu na technologickou jakost cukrovky odrůdy Edda (kontrola v absolutních hodnotách a ostatní varianty vyjádřeny v procentech kontroly) – The effect of growth regulators on the technological quality of the sugar beet variety Edda (control in absolute values and the other variants expressed in percentage of the control)

Varianta ¹		Rok ²	Výnos chrástu ³	Výnos bulev ⁴	Poměr chrástu a bulev ⁵	Cukernatost ⁶	Alfaamino-N	Koncentrace ⁷ K	Koncentrace Na	Výrobnost ⁸	Výnos polarizačního cukru ⁹	Výnos bílého cukru ¹⁰	Teoretická výtěžnost ¹¹
			t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹		%	mmol.100 g ⁻¹	mmol.100 g ⁻¹	mmol.100 g ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	%
1.	kontrola ¹² 100 %	1994	36,14	58,22	0,62	17,14	2,20	4,86	0,88	85,6	9,98	8,54	14,7
		1995	28,79	46,89	0,61	14,40	2,02	4,89	0,95	82,8	6,75	5,58	11,92
		1996	34,55	57,68	0,60	16,90	0,95	3,64	1,01	88,3	9,74	8,60	14,92
		\bar{x}	33,16	54,26	0,61	16,15	1,72	4,46	0,95	85,56	8,82	7,57	13,84
2.	Cytokinin R (jaro ¹³)	1994	93,9	102,9	91,3	99,4	118,8	111,7	118,2	97,9	102,4	100,3	97,4
		1995	88,9	104,2	85,2	101,4	105,8	102,0	101,1	99,9	105,9	105,8	101,3
		1996	102,1	101,7	100,4	100,4	112,6	100,9	99,0	99,9	102,1	102,0	100,3
		\bar{x}	95,3	102,8	92,3	100,3	112,5	105,2	105,6	99,2	103,2	102,3	99,5
3.	Cytokinin R (podzim ¹⁴)	1994	97,1	108,1	89,8	99,0	97,6	107,2	123,1	98,6	107,0	105,5	97,6
		1995	94,2	111,5	84,5	101,2	111,9	91,9	117,2	100,7	112,8	113,7	101,9
		1996	104,1	104,6	99,5	100,4	74,7	109,8	106,6	99,2	105,1	104,3	99,6
		\bar{x}	98,7	107,9	91,2	100,1	99,0	102,3	115,2	99,5	107,8	107,1	99,6
4.	Cytokinin R (2x)	1994	91,2	102,6	88,9	99,1	109,7	106,6	138,2	98,2	101,5	99,8	97,3
		1995	91,5	105,4	86,9	104,2	129,5	93,2	109,1	101,1	109,7	110,9	105,3
		1996	96,9	101,2	95,7	100,2	87,4	109,9	101,0	99,3	101,4	100,6	99,4
		\bar{x}	93,3	102,9	90,4	101,0	113,3	102,6	115,2	99,5	103,6	102,8	100,3
5.	Atonik (2x)	1994	91,8	100,6	91,2	99,9	96,3	102,3	113,1	99,5	100,5	100,1	99,4
		1995	101,8	100,0	101,8	101,2	123,6	95,2	118,2	100,0	101,3	101,4	101,2
		1996	97,3	106,5	91,3	101,0	74,7	110,8	102,3	99,3	107,7	107,0	100,3
		\bar{x}	96,6	102,5	94,8	100,7	103,0	102,0	111,0	99,6	103,4	103,0	100,3
6.	Rastim 30 DKV (2x)	1994	98,5	105,1	98,7	99,0	106,1	101,5	116,0	99,2	104,1	103,5	98,3
		1995	99,9	100,4	99,5	98,4	164,6	91,3	125,3	99,2	98,8	98,0	97,5
		1996	104,8	104,4	100,4	97,8	74,7	96,3	114,1	99,8	102,1	102,0	97,7
		\bar{x}	101,1	103,5	97,8	98,4	123,2	96,4	118,4	99,4	102,0	101,6	97,9

