

Vliv lokality a ročníku na obsah minerálních látek v zrně ječmene jarního

The effect of location and year on mineral content in spring barley grain

KATEŘINA VACULOVÁ¹, MARTA BALOUNOVÁ¹, RADIM CERKAL², JAROSLAVA EHRENBARGEROVÁ²

¹Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s. r. o., Havlíčkova 2787, 767 01 Kroměříž / *The Agricultural Research Institute Kromeriz, Ltd., Havlíčkova 2787, 767 01 Kroměříž*

²Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno / *Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

e-mail: vaculova.katerina@vukrom.cz

Vaculová, K. – Balounová, M. – Cerkal, R. – Ehrenbergerová, J.: Vliv lokality a ročníku na obsah minerálních látek v zrně ječmene jarního. Kvasny Prum. 56, 2010, č. 2, s. 60–68.

U 7 odrůd sladovnického ječmene jarního (Amulet, Bojos, Jersey, Malz, Prestige, Sebastian a Tolar), pěstovaných technologií s omezenými chemickými vstupy, byl studován vliv lokality (Kroměříž, Žabčice) a ročníku (2005, 2007, 2008) na obsah minerálních látek a základní chemické složení zrna (N-látky, škrob, tuk, vláknina). Z hlediska požadavků na obsah makroprvků a mikroprvků pro správný růst, vývoj a fermentační aktivitu pivovarských kvasinek se jako nejlepší jeví odrůdy Amulet a Prestige, k odrůdám s nízkým obsahem všech makroprvků patřil Bojos a nejslabší akumulací mikroprvků se vyznačovala odrůda Sebastian. Obsah sledovaných živin, minerálních látek a těžkých kovů byl průkazně ovlivněn všemi sledovanými faktory, tedy odrůdou, pěstební lokalitou i ročníkem. Mezi odrůdami byla zjištěna průkazná diference v akumulaci obsahu P, B, Cu, Fe a poměru Ca vůči Mg. Na obsah minerálních látek měla průkazný vliv hmotnost zrna. Využití hmotnosti zrna jako kovarianty se projevilo ve snížení zjištěné míry průkaznosti vlivu odrůdy na obsah makroprvků K, Ca i Mg a interakce lokality s odrůdou u všech makroprvků a mikroprvků, s výjimkou obsahu Fe. Vyšší koncentrace některých minerálních látek v zrně byla spojena se zvyšováním obsahu N-látek (NL x Zn: $r = 0,50^{**}$ až $0,77^{**}$) a podílu vlákniny (vláknina x Mg: $r = 0,24$ až $0,38^{*}$; vláknina x Ca: $r = 0,23$ až $0,78^{**}$) a naopak snižováním obsahu škrobu (škrob x Mg: $r = -0,54^{**}$ až $-0,72^{**}$).

Vaculová, K. – Balounová, M. – Cerkal, R. – Ehrenbergerová, J.: The effect of location and year on mineral content in spring barley grain. Kvasny Prum. 56, 2010, No. 2, p. 60–68.

The effect of location (Kroměříž, Žabčice) and year (2005, 2007 and 2008) on the content of mineral elements and basic grain chemical composition (N-substances, starch, fat, fibre) was studied in seven spring malting barley cultivars (Amulet, Bojos, Jersey, Malz, Prestige, Sebastian and Tolar), grown under a cropping system with restricted chemical treatment. Considering the requirements for the content of macro- and microelements for good growth, development and fermentation activity of brewers yeast, the best cultivars were Amulet and Prestige, cv. Bojos ranked among the cultivars with low contents of all macroelements and the lowest content of microelements was characteristic for cv. Sebastian. The content of the examined nutrients, minerals and heavy metals was affected significantly by all factors studied, i.e. cultivar, location and year. There was a significant difference among cultivars in the content of P, B, Cu, Fe and Ca to Mg ratio. The content of minerals was significantly influenced by grain weight. Use of grain weight as a covariate resulted in decreasing a significance level of cultivar effect on the content of macroelements K, Ca as well as Mg, and the location x cultivar interaction in all macro- and microelements, except Fe content. A higher concentration of some minerals in grain was related to increasing the content of N-substances (N-subst. x Zn: $r = 0.50^{**}$ to 0.77^{**}) and fibre proportion (fibre x Mg: $r = 0.24$ to 0.38^{*} ; fibre x Ca: $r = 0.23$ to 0.78^{**}) and conversely decreasing the content of starch (starch x Mg: $r = -0.54^{**}$ to -0.72^{**}).

Vaculová, K. – Balounová, M. – Cerkal, R. – Ehrenbergerová, J.: Der Einfluss der Lokalität und des Jahrganges auf den Gehalt an Mineralstoffe im Korn der Sommergerste. Kvasny Prum. 56, 2010, Nr. 2, S. 60–68.

Der Einfluss der Lokalität (Kroměříž und Žabčice) und des Jahrganges (2005, 2007 und 2008) auf den Gehalt an Mineralstoffe und auf die Grundzusammensetzung des Sommergerstenkornes (N – Stoffe, Stärke, Fett und Faserstoff) bei den sieben Gerstensorten mit beschränkter chemischer Behandlung wurde verfolgt. Als die beste Gerstensorte vom Gesichtspunkt der Anforderungen auf den Gehalt an Makro- und Mikroelemente für die richtige Vermehrung, Entwicklung und Gäraktivität der Brauhefe wurden Amulet und Prestige, zu den Sorten mit dem niedrigen Gehalt an alle Makroelemente gehörte Bojos und die schwächste Akkumulation von Mikroelementen wies die Sorte Sebastian auf. Der Gehalt an verfolgte Nährungsstoffe, Mineralstoffe und Schwermetalle wurde durch alle Faktoren (Gerstensorte, Anbaulokalität und Jahrgang) wurde erweislich bestätigt. Unter Gerstensorten in der Gehaltakkumulation von Elementen P, B, Cu, Fe und Verhältnis Ca/Mg eine wurde erweisliche Differenz festgestellt. Die Masse des Gerstenkorns wies einen erweislichen Einfluss auf den Gehalt an Mineralstoffen auf. Die Ausnutzung der Kornmasse als Kovariante äußerte sich in der Herabsetzung des festgestellten Beweiskraft Grads vom Sorteneinfluss auf den Gehalt an K, Ca und Mg und Interaktion mit einer Ausnahme von Fe bei allen Makro- und Mikroelementen. Die höhere Konzentration der einigen Mineralstoffen im Gerstenkorn wurde mit der Erhöhung des Gehalts an N-Stoffen (NL x Zn: $r = 0,50^{**}$ bis $0,77^{**}$) und mit dem Faserstoffanteil (Faserstoffanteil x Mg: $r = 0,24$ bis $0,38^{*}$; Faserstoff x Ca: $r = 0,23$ bis $0,78^{**}$) und im Gegenteil mit der Reduzierung des Gehaltes an Stärke (Stärke x Mg: $r = -0,54^{**}$ bis $-0,72^{**}$) verbunden.

Klíčová slova: ječmen jarní, sladovnické odrůdy, zrno, pěstování, minerální látky, základní chemické složení

Keywords: spring barley, malting cultivars, grain, growing, mineral elements, basic chemical composition

1 ÚVOD

Minerální látky jsou nezbytné pro správnou výživu, růst a vývoj všech eukaryotických organismů. Požadavky na množství a zastoupení jednotlivých minerálních látek se liší podle druhu organismu – uvádí se, že 22–23 minerálních látek je nezbytných pro jejich správnou funkci [1–3].

Hlavním zdrojem minerálních látek ve výživě je potrava a voda. Studie provedené v řadě zemí referují o změnách obsahu minerálních látek v hlavních potravinářských plodinách v průběhu posledních 30–50 let, což se odráží jak ve výživě obyvatel, tak i hospodářských zvířat [4–5]. Obsah minerálů v rostlinách je ovlivněn nejen druhem

1 INTRODUCTION

Mineral elements are essential for proper nutrition, growth and development of all eucaryotic organisms. Amounts and proportions of individual minerals differ depending on an organism species; it has been reported that 22–23 minerals are necessary for their good functioning [1–3].

Main sources of minerals in nutrition are food and water. Studies conducted in a number of countries report changes in the content of minerals in staple food crops over the last 30–50 years, which is reflected in both human and farm animals nutrition [4–5]. Mineral content in plants is affected not only by a species and cultivar, but as well

a odrůdou, ale i půdními, klimatickými, povětrnostními podmínkami a dalšími faktory (výživou rostlin, napadením chorobami, přítomností toxických kovů, pesticidů, mykotoxinů, apod.) [6–7].

Sledování obsahu minerálních látek v zrně obilovin se povětšinou neprovádí, protože se má všeobecně za to, že meziodrůdové difference nejsou významné. Výsledky studia různých druhů a odrůd obilovin z pohledu možnosti jejich využití pro lidskou výživu nebo krmení hospodářských zvířat [8] však prokazují, že existující meziodrůdové a druhové difference mohou mít nutriční význam. U sladovnických odrůd ječmene nepatří obsah minerálních látek v zrně (kromě obsahu N) k ukazatelům sledovaným sladovnicemi a není tedy podstatný ani pro pěstitele. Nicméně obsah a vzájemný poměr minerálních látek je jedním z faktorů důležitých pro růst a vývoj pivovarských kvasinek [9–12], a tedy i pro kvalitu piva jako cílového produktu.