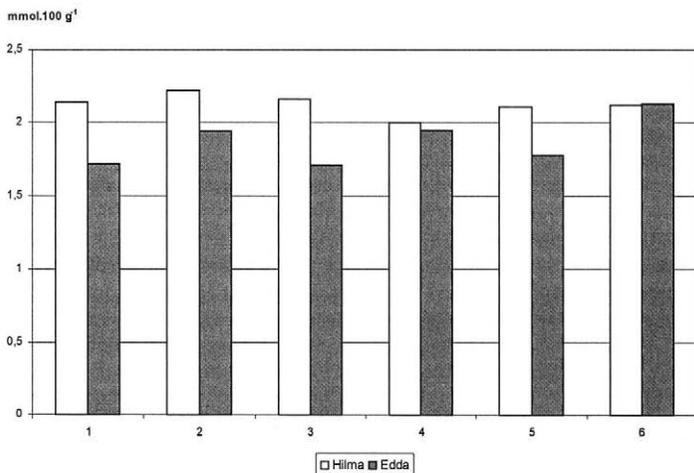
For 1–14 see Tab. I

srážkově a teplotně vyrovnaný a výnosově velmi příznivý. Cukrovka s ohledem na dostatek vláhy v průběhu celé vegetace vytvořila vysoké množství cukru. S ohledem na nižší teploty v období sklizně bylo i jeho prodýchání nižší.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky tříletých pokusů (tab. I a II) potvrzují pozitivní vliv vybraných regulátorů růstu na množství sklizených bulev cukrovky. Navazují na některá sledování (Pulkrábek, 1995), zejména pokud jde o vliv Rastimu 30 DKV a Atoniku na množství a jakost sklizené cukrovky, a rozšiřují je o podrobnější sledování vlivu Cytokininu R na vybrané odrůdy. U odrůdy Edda ověřované látky neovlivnily ve většině let výnos chrástu. U odrůdy Hilma bylo zvýšení výnosu chrástu po ošetření regulátory růstu proti neošetřené kontrole statisticky významné. V průměru let bylo nejvýraznější po

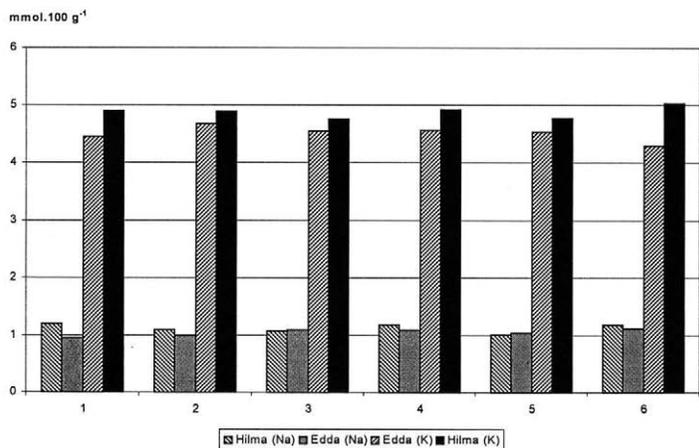
ošetření Rastimem 30 DKV. Průkazné zvýšení výnosu bulev v průměru sledovaných let bylo zjištěno po podzimním ošetření cytokininem, Atonikem i Rastimem 30 DKV u obou odrůd, ale výraznější bylo u výnosnější odrůdy Hilma. Nejvyšší proti neošetřené kontrole v průměru sledovaných let bylo po dvojnásobném ošetření porostu Rastimem 30 DKV (o 13,7 %). V jednotlivých letech působil nejvýznamněji Rastim 30 DKV u odrůdy Hilma (v každém roce výrazné pozitivní zvýšení výnosu bulev). Obdobné pozitivní zvýšení (každoroční, ale ne vždy statisticky významné) mělo i dvojnásobné ošetření Cytokininem R u odrůdy Hilma. Při hodnocení výsledků dosažených u odrůdy Edda se projevovaly každoroční výkyvy. Nejprůběžněji působil podzimní ošetření Cytokininem R. Při celkovém statistickém hodnocení pokusů byly dosahované účinky regulátorů růstu většinou statisticky významné. Větší variabilita a menší statistická průkaznost účinku regulátorů růstu byla zaznamenána při dílčích hodnoceních pokusů (v rámci odrůdy a ročníku).