Hlavním záměrem práce bylo prostudovat vliv lokality a ročníku na obsah minerálních látek v zrně vybraných sladovnických odrůd ječmene jarního, hodnocený zejména z hlediska požadavků pivovarských kvasinek.

as by soil, climatic and weather conditions, and other factors (plant nutrition, disease infection, the presence of toxic metals, pesticides, mycotoxins, etc.) [6–7].

Mineral content in cereal grain is not commonly observed because it is generally assumed that differences among cultivars are not substantial. However, the results of studies of various cereal species with a view to their use for human nutrition or feeding farm animals [8] document that current differences among cultivars and species can be of particular nutritional importance. The content of minerals in grain of malting barley cultivars (except N content) is not listed among parameters followed by malt houses and thereby it is not important for growers either. Nevertheless, the content and ratio of minerals is one of the factors relevant for growth and development of brewers yeast [9–12], and thus for beer quality as a final product.

The main objective of the present work was to study the effect of location and year on the content of mineral elements in grain of the selected malting cultivars of spring barley examined especially with a view to requirements of brewers yeast.

2 MATERIÁL A METODIKA

Byly studovány vzorky zrna vybraného souboru 7 odrůd ječmene jarního (Amulet, Bojos, Jersey, Malz, Prestige, Sebastian a Tolar), pěstovaných v letech 2005, 2007 a 2008 na dvou lokalitách (Kroměříž, Žabčice) po předplodině ozimé pšenici, v pokusech vedených v režimu s omezenými chemickými vstupy.

Lokalita Kroměříž (49° 17' severní šířky, 17° 22' východní délky) se nachází v řepařské zemědělské výrobní oblasti, v průměrné nadmořské výšce 235 metrů nad mořem (variabilita od 195 do 250 m n. m.) v rovinatém terénu nivy řeky Moravy. Region je charakterizován jako teplý a mírně vlhký. Půdní typ pokusných pozemků je klasifikován jako černozem luvická, půdní druh hlinitá půda středně těžká.

Lokalita Žabčice (49°01', severní šířky a 16°37', východní délky) se nachází v kukuřičné zemědělské výrobní oblasti, podoblasti K2, v průměrné nadmořské výšce 184 metrů nad mořem v rovinatém terénu nivy řeky Svatky (Dyjskosvratecký úval). Půdní typ pokusných pozemků je klasifikován jako fluvizem glejová, jedná se o půdu středně těžkou až těžkou, půdní druh jílovitohlinitá až jílovitá. Průběh počasí ve vegetačním období v jednotlivých letech je znázorněn na obr. 1.

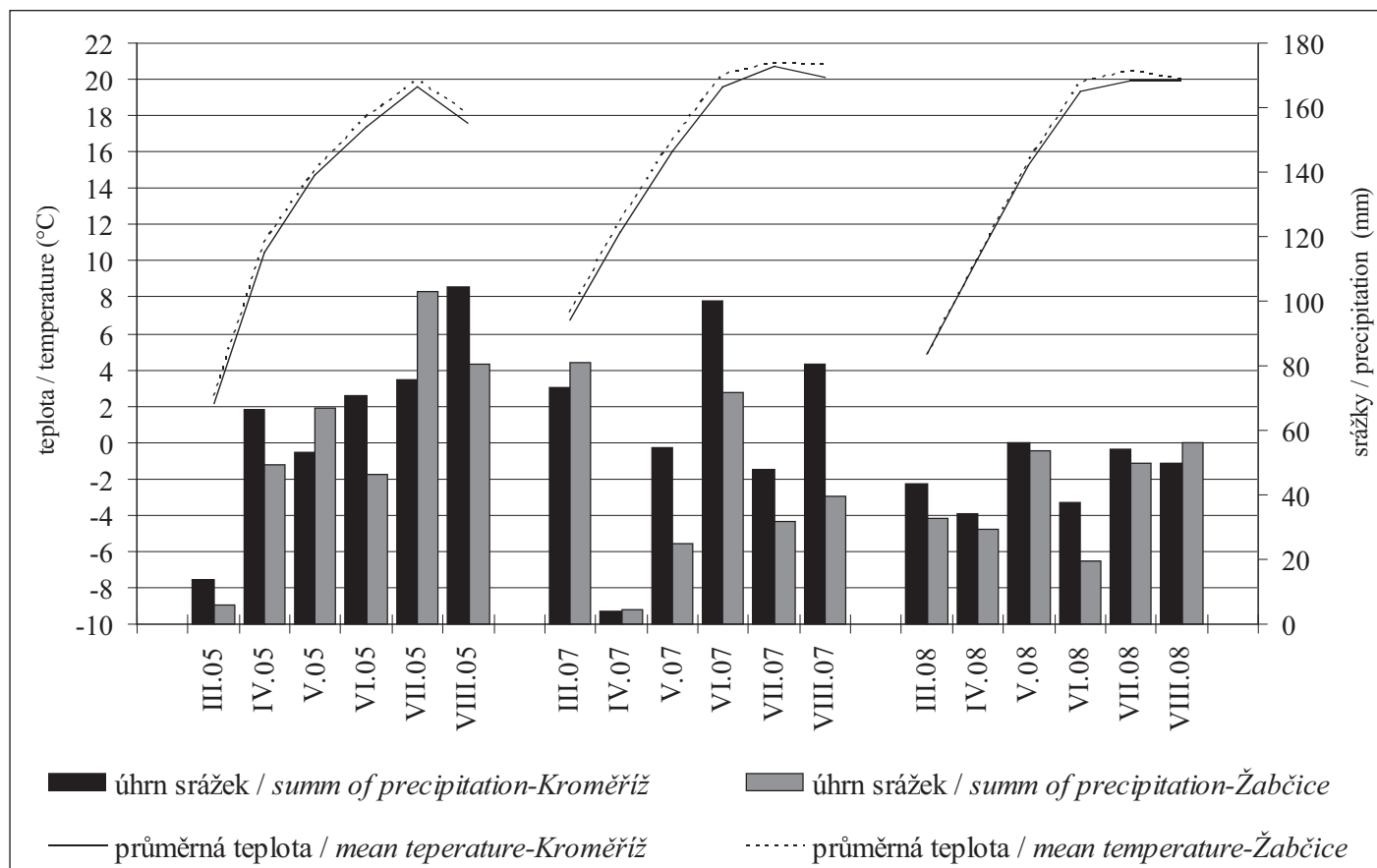
2 MATERIAL AND METHODS

Grain samples of a selected set of 7 spring barley cultivars (Amulet, Bojos, Jersey, Malz, Prestige, Sebastian a Tolar) were investigated. The cultivars were grown in 2005, 2007 and 2008 at two locations (Kroměříž and Žabčice) after winter wheat as a preceding crop in trials conducted in cropping system with restricted chemical treatment.

Kroměříž (49°17' N, 17°22' E) is located in the sugarbeet production region at the altitude of 235 m (varying from 195 to 250 m a.s.l.) in the Morava River alluvial plain. The region is characterized as warm and slightly humid. The soil type of experimental fields is Luvi-haplic Chernozem, soil type is loam, medium heavy.

Žabčice (49°01' N, 16°37' E) is located in the maize production region (sub-region K2) at the average altitude of 184 m in the Svatka River alluvial plain (Dyje-Svatka Vale). The soil type of experimental fields is gleyic fluvisol; it is medium heavy to heavy, soil type is clay loam to clay. Weather conditions during the growing season in individual years are illustrated in Fig. 1.

The experimental plots were managed according to a cropping practice that is optimum for growing malting barley at the given lo-



Obr. 1 Průběh počasí v letech 2005, 2007 a 2008 na lokalitách Kroměříž a Žabčice / Fig. 1 Weather conditions at Kroměříž and Žabčice in 2005, 2007 and 2008

Příprava pozemků pod pokusy byla provedena podle metodiky optimální pro pěstování sladovnického ječmene v dané lokalitě, hnojení PK bylo provedeno vzhledem na podzim předcházejícího roku podle výsledků chemických analýz půdy. Každoročně před setím byly z půdního profilu 0–30 cm odebrány vzorky půdy na analýzy minerálního složení.

Po sklizni a třídění na síte 2,5 mm byla ve vzorcích zrna stanovena hmotnost 1000 zrn (HTZ v g – podle metodiky EBC 4.4). Standardními analytickými metodami byl stanoven obsah škrobu, dusíku (přepočet na obsah celkových N-látek s využitím koeficientu 6,25 – NL), tuku a vlákniny. Všechny výše uvedené složky zrna byly vyjádřeny v % sušiny. U všech vzorků zrna a půdy byl stanoven obsah minerálních látek podle platných metodik ČSN, ISO a norem ICC (makroprvky: fosfor-P, draslík-K, vápník-Ca, hořčík-Mg – v % sušiny; mikroprvky: mangan-Mn, železo-Fe, zinek-Zn a měď-Cu a těžké kovy: rtuť-Hg, olovo-Pb a kadmium-Cd – v mg.kg⁻¹ sušiny). Byl vypočten sumární obsah makroprvků (Σ makro), mikroprvků (Σ mikro) a těžkých kovů (Σ TK). Obsah minerálních látek v půdě je uveden v tab. 1.