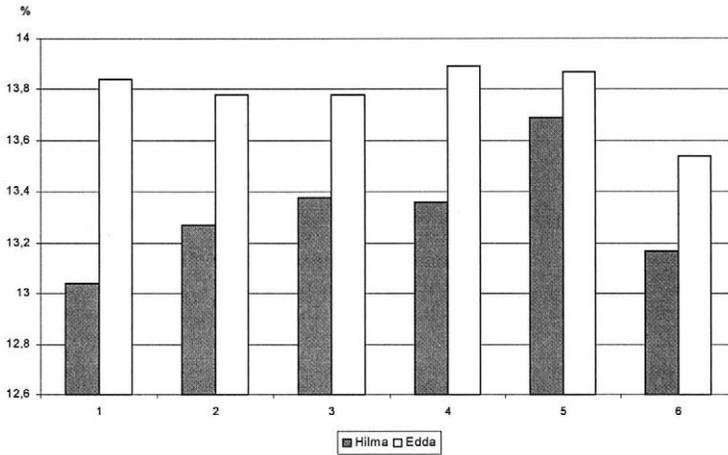
1. Vliv regulátorů růstu na obsah alfa-aminodusíku – The effect of growth regulators on the content of alpha-aminonitrogen

Vysvětlivky k obr. 1 až 5 – Explanations to Figs 1 to 5:

- 1 = kontrola – control
- 2 = Cytokinin R (jaro – spring)
- 3 = Cytokinin R (podzim – autumn)
- 4 = Cytokinin R (2x)
- 5 = Atonik (2x)
- 6 = Rastim 30 DKV (2x)



2. Vliv regulátorů růstu na obsah sodíku a draslíku v bulvách – The effect of growth regulators on the content of sodium and potassium in roots



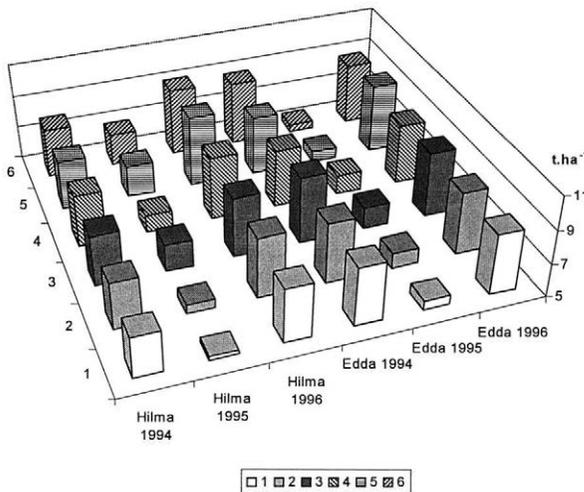
3. Vliv regulátorů růstu na teoretickou výtěžnost cukru – The effect of growth regulators on theoretical sugar percentage

Vliv sledovaných látek na cukernatost byl ve všech třech pokusných letech velmi malý. Průkazné zvýšení bylo zaznamenáno pouze u varianty ošetřené dvakrát Atonikem u odrůdy Hilma (o 3,6 % proti neošetřené kontrole). V pokusech byl potvrzen náš dřívější závěr, že aplikací regulátorů růstu lze více ovlivnit množství produkce než její kvalitu, danou především cukernatostí. To platí zejména pro odrůdy s geneticky podmíněnou vyšší cukernatostí (C a NC typy). Pulkrábek (1995) uvádí, že jedině odrůda Elnoh v předsklizňové aplikaci zvýšila cukernatost sklizených bulev.

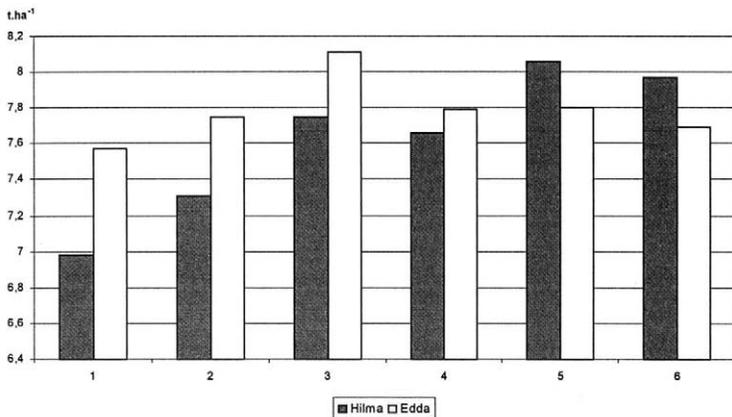
U odrůdy Hilma došlo v průměru sledovaných let po dvojitým ošetření Cytokininem R, Atonikem a Rastimem 30 DKV k nepatrnému snížení obsahu alfaaminodusíku (obr. 1). V některých letech byl pokles jeho obsahu i statisticky významný. Naopak u cukernaté odrůdy Edda došlo častěji k jeho zvýšení (vyjma roku 1996). V průměru let i u řady variant došlo k neprůkaznému poklesu koncentrace sodíku ve sklizených bulvách odrůdy Hilma. Odrůda Edda reagovala na ošetření regulátory růstu

zvýšením koncentrace melasotvorných látek v řepné bulvě (obr. 2). Po ošetření u většiny variant vzrostla především koncentrace sodíku v bulvách sklizené řepy. Tyto statisticky významné změny v technologické jakosti se nepříznivě promítly do teoretické výtěžnosti cukru (obr. 3) u odrůdy Edda, která poklesla nebo byla na úrovni kontroly. U odrůdy Hilma byla výrazněji zvýšena po ošetření Atonikem (o 5 %). U ostatních variant byla mírně nad úrovní neošetřené kontroly.

Zvýšení výnosu bulev po ošetření porostu růstovými regulátory se promítlo do vzestupu produkce cukru (obr. 4 a 5), výrazněji u odrůdy Hilma než Edda. V jednotlivých letech byl pozitivní vliv velmi rozdílný. Nejvyšší byl v roce 1995 u odrůdy Hilma po dvojitým ošetření Atonikem a Rastimem 30 DKV. U těchto variant byl zjištěn nejen pozitivní vliv na výnos bulev, ale i na cukernatost a další ukazatele jakosti bulev. V průměru sledovaných let u odrůdy Edda stoupl výnos bílého cukru proti neošetřené kontrole až o 7,1 % u varianty ošetřené cytokininem čtyři až šest týdnů před sklizní.



4. Vliv regulátorů růstu na výnos bílého cukru v jednotlivých letech pokusu – The effect of growth regulators on the yield of white sugar in different years of the trial



5. Vliv regulátorů růstu na výnos bílého cukru – The effect of growth regulators on the yield of white sugar

U ostatních sledovaných variant se zvýšení v průměru pohybovalo od 1,6 do 3 %. U odrůdy Hilma bylo výraznější zejména u variant s předsklizňovou, podzimní aplikací (o 11 až 15 %).