Tab. 1 pH a obsah makroprvků v půdě (mg.kg⁻¹) / Table 1 pH and macroelement content in soil (mg.kg⁻¹)

Lokalita / Location	Rok / Year	pH	P	K	Ca	Mg
Kroměříž	2005	6.11	130.2	231.5	2212.5	224.5
	2007	6.81	68.3	215.0	2216.0	396.0
	2008	6.49	90.4	286.0	1906.0	209.0
Žabčice	2005	7.3	138.3	222.2	5853.0	403.3
	2007	7.3	87.5	190.6	4666.4	420.4
	2008	6.38	88.5	221.3	4330.4	353.6

Statistické zpracování výsledků bylo provedeno v programu STATISTICA verze 8.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Byla použita analýza variance a kovariance (GLM) s mnohonásobným tříděním (Tukey a LSD test), vzájemné vztahy mezi sledovanými ukazateli byly hodnoceny korelačními a parciálními korelačními koeficienty.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

Studované makro- i mikroprvky (s výjimkou bóru) patří k nepostradatelným minerálním látkám, nezbytným z pohledu lidské výživy i výživy zvířat [13]. Mnohé z nich jsou však nezbytné i pro správný vývoj a růst pivovarských kvasinek, kde působí zejména jako kofaktory katalytických enzymatických reakcí, v jejichž důsledku se produkuje alkohol, aromatické látky, energie nezbytná pro růst a tvorbu buněčných stěn kvasinek a průběh dalších důležitých metabolických procesů [11]. Průměrný obsah makroprvků (tab. 2) v zrně studovaných odrůd kolísá od 0,054 % (Ca, odrůda Malz) po 0,566 % (K – Sebastian), mikroprvků od 4,32 mg.kg⁻¹ (Cu – Tolar) po 49,01 mg.kg⁻¹ (Fe – Amulet) a těžkých kovů od 0,025 mg.kg⁻¹ (Hg – Sebastian) po 0,517 mg.kg⁻¹ (Pb – Malz).

Zastoupení minerálních látek v kvasinkách je odlišné od teplokrvných organismů. Převládá fosfor, který tvoří 3–5 % sušiny a následuje draslík s cca 2 %. Na rozdíl například od hospodářských zvířat mají kvasinky malé požadavky na vápník, jenž má význam při flokulaci, avšak není považován za látku nezbytnou pro růst a fermentační schopnost. Naopak White [11] uvádí, že hořčík je pro růst nezbytný a hraje roli i v prevenci „buněčné smrti“, která může nastat při vysokých koncentracích alkoholu uvnitř buněk. Z tohoto pohledu bylo chemické složení zrna ječmene poměrně příznivé, protože průměrný obsah uvedených makroprvků v zrně klesal v pořadí K>P>Mg>Ca (0,53; 0,38; 0,12; 0,06 %). I přes malé absolutní difference existovaly mezi studovanými odrůdami ječmene statisticky významné rozdíly, zejména v obsahu P, pro který se odrůdy Prestige a Amulet průkazně lišily od odrůd Bojos, Jersey a Sebastian. Význam minerální výživy a aktivity enzymů pro koncentraci alkoholu, hustotu sladinu a hlavní aromatické složky uvádějí také Iwami et al. [14], kteří zjistili, že růst kvasinek použitých pro výrobu alkoholického nápoje „shochu“ byl nejsilněji ovlivněn přítomností dusíku, fosforu a draslíku. Z pohledu preferovaných makroprvků pro výživu kvasinek byla mezi odrůdami s nejvyšším obsahem P, K a Mg (Prestige) a odrůdou s nejnižším obsahem těchto minerálů (Bojos) zjištěna difference 6,3 %. Reese a Stewart [15] uvádějí, že zvýšený poměr Mg vůči Ca má vliv na urychlení inicializace fermentace, výnos ethanolu a vitalitu kvasinek v závěru fermentace. I když vzájemné rozdíly mezi odrůdami

PK fertilizers were applied in the autumn of the preceding year based on soil chemical analysis. Each year prior to sowing, soil samples were taken from a 0–30-cm profile for analyses of mineral composition.

After harvest and grain grading through 2.5-mm sieves, 1000-kernel weight (TKW in g, according to EBC standard 4.4) was determined in the grain samples. Standard analytical methods were used to assess the content of starch, nitrogen (converted to total N-substances using coefficient 6.25 – NS), fat and fibre. All the mentioned grain components were expressed in % of dry matter (DM). The content of minerals in all grain and soil samples was analyzed according to valid methods of ČSN (Czech National Standard), ISO and ICC standards (macroelements: phosphorus-P, potassium-K, calcium-Ca, magnesium-Mg – in % of DM; microelements: manganese-Mn, iron-Fe, zinc-Zn and copper-Cu and heavy metals: mercury-Hg, lead-Pb and cadmium-Cd – in mg.kg⁻¹ DM). Summary contents of macroelements (Σ macro), microelements (Σ mikro) and heavy metals (Σ HM) were calculated. The content of minerals in soil is given in the Table 1.

The results were statistically evaluated using STATISTICA version 8.0 software (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Analysis of variance and covariance (GLM) with multiple comparison (Tukey and LSD post-hoc tests) was used and interrelationships between the parameters examined were evaluated by correlation and partial correlation coefficients.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Macro- as well as microelements (except B) rank among essential minerals, which are necessary for human and animal nutrition [13]. Some of them, however, are also indispensable for good development and growth of brewers yeast, where they act particularly as co-factors in catalytic enzyme reactions resulting in producing alcohol, aromatic compounds, energy necessary for the growth and development of yeast cell membranes, and the course of other important metabolic processes [11]. The mean content of macroelements (Tab.2) in grain of the cultivars studied ranged from 0.054 % (Ca – cv. Malz) to 0.566 % (K – cv. Sebastian), microelements from 4.32 mg.kg⁻¹ (Cu – cv. Tolar) to 49.01 mg.kg⁻¹ (Fe – cv. Amulet) and heavy metals from 0.025 mg.kg⁻¹ (Hg – cv. Sebastian) to 0.517 mg.kg⁻¹ (Pb – cv. Malz).

The percentage of minerals in yeast differs from that in warm-blooded organisms. Phosphorus dominates and accounts for 3–5 % of DM, followed by potassium with about 2 %. In contrast to farm animals, yeast requires less Ca, which is important for flocculation, however, it is not considered an element essential for growth and fermentation ability. Magnesium, on the contrary, is necessary for the growth and plays a role also in preventing “cell death”, which can be induced by high alcohol concentrations within the cell [11]. Considering this aspect, the chemical composition of barley grain was relatively favourable because the mean content of the macroelements in grain decreased in the order K>P>Mg>Ca (0.53, 0.38, 0.12, 0.06 %). In spite of small absolute differences, there were significant differences among the cultivars especially in P content, in which cvs. Prestige and Amulet significantly differed from cvs. Bojos, Jersey and Sebastian. The importance of mineral nutrition and enzyme activity for alcohol concentration, wort density and main aromatic components is also reported by Iwami et al. [14], who found that the growth of yeast used for producing an alcohol beverage “shochu” was affected most strongly by the presence of N, P and K. In terms of the macroelements preferred in yeast nutrition, a difference of 6.3 % was found between the cultivar with the highest content of P, K and Mg (Prestige) and the cultivar with the lowest content of these minerals (Bojos). Reese and Stewart [15] report that elevating the Mg to Ca ratio influences speeding up fermentation initiation, ethanol yield and yeast viability at the end of fermentation. Though the differences between cultivars with the lowest and the highest content of individual macroelements were not high and ranged from 5.8 % (Mg) to 16.9 % (Ca), the difference in the Mg:Ca ratio amounted to 21.57 %. A significant difference in the Ca to Mg ratio was assessed only for cvs. Malz (1:2.25) and Bojos (1:1.74).

A role of trace elements is different in terms of yeast requirements. Due to low concentrations and the ability to chelate in yeast cells, there is a shortage of some microelements, whereas others can be redundant. The mean content of microelements in grain decreased in the order Fe>B>Zn>Mn>Cu (43.4; 35.8; 24.7; 12.5; 5.3 mg.kg⁻¹). The importance of Cu, Zn and Fe for the growth and development of yeast has been known for a longer time [16]. Copper, at a lower

Tab. 2 / Průměrné hodnoty (\pm sx) hmotnosti, obsahu živin a minerálních látek v sušině zrna ze všech pokusných lokalit a ročníků / Table 2 Mean values (\pm sx) of weight, contents of nutrients and minerals in grain DM from all locations and years

Odrůda, ukazatel / Cultivar, item	HTS, g / TKW, g	živiny, % suš. / nutrients, % DM			
		Škrob / Starch	Tuk / Fat	Vláknina / Fibre	NL / NS ¹⁾
Amulet	48.1 \pm 1.3	60.6 \pm 0.8	1.9 \pm 0.05	4.4 \pm 0.12	12.3 \pm 0.47
Bojos	46.4 \pm 1.1	61.3 \pm 0.8	2.0 \pm 0.12	4.1 \pm 0.14	12.4 \pm 0.47
Jersey	45.6 \pm 0.9	59.3 \pm 0.8	2.2 \pm 0.08	4.5 \pm 0.10	11.7 \pm 0.38
Malz	45.8 \pm 0.8	60.6 \pm 0.4	1.9 \pm 0.04	3.9 \pm 0.10	11.8 \pm 0.43
Prestige	48.9 \pm 1.3	60.8 \pm 0.6	2.0 \pm 0.04	4.4 \pm 0.07	11.8 \pm 0.46
Sebastian	45.7 \pm 1.0	60.4 \pm 0.6	2.0 \pm 0.07	4.2 \pm 0.08	11.5 \pm 0.48
Tolar	48.4 \pm 0.9	59.4 \pm 0.7	2.2 \pm 0.05	4.5 \pm 0.10	12.1 \pm 0.60
MD _{0.05} ²⁾	0.62	0.76	0.11	0.21	0.36
Odrůda, ukazatel / Cultivar, item	makroprvky, % suš. / macroelements, % DM				
	P	K	Ca	Mg	Σ makro / Σ macro ¹⁾
Amulet	0.396 \pm 0.015	0.524 \pm 0.015	0.064 \pm 0.003	0.120 \pm 0.004	1.104 \pm 0.034
Bojos	0.363 \pm 0.017	0.520 \pm 0.016	0.065 \pm 0.003	0.113 \pm 0.004	1.060 \pm 0.036
Jersey	0.365 \pm 0.016	0.548 \pm 0.018	0.062 \pm 0.004	0.117 \pm 0.004	1.092 \pm 0.037
Malz	0.389 \pm 0.011	0.519 \pm 0.012	0.054 \pm 0.003	0.120 \pm 0.003	1.081 \pm 0.025
Prestige	0.406 \pm 0.014	0.535 \pm 0.013	0.060 \pm 0.003	0.120 \pm 0.004	1.121 \pm 0.028
Sebastian	0.370 \pm 0.013	0.566 \pm 0.016	0.060 \pm 0.003	0.115 \pm 0.004	1.112 \pm 0.026
Tolar	0.391 \pm 0.014	0.503 \pm 0.014	0.060 \pm 0.003	0.113 \pm 0.004	1.066 \pm 0.028
MD _{0.05}	0.020	0.028	0.003	0.005	n.s.
Odrůda, ukazatel / Cultivar, item	mikroprvky, mg.kg ⁻¹ suš. / microelements, mg.kg ⁻¹ DM				
	B	Cu	Fe	Zn	Mn
Amulet	43.33 \pm 2.48	5.21 \pm 0.57	49.01 \pm 2.54	24.59 \pm 1.61	13.58 \pm 0.61
Bojos	33.83 \pm 2.51	6.32 \pm 0.73	45.30 \pm 2.05	25.67 \pm 2.00	12.77 \pm 0.38
Jersey	36.67 \pm 0.86	5.93 \pm 0.72	42.10 \pm 3.51	23.02 \pm 1.36	13.45 \pm 0.38
Malz	34.17 \pm 1.74	5.42 \pm 0.50	43.81 \pm 2.25	24.93 \pm 1.28	12.35 \pm 0.50
Prestige	34.83 \pm 1.96	4.57 \pm 0.37	42.86 \pm 1.96	24.72 \pm 1.35	11.98 \pm 0.52
Sebastian	32.67 \pm 2.24	5.02 \pm 0.35	38.58 \pm 0.71	25.37 \pm 2.00	10.73 \pm 0.52
Tolar	35.33 \pm 1.12	4.32 \pm 0.25	41.92 \pm 1.85	24.75 \pm 1.58	12.32 \pm 0.78
MD _{0.05}	2.68	0.29	3.23	n.s.	0.35
Odrůda, ukazatel / Cultivar, item	mikroprvky, těžké kovy, mg.kg ⁻¹ suš. / microelements, heavy metals, mg.kg ⁻¹ DM				
	Σ mikro / Σ micro ¹⁾	Cd	Pb	Hg	Σ TK / Σ HM ¹⁾
Amulet	135.74 \pm 2.04	0.0212 \pm 0.0030	0.469 \pm 0.150	0.0036 \pm 0.0010	0.494 \pm 0.148
Bojos	123.89 \pm 2.64	0.0183 \pm 0.0032	0.426 \pm 0.109	0.0028 \pm 0.0005	0.447 \pm 0.108
Jersey	121.17 \pm 3.45	0.0188 \pm 0.0027	0.143 \pm 0.020	0.0032 \pm 0.0006	0.165 \pm 0.021
Malz	120.68 \pm 3.84	0.0270 \pm 0.0041	0.517 \pm 0.215	0.0034 \pm 0.0010	0.547 \pm 0.212
Prestige	118.96 \pm 3.77	0.0177 \pm 0.0023	0.396 \pm 0.122	0.0040 \pm 0.0011	0.418 \pm 0.120
Sebastian	112.36 \pm 2.42	0.0187 \pm 0.0026	0.376 \pm 0.087	0.0025 \pm 0.0006	0.397 \pm 0.086
Tolar	118.65 \pm 2.78	0.0177 \pm 0.0026	0.415 \pm 0.147	0.0036 \pm 0.0011	0.436 \pm 0.146
MD _{0.05}	5.77	0.002	n.s.	n.s.	n.s.

¹⁾ – viz. Materiál a metodika / see Material and Methods²⁾ – minimální průkazná difference při P_{0.05} / minimal significant difference at P_{0.05}

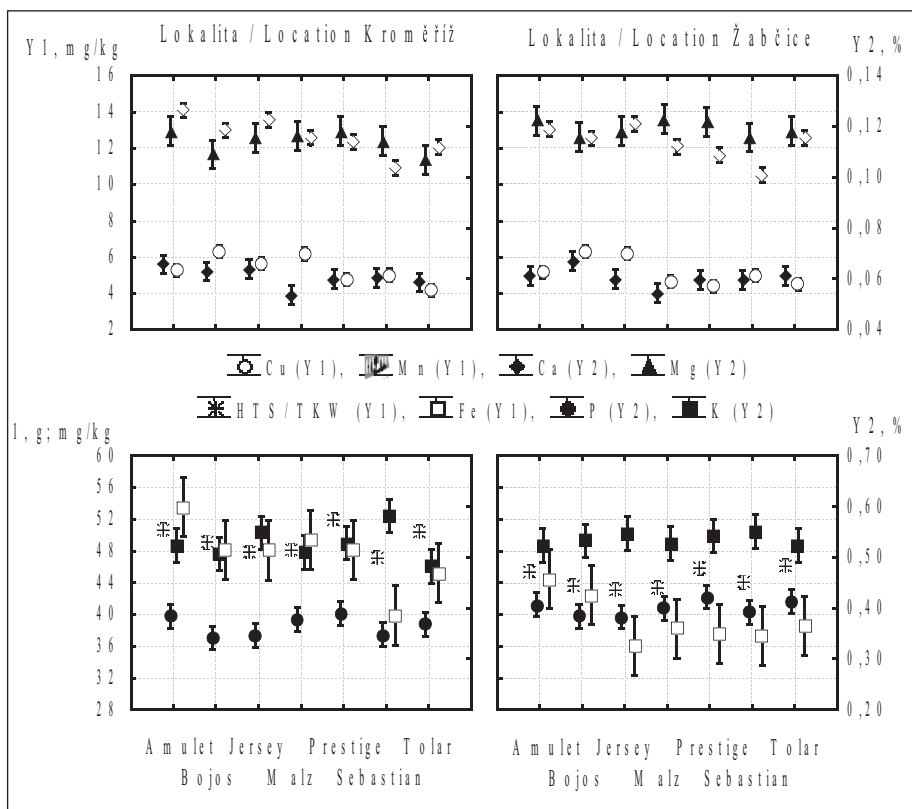
s nejnižším a nejvyšším obsahem jednotlivých makroprvků ale nebyly vysoké a pohybovaly se od 5,8 % (Mg) po 16,9 % (Ca), difference v poměru Mg:Ca dosahovala hodnoty až 21,57 %. Průkazné se v poměru Ca:Mg lišily jen odrůdy Malz (1:2,25) a Bojos (1:1,74).

Role stopových prvků je z pohledu potřeby kvasinek odlišná. Vzhledem k nízkým koncentracím a schopnosti vytvářet v kvasinkových buňkách chelátové vazby, jsou některé mikroprvky v nedostatku, zatímco jiné mohou být nadbytečné. Průměrný obsah mikroprvků v zrně odrůd klesal v pořadí Fe>B>Zn>Mn>Cu (43,4; 35,8; 24,7; 12,5; 5,3 mg.kg⁻¹). Význam Cu, Zn a Fe pro růst a vývoj kvasinek je známý již delší dobu [16]. Měď je v malém množství nezbytná pro růst buněk a produkci ethanolu, avšak vyšší koncentrace naopak růst i produkci alkoholu brzdí [17]. Její příjem souvisí s příjmem K, protektivní účinek má i Mg a Ca [18]. Železo je kofaktorem enzymů a komponentou důležitou pro strukturu bílkovin a metabolické procesy včetně syntézy DNA. Homeostáze Fe je u kvasinek závislá na přítomnosti Cu [19]. Zinek má význam pro reprodukci buněk a je kofaktorem alkoholové dehydrogenasy, avšak je to prvek, jak uvádí White [11], který je ve sladině často limitní. Také v našem souboru studovaných odrůd

amount, is essential for cell growth and ethanol production, but conversely, its higher concentrations can inhibit cell growth as well as alcohol production [17]. Its uptake is related to K uptake and protective effects have also been assessed for Mg and Ca [18]. Iron is a cofactor in enzymes and a component important for protein structure and metabolic processes including DNA synthesis. In yeast, Fe homeostasis depends on the presence of Cu [19]. Zinc is important for cell reproduction and is a cofactor for alcohol dehydrogenase, however, it is an element that is often limited in brewers wort [11]. Likewise in our set of barley cultivars, Zn was a microelement for which the factor "cultivar" was not significant.

In comparison with the content of macroelements, the differences between cultivars with the lowest and those with the highest content of microelements were greater. The highest mean total content of all microelements was determined in cv. Amulet (135.7 mg.kg⁻¹) that had also the highest content of Mn, Fe and B.