Závěry (z let 1986 až 1989), že dvojí ošetření Atonikem či Rastimem 30 DKV zvyšuje výnosy bulev z 1 ha rámcově o 3 až 5 % a výrazně neovlivňuje cukernatost cukrovky, je třeba doplnit, že u výnosových a normálních odrůd (Hilma) je zvýšení výnosu bulev vyšší než u odrůd cukernatých (např. Edda). U výnosových odrůd může aplikace Atoniku neprůkazně zvýšit i cukernatost. Z dřívějších pokusů (Zahradníček et al., 1996), hodnotících vliv listové aplikace Atoniku, vyplývá, že ztráty bulev při skladování před jejich zpracováním jsou nižší než u neošetřené kontroly. Tyto závěry byly také vysvětleny a potvrzeny laboratorně (Kotyk et al., 1996). Bylo zjištěno snížení rychlosti dýchání po ošetření řepy Atonikem. Aplikace Atoniku dále snížila adaxiální a abaxiální stomatární vodivost listů. Souborně je možné hodnotit vliv listového ošetření cukrovky Atoniku velmi pozitivně. Zvyšuje produkci cukru na poli a nižším dýcháním při skladování snižuje skladovací ztráty cukru před jejím zpracováním.

V obdobných pokusech (stejně varianty, odrůda Edda) na lokalitě v Červeném Újezdě jsme zjistili (Čatský et al., 1996) vyšší hodnoty rychlosti fotosyntézy a fotosyntézy bezprostředně po druhém postřiku Cytokininem R. Také po aplikaci Atoniku byla zjištěna tendence k vyšší rychlosti fotosyntézy.

Řešeno v rámci GA ČR 501/94/0413 a NAZV 6348.

LITERATURA

Čatský J., Pospíšilová J., Kamínek M., Gaudinová A., Pulkrábek J., Zahradníček J. (1996): Seasonal changes in sugar beet photosynthesis as affected by exogenous cytokinin N⁶-(*m*-hydroxybenzyl)adenosine. *Biol. Plant.*, 38 (4): 511–518.

Ghanem S. (1985): The influence of nitrogen fertilization and growth regulators on yield and quality of sugar beet. *Zapazig J. Agric. Res. Egypt*, 12 (2): 229–252.

Giba M., Rimár J., Santa I. (1992): Výsledky testovania výkonnosti odrôd cukrovej repy a efektívnosti bioregulátora Rastim 30 DKV v podmienkach Východoslovenskej nížiny. *Listy cukrov. řepař.*, 108 (4): 74–81.

Hayasaka M. (1988): Effect of malein hydrazide on sugar yield of sugar beet. *Proc. Sugar Beet Res. Assoc. Japan*, (29): 77–85.

Henselová M. a kol. (1989): Regulácia úrod a technologických parametrov ťažiskových poľnohospodárskych kultúr aplikáciou Rastimu 30 DKV. *Sbor. medzin. Konf. Nové smery vo výskume, výrobe a použití prípravkov na ochranu rastlín*, Nitra: 23–35.

Kotyk M., Kamínek J., Pulkrábek J., Zahradníček J. (1996): Effect of *in vivo* and *in vitro* application of the cytokinin N⁶-(*m*-hydroxybenzyl)adenosine on respiration and membrane transport processes in sugar beet. *Biol. Plant.*, 38 (3): 363–368.

Kutina J. (1988): Regulátory růstu a jejich využití v zemědělství a zahradnictví. Praha, SZN.

Lassa J., Perez-Peña C. (1976): Plant growth regulators and bolting in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *An. Estac. Exp. Aula Dei*, 13 (3/4): 357–361.

Leton J., Milford G. (1977): Plant growth regulators and the physiological limitations to yield in sugar beet. *Pestic. Sci.*, 8: 224–229.

Pačuta V., Bajčí P. (1998): Stav a zmeny vo výrobe cukrovej repy na Slovensku v posledných rokoch. *Listy cukrov. řepař.*, 114 (2): 46–49.