Thus, it exceeded cv. Sebastian with the lowest ability of accumulating the mentioned elements by 21.3–55.4 %, while the greatest difference between the two cultivars was in B content. Until recently, B



Obr. 2 Průměrné hodnoty a variabilita HTS a obsahu vybraných makro a mikroprvků ve vzorcích zrna odrůd ječmene jarního z lokalit Kroměříž a Žabčice (průměr let 2005, 2007 a 2008) / Fig. 2 Mean values and variability in TKW and the content of selected macro- and microelements in grain samples of spring barley from Kroměříž and Žabčice (mean of 2005, 2007 and 2008)

ječmene byl Zn mikroprvkem, pro který nebyl faktor „odrůda“ průkazný.

V porovnání s obsahem makroprvků byly difference mezi odrůdami s nejnižším a nejvyšším obsahem mikroprvků větší. Nejvyšší průměrný sumární obsah všech mikroprvků byl stanoven u odrůdy Amulet ($135,7 \text{ mg.kg}^{-1}$), která akumulovala v zrně rovněž nejvíce Mn, Fe, a B.

Odrůdu Sebastian s nejnižší schopností hromadit uvedené prvky tak překonala o 21,3–55,4 %, přičemž největší rozdíl mezi oběma odrůdami byl pro obsah B. Až donedávna byl bór považován za prvek, který má význam pouze ve výživě rostlin nebo v raných vývojových stadiích ryb a obojživelníků. Výzkum posledních let [9] ale potvrzuje, že bór patří k látkám, jejichž deficience se projevuje v depresi růstu kvasinek, zejména po více cyklech množení.

Přítomnost toxických látek má negativní vliv na všechny živé organismy. Kvasinky jsou citlivé například na přítomnost cesia, lithia nebo olova, které inhibují schopnost kvasinek k růstu [11]. Štěrbá et al. [20] zjistili, že bez ohledu na původní obsah v surovině do piva přechází pouze stopové množství nežádoucích těžkých kovů.

V zrně odrůd ječmene

has been considered an element important only in the nutrition of plants or fish and amphibians at early developmental stages. However, the latest research demonstrates that B belongs to the elements whose deficiency results in yeast growth depression, especially after more propagation cycles.

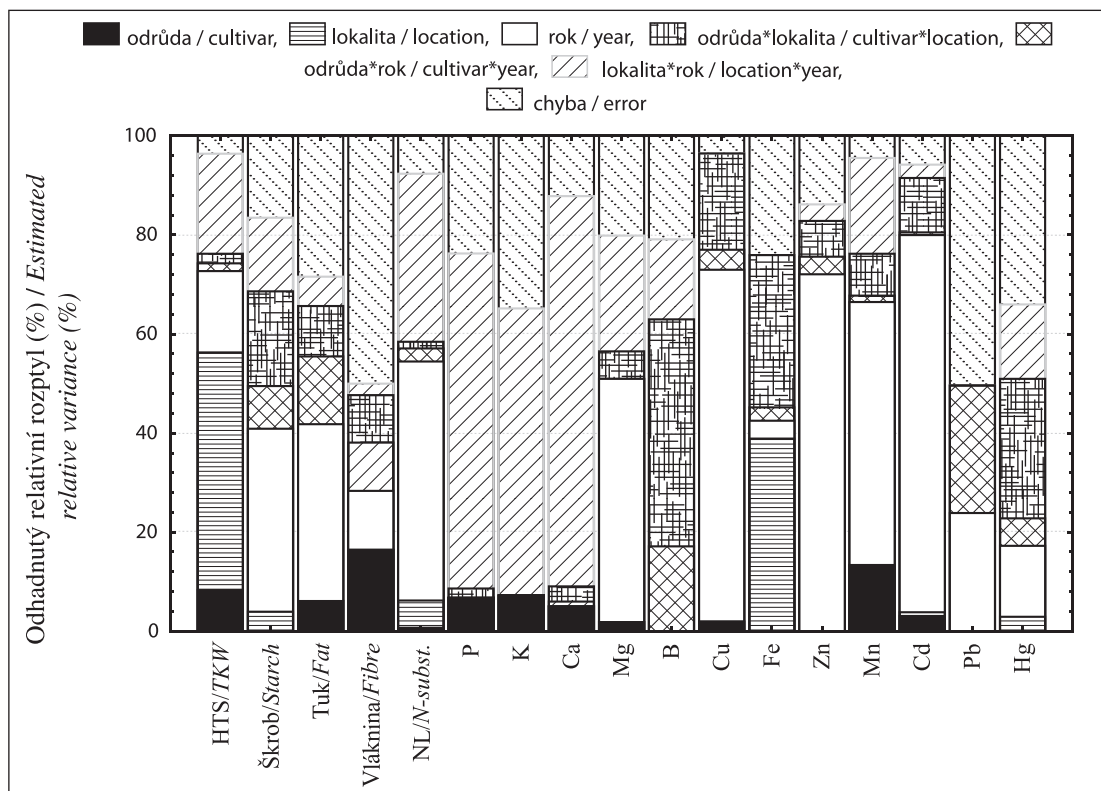
The presence of toxic elements adversely affects all living organisms. Yeast is sensitive, for instance, to the presence of cesium, lithium or lead that all inhibit the ability of yeast to grow [11]. Štěrbá et al. [20] found that regardless of an original content in raw material, only trace amounts of undesirable heavy metals are transferred into beer.

The content of Cd, Pb and Hg was determined in barley grain, however, average differences among cultivars were significant for Cd only. Due to the fact that the allowed limit of Cd ($= 0.10 \text{ mg.kg}^{-1}$, set for foodstuffs by Commission Regulation (EC) No. 629/2008) [21] was not exceeded in any cultivar at both locations and in years, even significant differences among cultivars can be considered unsubstantial. More distinct differences among cultivars were assessed for Pb in grain. However, the difference of 72.3 % between the lowest (0.143 mg.kg^{-1} – cv. Jersey) and the highest content of Pb (0.517 mg.kg^{-1} – cv. Malz) was not significant due to large variation in this heavy metal.

Different soil and weather conditions are often referred to as main factors influencing the uptake and accumulation of minerals in plants [7, 22].

The effect of location combined with the effect of year on the accumulation of selected minerals and TKW changes in individual cultivars is illustrated in Fig. 2. The graphs demonstrate not only cultivar preferences (e.g. Σ micro in cv. Amulet), but as well as different effects of both locations on the variation level in the minerals examined and grain weight.

Components of estimated relative variance (Fig. 3) differed for in-



Obr. 3 Komponenty odhadnutého relativního rozptylu HTS, živin, minerálních látek a těžkých kovů generované působením jednotlivých faktorů a jejich interakcí / Fig. 3 Components of estimated relative variance of TKW, nutrients, minerals and heavy metals generated by the effect of individual factors and their interactions

byl stanoven obsah kadmia, olova a rtuti, avšak pouze pro Cd byly průměrné difference mezi odrůdami průkazné. Vzhledem k tomu, že ani u jedné odrůdy nebyl v obou lokalitách i pěstebních ročních přechodů povolený maximální limit Cd = 0,10 mg.kg⁻¹, daný Nařízením komise č. 629/2008 pro potraviny [21], lze i existující signifikantní rozdíly mezi odrůdami považovat za nepodstatné. Výraznější rozdíly mezi odrůdami byly zjištěny v obsahu Pb v zrně. Difference mezi nejvyšším (0,143 mg.kg⁻¹ – odrůda Jersey) a nejvyšším obsahem Pb (0,517 mg.kg⁻¹ – odrůda Malz), která činila 72,3 %, však kvůli velké proměnlivosti tohoto těžkého kovu nebyla průkazná.

Rozdílné půdní a povětrnostní podmínky jsou často uváděny jako hlavní faktory, ovlivňující příjem a akumulaci minerálních látek v rostlinách [7, 22]. Vliv pěstební lokality v kombinaci s působením ročníku na akumulaci vybraných minerálních látek a změny v HTS u jednotlivých odrůd znázorňují grafy na obr. 2. Jsou z nich zřejmé nejen zjištěné odrůdové preference (například u odrůdy Amulet pro Σ mikro), ale také rozdílný vliv obou lokalit na míru proměnlivosti sledovaných minerálních látek a hmotnosti zrna.

Složky odhadnutého relativního rozptylu (obr. 3) byly rozdílné pro jednotlivé sledované ukazatele. Lokalita se nejsilněji odrazila v proměnlivosti HTS (48 %) a obsahu Fe (38,9 %), kde se na akumulaci významným způsobem podílela také interakce odrůdy s pěstebním ročníkem. Podobně silný vliv měla tato interakce i na proměnlivost obsahu B (45,8 %). U makroprvků (K, P, a Ca) byla nejsilnějším faktorem proměnlivosti interakce lokality s pěstebním ročníkem (57,9–78,7 %), zatímco v případě obsahu Mg, mikroprvků Cu, Zn a Mn a obsahu Cd byl nejvýznamnějším zdrojem proměnlivosti ročník. Obsah NL ovlivňoval jak pokusný ročník (ze 48,2 %), tak i lokalita (ze 33,8 %).

Variabilita všech sledovaných ukazatelů, měřená variačním koeficientem V (%), byla odlišná v závislosti na měřeném ukazateli a daném faktoru proměnlivosti. Celkově byl vyšší obsah všech makroprvků i mikroprvků (s výjimkou Fe) stanoven ve vzorcích z lokality Žabčice, která se ukázala také jako proměnlivější pro všechny minerální látky (kromě K, Fe a Mn) a TK (tab. 3). Průkazné rozdíly mezi oběma lokalitami byly na základě vícefaktorové analýzy variance detekovány nejen pro minerální látky (P, Mg, Σ makro, B, Fe, Zn, Mn, Σ mikro, Cd a Hg), ale i pro obsah škrobu, NL a zejména pro hmotnost zrna. Průměrná hmotnost 1000 zrn byla v Žabčicích nižší o 4,8 g, tedy o 9,7 % oproti lokalitě Kroměříž, což lze zřejmě přičíst vyšším průměrným teplotám a nižšímu souhrnnu srážek v průběhu vegetačních období všech pokusných ročníků.

Významným faktorem proměnlivosti pro obsah minerálních látek (s výjimkou obsahu B a Σ mikro) byl ročník. Nejvyšší hodnoty variač-

dividual parameters studied. The location was reflected most strongly in the variation in TKW (48 %) and Fe content (38.9 %), where the accumulation was also markedly affected by the cultivar x year interaction. Similarly, this interaction also strongly affected the variation in B content (45.8 %). In macroelements (K, P and Ca), the strongest factor of variation was the location x year interaction (57.9–78.7 %), whereas in the case of the content of Mg, microelements Cu, Zn and Mn, and the content of Cd, the most important source of variation was the year. The content of NS was affected by both the year (48.2 %) and location (33.8 %).

The variation in all parameters investigated, measured using a coefficient of variation V (%), was different depending on a parameter measured and a given factor of variation. Higher contents of all macroelements and microelements (except Fe) were found in samples from Žabčice, which also showed to be more variable for all minerals (except K, Fe and Mn) and HM (Tab. 3). Based on multifactor analysis of variance, significant differences between the two locations were detected not only for minerals (P, Mg, Σ macro, B, Fe, Zn, Mn, Σ mikro, Cd and Hg), but also for the content of starch, NS and especially for grain weight. An average TKW was 4.8 g lower, i.e. by 9.7 %, at Žabčice than at Kroměříž, which is probably due to a higher average temperature and lower precipitation in growing seasons of the years. An important factor of variation for mineral content (except the content of B and Σ mikro) was the year. The highest values of coefficient of variation were calculated for the content of HM (in 2005). However, the most variable year (for TKW, content of P, K, Mg, Σ macro, B, Cu and Mn) was 2007 with the highest average temperatures during the growing season at both locations.

Our results of studying the concentration of minerals in individual kernel parts demonstrated that there were considerable differences between outer layers and endosperm. The highest concentrations of P, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn, Cu and B were determined in outer layers of barley kernel regardless of significant differences that were detected among the genotypes studied [23]. Similar results were obtained at milling wheat grain.

Disregarding the fact that the content of minerals in wholemeals of various wheat cultivars was nearly identical, during a milling process the concentration of macroelements decreased on average by 35 % and microelements by up to 45 % [24]. The strong effect of location on mean values and variation in grain weight also reflected in relationships between TKW and the content of P, K, Ca, Mg, Cu and Zn. The evaluation of data measured separately at both locations documented that the level and often even slope of calculated correlation coefficients differed.

Tab. 3 Průměrné hodnoty, průkaznost diferencí a variabilita hodnocených ukazatelů v pokusných lokalitách a ročnících / Table 3 Mean values, significance of differences and variation in the parameters examined at locations and in years

Ukazatel / Item ¹⁾		Lokalita / Location		Rok / Year			Ukazatel / Item		Lokalita / Location		Rok / Year		
		Kroměříž	Žabčice	2005	2007	2008			Kroměříž	Žabčice	2005	2007	2008
HTS / TKW, g	1	49.4b ¹⁾	44.6 ^a	47.6 ^b	44.4 ^a	49.0 ^c	B, mg.kg ⁻¹	1	34.7 ^a	37.0 ^b	36.0 ^{n.s.}	34.9 ^{n.s.}	36.6 ^{n.s.}
	2	4.2	7.9	5.2	10.0	4.9		2	18.2	21.7	15.1	24.6	20.7
Škrob / Starch, %	1	59.7 ^a	60.9 ^b	62.2 ^c	58.5 ^a	60.3 ^b	Cu, mg.kg ⁻¹	1	5.3 ^{n.s.}	5.2 ^{n.s.}	5.1 ^b	7.2 ^c	3.5 ^a
	2	3.3	4.2	2.9	2.0	3.8		2	34.2	37.6	13.0	23.7	16.4
Tuk / Fat, %	1	2.0 ^{n.s.}	2.0 ^{n.s.}	2.2 ^c	1.8 ^a	2.0 ^b	Fe, mg.kg ⁻¹	1	47.5 ^b	39.2 ^a	45.0 ^b	40.3 ^a	44.9 ^b
	2	13.7	12.4	14.1	8.2	7.4		2	18.4	12.0	17.0	16.6	20.5
Vláknina / Fibre, %	1	4.3 ^{n.s.}	4.3 ^{n.s.}	4.2 ^a	4.5 ^b	4.2 ^a	Zn, mg.kg ⁻¹	1	24.2 ^a	25.3 ^b	19.8 ^a	30.8 ^c	23.6 ^b
	2	11.1	7.9	11.8	6.8	8.2		2	19.9	24.0	5.9	8.2	18.7
NL / NS, %	1	12.5 ^b	11.4 ^a	11.0 ^a	13.6 ^b	11.2 ^a	Mn, mg.kg ⁻¹	1	12.7 ^b	12.3 ^a	14.6 ^b	11.3 ^a	11.4 ^a
	2	11.3	14.2	13.6	6.0	5.7		2	19.4	11.9	10.0	12.2	9.7
P, %	1	0.36 ^a	0.40 ^b	0.38 ^b	0.41 ^c	0.36 ^a	Σ mikro / Σ micro, mg.kg ⁻¹	1	124.3 ^b	119.0 ^a	120.4 ^{n.s.}	124.4 ^{n.s.}	120.1 ^{n.s.}
	2	9.7	14.3	8.5	15.6	10.1		2	10.1	9.5	5.8	10.6	12.4
K, %	1	0.53 ^{n.s.}	0.54 ^{n.s.}	0.55 ^b	0.53 ^{ab}	0.52 ^a	Cd, mg.kg ⁻¹	1	0.021 ^b	0.019 ^a	0.007 ^a	0.027 ^b	0.026 ^b
	2	11.9	8.1	9.6	11.5	8.5		2	50.8	54.7	20.5	16.3	32.9
Ca, %	1	0.06 ^{n.s.}	0.06 ^{n.s.}	0.05 ^a	0.06 ^b	0.07 ^c	Pb, mg.kg ⁻¹	1	0.345 ^a	0.438 ^a	0.691 ^b	0.279 ^a	0.205 ^a
	2	14.2	20.8	19.9	16.0	7.7		2	100.8	125.3	101.4	28.8	45.1
Mg, %	1	0.11 ^a	0.12 ^b	0.10 ^a	0.13 ^c	0.12 ^b	Hg, mg.kg ⁻¹	1	0.003 ^a	0.004 ^b	0.002 ^a	0.005 ^b	0.003 ^a
	2	8.6	13.6	6.9	8.6	8.1		2	74.8	89.8	136.5	63.6	61.3
Σ makro / Σ macro, %	1	1.07 ^a	1.12 ^b	1.09 ^{ab}	1.12 ^b	1.06 ^a	Σ TK / Σ HM, mg.kg ⁻¹	1	0.369 ^{n.s.}	0.461 ^{n.s.}	0.700 ^b	0.311 ^a	0.234 ^a
	2	8.8	9.9	7.1	12.3	7.7		2	93.0	118.3	100.1	26.0	40.2

1) – 1 = průměr / mean; 2 = variační koeficient / coefficient of variation

2) – v rámci stejného faktoru označují rozdílná písmena v řádku průkaznou diferencii při P_{0.05}; n.s. – ANOVA není pro daný faktor průkazná / – within the same factor different letters in the row designate a significant difference at P = 0.05; n.s. – ANOVA is not significant for a given factor

ního koeficientu byly zjištěny pro obsah TKW (v roce 2005), celkově se však jako nejvíce proměnlivý (pro HTS, obsah P, K, Mg, Σ makro, B, Cu a Mn) jevil rok 2007 s nejvyššími průměrnými vegetačními teplotami na obou lokalitách.

Výsledky studia koncentrace minerálních látek v jednotlivých částech obilky prokázaly, že mezi obalovými vrstvami zrna a endospermem existují významné rozdíly. Nejvíce P, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn, Cu, a B obsahovaly vnější vrstvy obilky ječmene, bez ohledu na průkazné rozdíly, které byly mezi studovanými genotypy detekovány [23]. Obdobné výsledky byly zjištěny při mletí pšeničného zrna.

Bez ohledu na to, že obsah minerálních látek v celozrnných šrotech různých odrůd pšenice byl téměř shodný, v průběhu vymílání docházelo k poklesu koncentrace makroprvků v průměru o 35 % a mikroprvků až o 45 % [24]. Zjištěný silný vliv lokality na průměrné hodnoty i variabilitu hmotnosti zrna se odrazil i ve vzájemných vztazích mezi HTS a obsahem P, K, Ca, Mg, Cu a Zn. Hodnocení naměřených dat z obou lokalit odděleně ukázalo, že výše a často i směrnice vypočtených korelačních koeficientů jsou odlišné.

Zatímco pro lokalitu Žabčice byly vztahy mezi HTS a uvedenými minerály průkazné a negativní ($r = -0,45$ až $r = -0,69$; $P < 0,05$), tytéž korelace vypočtené pro hodnoty z lokality Kroměříž byly slabé a neprůkazné (s výjimkou vztahu mezi HTS a obsahem Cu, kde byla naměřena dokonce průkazná kladná korelace).