Procházka S., Šebánek J. a kol. (1997): Regulátory rostlinného růstu. Praha, Academia.

Pulkrábek J. (1993): Vliv Rastimu 30 DKV na množství a jakost bulev cukrovky. *Rostl. Výr.*, 39 (12): 1087–1093.

Pulkrábek J. (1995): Možnosti ovlivnění tvorby výnosu cukrovky biologicky aktivními látkami. *Rostl. Výr.*, 41 (8): 389–392.

Pulkrábek J. (1996): The numbers of vascular bundles of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) varieties and the effect of

- growth regulators. *Scientia Agric. Bohemoslov.*, 27 (2): 85–103.
- Rimár J. (1992): Uplatnenie regulátora rastu rastlín Rastim 30 DKV v podmienkach Východoslovenskej nížiny. *Úroda*, 40 (8): 374–376.
- Švachula V., Pulkrábek J., Zahradníček J. (1996): Changes in betaine content in selected cultivars of sugar beet treated with biologically active compounds. *Scientia Agric. Bohemoslov.*, 27 (3): 183–197.
- Zahradníček J., Kadlík A., Henselová M., Konečný V. (1993): Vliv biostimulátoru Rastim 30 DKV na výnos a technologickou jakost cukrovky pěstované na provozních plochách. *Listy cukrov. řepář.*, 109 (5): 98–102.
- Zahradníček J. a kol. (1996): Výzkum vlivu aplikace cytokininů na metabolismus a technologickou jakost cukrovky. *Listy cukrov. řepář.*, 112 (9, 10): 276–280, 307–311.

Došlo 18. 9. 1998

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Josef Pulkrábek, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 26 35, fax: 02/20 92 03 12

ÚSTŘEDNÍ ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ KNIHOVNA, PRAHA 2, SLEZSKÁ 7

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna v Praze (dále jen ÚZLK), která je jednou z největších zemědělských knihoven na světě, byla založena v roce 1926. Již od počátku šlo o knihovnu veřejnou. Knihovna v současné době obsahuje více než jeden milion svazků knih, cestovních zpráv, dizertací, literatury FAO, svázaných ročníků časopisů z oblasti zemědělství, lesnictví, veterinární medicíny, ekologie a dalších oborů. Knihovna odebírá 750 titulů domácích a zahraničních časopisů. Informační prameny získané do fondu jsou v ÚZLK zpracovávány do systému katalogů – je budován jmenný katalog a předmětový katalog jako základní katalogy knihovny a dále různé speciální katalogy a kartotéky. Počátkem roku 1994 přistoupila ÚZLK k automatizovanému zpracování knihovního fondu v systému CDS/ISIS.

Pro informaci uživatelů o nových informačních pramenech ve fondech ÚZLK zpracovává a vydává knihovna následující publikace: Přehled novinek ve fondu ÚZLK, Seznam časopisů objednaných ÚZLK, Přehled rešerší a tematických bibliografií z oboru zemědělství, lesnictví a potravinářství, AGROFIRM – zpravodaj o přírůstcích firemní literatury (je distribuován na disketách), AGROVIDEO – katalog videokazet ÚZLK.

V oblasti mezinárodní výměny publikací knihovna spolupracuje s 800 partnery ze 45 zemí světa. Knihovna je členem IAALD – mezinárodní asociace zemědělských knihovníků. Od září 1991 je členem mezinárodní sítě zemědělských knihoven AGLINET a od 1. 1. 1994 je depozitní knihovnou materiálů FAO pro Českou republiku.

Knihovna poskytuje svým uživatelům následující služby:

Výpůjční služby

Výpůjční služby jsou poskytovány všem uživatelům po zaplacení ročního registračního poplatku. Mimopražští uživatelé mohou využít možnost meziknihovní výpůjční služby. Vzácné publikace a časopisy se však půjčují pouze prezenčně.