Literární údaje neuvádějí významný vztah mezi velikostí nebo hmotností obilky a obsahem minerálních látek [25–26], avšak výsledky porovnání standardní analýzy variance a kovariance s využitím HTS jako nezávislé spojité proměnné (kovarianty) ukázaly, že rozdílná hmotnost zrna je proměnnou, která signifikantně ovlivnila průkaznost vlivu jednotlivých faktorů a jejich interakcí u všech sledovaných živin, makroprvků a některých mikroprvků (Cu, Zn a Σ mikro).

V důsledku započtení efektu HTS (tab. 4) se ukázal jako nevýznamný vliv odrůdy pro obsah všech makroprvků kromě P. Lokalita měla průkazný vliv na obsah NL, P, Mg, Σ makro, a všech mikroprvků kromě Mn.

While correlations between TKW and minerals for Žabčice were significant and negative ($r = -0.45$ to $r = -0.69$; $P < 0.05$), the correlations between the same parameters calculated for values obtained at Kroměříž were weak and insignificant (except the correlation between TKW and Cu content, when even a significant positive correlation was assessed).

Literature data do not mention any considerable relationship between kernel size or weight and the mineral content [25–26], however, the results of a comparison of standard analysis of variance and covariance using TKW as an independent continuous variable (covariate) demonstrated that a different kernel weight is the variable that significantly affected the significance of the effect of individual factors and their interactions in all examined nutrients, macroelements and some microelements (Cu, Zn and Σ micro).

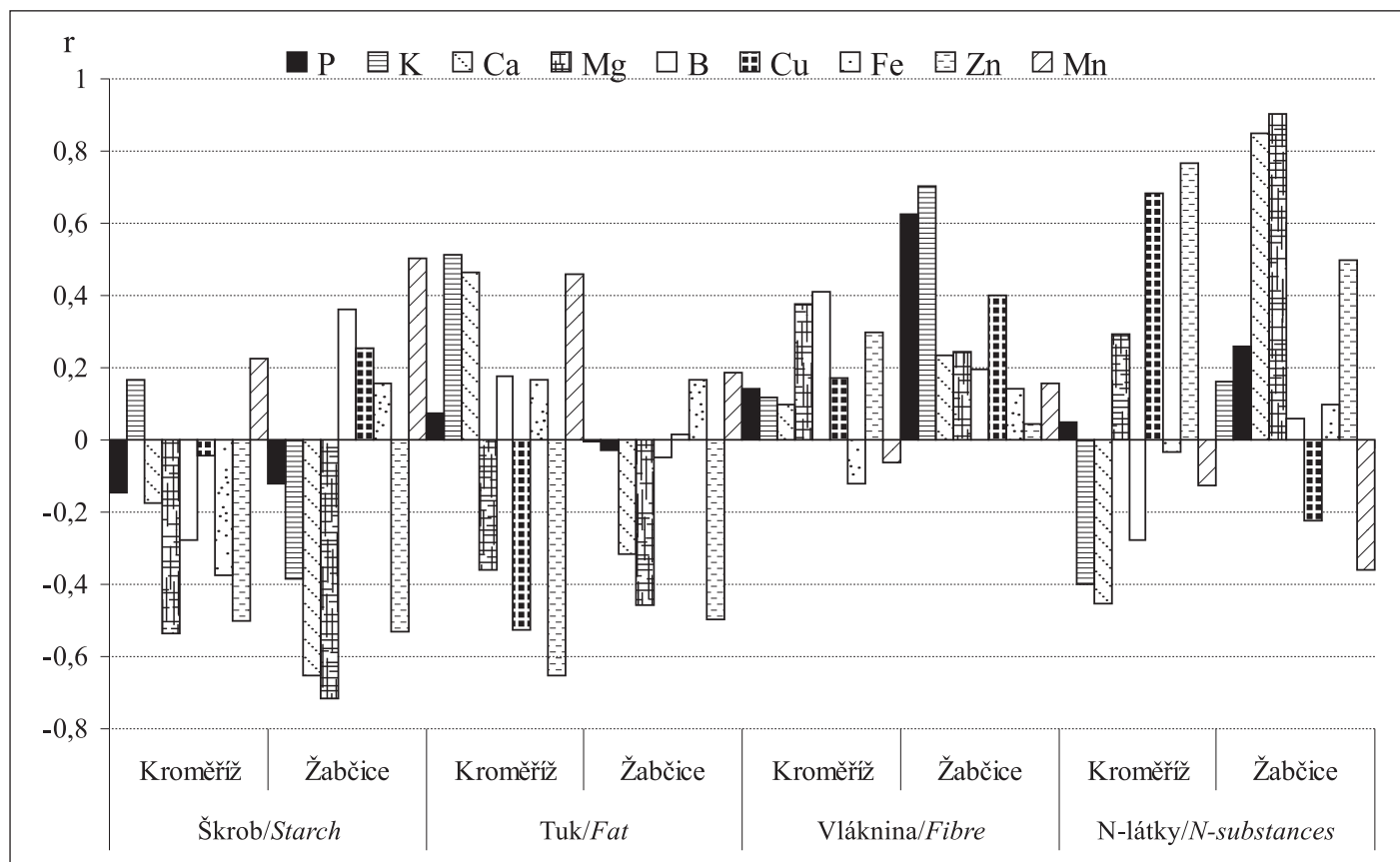
Due to including the effect of TKW (Table 4), the effect of cultivar did not show to be considerable for the content of all macroelements, except P. Location significantly affected the content of NS, P, Mg, Σ macro, and all microelements, except Mn. The cultivar x location interaction was insignificant for all minerals, except Fe and Σ micro. Different grain weight did not considerably affect the variation induced by seasonal effects, so the assessed interactions between cultivar and year were not changed, except a significance level for the cultivar x year interaction in the content of K and Cu. Insignificant differences among cultivars for Zn content and the insignificant effect of the location on the content of K and Ca in grain, and on the contrary, the significant cultivar x year interaction for the content of all microelements did not change if including different TKW.

Year x cultivar interactions can affect a selection of cultivars with a required content or ratio of desirable minerals, particularly if their higher content is negatively correlated with nutritionally or technologically important nutrients. Due to differences in values of Pearson's correlation coefficients between the content of minerals and TKW at Kroměříž and Žabčice, partial correlations were used for further eval-

Tab. 4 Porovnání efektu vlivu faktorů na obsah minerálních látek v zrně při využití dvou metod (GLM – ANOVA a ANCOVA při započtení vlivu hmotnosti zrna) / Table 4 Comparison of the effect of factors on mineral content in grain using two methods (GLM – ANOVA and ANCOVA at including the effect of grain weight)

Zdroj proměnlivosti / Source of variation	df	1)	MS					
			NL / NS	P	K	Ca	Mg	Σ makro / Σ macro
odrůda x lokalita x HTS / cultivar x location x TKW	1	1	***	***	***	*	***	***
odrůda x rok x HTS / cultivar x year x TKW	1	1	**	***	***	**	***	***
Odrůda / Cultivar	6	1	***	*	**	***	*	n.s.
		2	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lokalita / Location	1	1	***	***	n.s.	n.s.	**	**
		2	***	*	n.s.	n.s.	**	**
Rok / Year	2	1	***	***	*	***	***	*
		2	***	n.s.	n.s.	***	***	n.s.
Interakce: odrůda x lokalita / Interaction: cultivar x location	6	1	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Interakce: odrůda x rok / Interaction: cultivar x year	12	1	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.
		2	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
Zdroj proměnlivosti / Source of variation	df	1)	MS					
			B	Cu	Fe	Zn	Mn	Σ mikro / Σ micro
odrůda x lokalita x HTS / cultivar x location x TKW	1	1	n.s.	***	n.s.	***	n.s.	**
odrůda x rok x HTS / cultivar x year x TKW	1	1	**	n.s.	***	n.s.	***	***
Odrůda / Cultivar	6	1	***	***	***	n.s.	***	***
		2	**	*	*	n.s.	*	***
Lokalita / Location	1	1	**	n.s.	***	*	***	**
		2	*	***	**	**	n.s.	***
Rok / Year	2	1	n.s.	***	***	***	***	n.s.
		2	*	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
Interakce: odrůda x lokalita / Interaction: cultivar x location	6	1	***	***	n.s.	*	*	*
		2	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	***
Interakce: odrůda x rok / Interaction: cultivar x year	12	1	***	***	***	**	***	***
		2	***	n.s.	***	***	***	**

1) – 1 = ANOVA, 2 = ANCOVA; * – $P_{0.05}$, ** – $P_{0.01}$, *** – $P_{0.001}$



Obr. 4 Korelace mezi obsahem živin a minerálních látek ve vzorcích zrna odrůd ječmene jarního z lokality Kroměříž a Žabčice / Fig. 4 Correlations between the content of nutrients and minerals in grain samples of spring barley cultivars from Kroměříž and Žabčice

Neprůkazná byla interakce odrůdy s lokalitou pro všechny minerální látky, s výjimkou Fe a Σ mikro. Vliv odlišné hmotnosti zrna se významně nepoděpsal na proměnlivosti indukované ročníkovými efekty, takže nalezené interakce mezi odrůdou a pěstebním ročníkem zůstaly beze změny s výjimkou míry průkaznosti pro interakci „odrůda x rok“ v obsahu K a Cu. Neprůkazné rozdíly mezi odrůdami pro obsah Zn a neprůkazný vliv lokality na obsah K a Ca v zrně a naopak průkazné interakce odrůdy s ročníkem pro obsah všech sledovaných mikroprvků se zohledněním rozdílné HTS nezměnily.