Reprografické služby

Knihovna zabezpečuje pro své uživatele zhotovování kopií obsahů časopisů a následné kopie vybraných článků. Na počkání jsou zhotovovány kopie na přání uživatelů. Pro pražské a mimopražské uživatele jsou zabezpečovány tzv. individuální reproslužby.

Služby z automatizovaného systému firemní literatury

Jsou poskytovány z databáze firemní literatury, která obsahuje téměř 13 000 záznamů 1 700 firem.

Referenční služby

Knihovna poskytuje referenční služby z vlastních databází knižních novinek, odebíraných časopisů, rešerší a tematických bibliografií, vědeckotechnických akcí, firemní literatury, videotéky, dále z databází převzatých – Celostátní evidence zahraničních časopisů, bibliografických databází CAB a Current Contents. Cílem je podat informace nejen o informačních pramenech ve fondech ÚZLK, ale i jiné informace zajímavější zemědělskou veřejnost.

Půjčování videokazet

V AGROVIDEU ÚZLK jsou k dispozici videokazety s tematikou zemědělství, ochrany životního prostředí a příbuzných oborů. Videokazety zasílá AGROVIDEO mimopražským zájemcům poštou.

Uživatelům knihovny slouží dvě studovny – všeobecná studovna a studovna časopisů. Obě studovny jsou vybaveny příručkovou literaturou. Čtenáři zde mají volný přístup k novinkám přírůstků knihovního fondu ÚZLK.

Adresa knihovny:

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna
Slezská 7
120 56 Praha 2

Výpůjční doba:

pondělí, úterý, čtvrtek	9.00–16.30
středa	9.00–18.00
pátek	9.00–13.00

Telefonické informace:

vedoucí:	24 25 50 74, e-mail: IHOCH@uzpi.agrec.cz
referenční služby:	24 25 79 39/linka 520
časopisy:	24 25 66 10
výpůjční služby:	24 25 79 39/linka 415
meziknihovní výpůjční služby:	24 25 79 39/linka 304
fax:	24 25 39 38
e-mail:	ÚZLK@uzpi.agrec.cz

**Nejčerstvější informace o časopiseckých člancích
poskytuje automatizovaný systém**

Current Contents

na disketách

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna odebírá časopis „**Current Contents**“ řadu „**Agriculture, Biology and Environmental Sciences**“ a řadu „**Life Sciences**“ na disketách. Řada „Agriculture, Biology and Environmental Sciences“ je od roku 1994 k dispozici i s abstrakty. Obě tyto řady vycházejí 52krát ročně a zahrnují všechny významné časopisy a pokračovací sborníky z uvedených oborů.

Uložení informací z Current Contents na disketách umožňuje nejrozmanitější referenční služby z prakticky nejčerstvějších literárních pramenů, neboť báze dat je **doplňována každý týden** a neprodleně expedována odběratelům. V systému si lze nejen prohlížet jednotlivá čísla Current Contents, ale po přesném nadefinování sledovaného profilu je možné adresně vyhledávat informace, tisknout je nebo kopírovat na disketu s možností dalšího zpracování na vlastním počítači. Systém umožňuje i tisk žádank o separát apod. Kumulované vyhledávání v šesti číslech Current Contents najednou velice urychluje rešeršní práci.

Přístup k informacím Current Contents je umožněn dvojím způsobem:

- 1) Zakázkový přístup** – po vyplnění příslušného zakázkového listu (objednávky) je vhodný především pro mimopražské zájemce.

Finanční podmínky: – použití PC – 15 Kč za každou započatou půlhodinu
– odborná obsluha – 10 Kč za 10 minut práce
– vytištění rešerše – 1,50 Kč za 1 stranu A4
– žádanky o separát – 1 Kč za 1 kus
– poštovné + režijní poplatek 15 %

- 2) „Self-service“** – samoobslužná práce na osobním počítači v ÚZLK.

Finanční podmínky jsou obdobné. Vzhledem k tomu, že si uživatel zpracovává rešerši sám, je to maximálně úsporné. (Do kalkulace cen nezapočítáváme cenu programu a databáze Current Contents.)

V případě Vašeho zájmu o tyto služby se obraťte na adresu:

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna

Dr. Bartošová

Slezská 7

120 56 Praha 2

Tel.: 02/24 25 79 39, l. 520, fax: 02/24 25 39 38

Na této adrese obdržíte bližší informace a získáte formuláře pro objednávku zakázkové služby. V případě „self-servisu“ je vhodné se předem telefonicky objednat. V případě zájmu je možné si objednat i průběžné sledování profilu (cena se podle složitosti zadání pohybuje čtvrtletně kolem 100 až 150 Kč).

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 nesmí přesáhnout 12 strojopisných stran včetně tabulek, obrázků a grafů. V práci je nutné používat jednotky odpovídající soustavě měrových jednotek SI (ČSN 01 1300).

Vlastní úprava rukopisu: formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhozů na řádku, mezi řádky dvojitě mezery. K rukopisu je třeba přiložit disketu s prací pořízenou na PC 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 zkratk nepoužívat.

Název práce (titul) nemá přesáhnout 85 úhozů. 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 jež (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 nedostatcích 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 by měla sestávat hlavně z lektorovaných periodik. 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.

Rukopis nebude redakcí přijat k evidenci, nebudle-li po formální stránce odpovídat pokynům pro autory.

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 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 12 typescript pages, including tables, figures and graphs.

Manuscript layout: quarto, 30 lines per page, 60 strokes per line, double-spaced typescript. A PC diskette should be provided with the paper and graphical documentation. Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes.

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

Abstract is an information selection of the subject 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 basic 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 section **References** should preferably contain reviewed periodicals. 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.

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, telephone and fax number or e-mail.

The manuscript will not be accepted to be filed by the editorial office if its formal layout does not comply with the instructions for authors.

OBSAH

Podlešáková E., Němeček J., Roth Z.: Mobilita stopových prvků v půdě.....	337
Němeček J., Podlešáková E., Roth Z.: Možnosti predikce mobility stopových prvků v půdě.....	345
Zavadil J.: Kontaminace půdy a zeleniny závlahovou vodou z Labe.....	351
Kováč K., Žák Š.: Vplyv rôznych spôsobov obrábania pôdy na jej fyzikálne a hydrofyzikálne vlastnosti	359
Holúbek R., Jančovič J., Babelová M.: Vplyv hnojenia na kvalitu sušiny sena asociácie <i>Lolium-Cynosuretum typicum</i>	365
Harasim A.: Ekonomická a energetická efektívnosť vybraných pestiteľských opatrení u ozimé pšenice v rôznych osevních postupech	373
Pulkrábek J., Šroller J., Zahradníček J.: Vliv regulátorů růstu na výnos a jakost bulev cukrovky	379

PLANT PRODUCTION

CONTENTS

Podlešáková E., Němeček J., Roth Z.: Mobility of trace elements in soils (in English).....	337
Němeček J., Podlešáková E., Roth Z.: Possibilities of the prediction of trace elements mobility in soils (in English)	345
Zavadil J.: Contamination of soil and vegetables by irrigation water from the Labe river (in Czech)	351
Kováč K., Žák Š.: The effect of different types of soil cultivation on its physical and hydrophysical properties (in Slovak).....	359
Holúbek R., Jančovič J., Babelová M.: Effect of fertilization on the quality of hay dry matter in the association <i>Lolium-Cynosuretum typicum</i> (in Slovak)	365
Harasim A.: Economic and energy effectiveness of selected cultural practices in winter wheat in different crop rotations (in English).....	373
Pulkrábek J., Šroller J., Zahradníček J.: The effect of growth regulators on the yield and quality of sugar beet roots (in Czech).....	379