Interakce ročníku s odrůdou mohou ovlivňovat výběr odrůd s požadovaným obsahem nebo vzájemným poměrem požadovaných minerálních látek, zejména pokud je jejich vyšší obsah v negativním vztahu s nutriční nebo technologicky důležitými živinami. S ohledem na zjištěné rozdíly v hodnotách Pearsonových korelačních koeficientů mezi obsahem minerálních látek a HTS v lokalitách Kroměříž a Žabčice byly pro další hodnocení vzájemných vztahů použity parciální korelace, ve kterých byla rozdílná HTS zohledněna již v počátku výpočtu.

Vaculová a Balounová [8] zjistily v souboru registrovaných odrůd ječmene jarního a pšenice ozimé kladné průkazné korelace mezi obsahem NL a obsahem P, K, Ca a Mg. Ve sledovaném souboru odrůd ječmene jarního byly pro obě lokality nalezeny obdobné vztahy jen mezi obsahem Mg a NL. Obecně byly všechny korelace mezi obsahem makroprvků a sledovaných živin, vypočtené pro vzorky z lokality Kroměříž, slabší a někdy i opačné (zejména mezi vápníkem, draslíkem a obsahem NL a škrobu) než v případě lokality Žabčice (obr. 4).

Je možné, že existující rozdíly mohou souviset nejen s odlišným průběhem akumulace živin a minerálních látek v zrně v důsledku klimatických odlišností obou lokalit, ale také s dostupností a zásobou živin v půdě. Zejména v případě obsahu Ca, kdy difference mezi oběma lokalitami dosahovaly až dvojnásobku (viz tab. 1).

I když použitý způsob výpočtu pomocí parciálních korelací zmenšil difference mezi hodnotami korelačních koeficientů z obou lokalit, shodné výsledky byly nalezeny jen pro některé vztahy. Při selekci odrůd nebo obecně materiálů ječmene s požadovaným obsahem a poměrem minerálních látek a živin v zrně může být určitým problémem silná statisticky významná negativní korelace mezi obsahem Mg a škrobu ($r = -0.54^{**}$ až -0.72^{**}), stejně tak jako kladný vztah s obsahem vlákniny ($r = 0.24 - 0.38^{*}$) a Ca ($r = 0.23 - 0.78^{**}$). V souladu s našimi předchozími výsledky i poznatky zahraničních autorů [8, 26]

uation of interrelationships where different TKW was included from the beginning of calculations.

Vaculová a Balounová [8] found positive significant correlations between the content of NS and the content of P, K, Ca and Mg in a set of registered cultivars of spring barley and winter wheat. In the set of spring barley examined, similar correlations were calculated for both locations between the content of Mg and NS only. In general, all correlations between the content of macroelements and the nutrients examined, calculated for samples from Kroměříž, were weaker and sometimes even opposite (especially between Ca, K and the content of NS and starch) in comparison with those from Žabčice (Fig. 4). It is possible that the existing differences can be related not only to a different course of the accumulation of nutrients and minerals in grain due to climatic distinctions of both locations, but as well as to nutrient availability and supply in the soil, especially in the case of Ca content, when the difference between the two locations was double (see Tab. 1).

Though the method of calculation using partial correlations decreased differences among values of correlation coefficients from both locations, consistent results were assessed for some relationships only. At selecting cultivars, or barley materials in general, with desired content and ratio of minerals and nutrients in grain, a strong significant negative correlation between the content of Mg and starch ($r = -0.54^{**}$ to -0.72^{**}) as well as a positive correlation with the fibre content ($r = 0.24 - 0.38^{*}$) and Ca ($r = 0.23 - 0.78^{**}$) could be a problem. In accordance with our preliminary results and findings reported by foreign authors [8, 26], an unfavourable significant negative correlation between Zn content and starch content, and conversely, a positive correlation of this microelement with NS content ($r = 0.50^{**} - 0.77^{**}$) were confirmed. In contrast, a weak and insignificant correlation between Fe or Mn content in grain and NS content was found for both locations.

4 CONCLUSIONS

The content of nutrients, minerals and heavy metals examined was considerably affected by all factors, i.e. spring barley cultivar, location and weather conditions during the year. The content of minerals was significantly influenced by grain weight. Significant differences in

byla potvrzena i nepříznivá průkazná negativní korelace obsahu Zn s obsahem škrobu a naopak kladný vztah tohoto mikroprvku k obsahu NL ($r = 0,50^{**} - 0,77^{**}$). Na obou lokalitách byla naopak slabá a neprůkazná korelace mezi koncentrací Fe nebo Mn v zrně a obsahem NL.

4 ZÁVĚR

Obsah sledovaných živin, minerálních látek a těžkých kovů byl významně ovlivněn všemi faktory, tedy odrůdou ječmene jarního, pěstební lokalitou a průběhem počasí v ročníku. Na obsah minerálních látek měla průkazný vliv hmotnost zrna. Významné difference v hmotnosti zrna (HTS) byly zjištěny mezi lokalitami Kroměříž a Žabčice a mezi rokem 2007 a ročníky 2005 a 2008. Zohlednění efektu hmotnosti zrna se projevilo zejména ve snížení zjištěné míry průkaznosti vlivu odrůdy u obsahu makroprvků K, Ca i Mg a interakce lokality s odrůdou u všech makroprvků a mikroprvků, s výjimkou obsahu Fe. Mezi odrůdami byla zjištěna průkazná difference v akumulaci obsahu P, B, Cu, Fe a poměru Ca:Mg. Z hlediska požadavků na obsah vybraných makroprvků a mikroprvků pro správný růst, vývoj a fermentační aktivitu pivovarských kvasinek se jako nejlepší jeví odrůdy Amulet a Prestige, k odrůdám s nízkým obsahem všech makroprvků patřil Bojos a nejslabší akumulaci mikroprvků se vyznačovala odrůda Sebastian. Vyšší koncentrace některých požadovaných minerálních látek v zrně může být spojena se zvyšováním obsahu N-látek a podílu vlákniny (resp. pluch) a naopak se snižováním obsahu škrobu.

TKW were found between Kroměříž and Žabčice and in 2007 as compared to 2005 and 2008. Including the effect of grain weight reflected particularly in decreasing the determined significance level of cultivar in the content of macroelements K, Ca and Mg, and the location x year interaction in all macroelements and microelements, except Fe. There were significant differences among cultivars in the content of P, B, Cu, Fe and Mg to Ca ratio. In terms of requirements for the content of selected macroelements and microelements for proper growth, development and fermentation activity of brewers yeast, the best cultivars were Amulet and Prestige. Cv. Bojos ranked among the cultivars with low contents of all macroelements and the lowest accumulation of microelements was found in Sebastian. Higher concentration of some desirable minerals in grain can be connected with increasing the content of N-substances and fibre (or hull) proportion and conversely with decreasing the starch content.

Acknowledgements

The study was supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the CR, project 1M0570 "Research Centre for Study of Extract Compounds of Barley and Hop".

Poděkování

Výsledky byly zpracovány za finanční podpory projektu MŠMT č. 1M0570 s názvem "Výzkumné centrum pro studium obsahových látek ječmene a chmele".

LITERATURA / REFERENCES

- Welch, R. M., Graham, R. D.: Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *J. Exp. Bot.* **55**, 2004, 353–364.
- White, P. J., Broadley, M. R.: Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Sci.* **10**, 2005, 586–593.
- Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis H. E., Bonierbale, M., de Haan, S., Burgos, G., Thiele, G., Liria, R. et al.: Nutritious subsistence food systems. *Adv. Agron.* **92**, 2007, 1–74.
- Davis, D. R., Epp, M. D., Riordan, H. D.: Changes in USDA food composition data for 43 garden crops, 1950–1999. *J. Am. Coll. Nutr.* **23**, 2004, 669–682.
- Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., Happonen, A., Hellstroem, J., Ovaskainen, M. L.: Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *J. Food Compos. Anal.* **20**, 2007, 487–495.
- Bálint, A. F., Kovács, G., Erdei, L. J.: Comparison of the Cu, Zn, Fe, Ca and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated wheat species. *Cereal Res. Commun.* **29**, 2001, 375–382.
- Ryant, P., Richter, R., Poulik, Z., Hřivna, L.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, 2003. http://www.af.mendelu.cz/ustav/221/multitexty_2/index.htm
- Vaculová, K., Balounová M.: Obsah minerálních látek v zrně obilovin. *Obilnářské listy* **XVI**, 2008, 41–49.
- Bennett, A., Rowe, R. I., Soch, N., Eckhart, C. D.: Boron stimulates yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) growth. *J. Nutr.* **129**, 1999, 2236–2238.
- Hough, J. S., Briggs, D. E., Stevens, R., Young, T. W.: Malting and Brewing Science, vol. 2, Hopped wort and beer. Aspen Publishers, Inc., Chapman. & Hall Ltd. New York, 1982, 1999, 678 s., ISBN 0-8342-1684-1.
- White, Ch.: Yeast Nutrients Make Fermentations Better. 2009. http://www.whitelabs.com/beer/Yeast_Nutrition_Article.pdf.
- Walker, G. M., Raffaele, De N., Starley, A., Learmonth, R.: Yeast-metal interactions: impact on brewing and distilling fermentations. In: Institute of Brewing & Distilling Asia Pacific Section 2006 Convention, 19-24 March 2006, Hobart, Australia. http://www.ibd-hobart2006.com.au/conference_over.php.
- Zeman, L., Doležal, P., Kopřiva, A., Mrkvicová, E., Procházková, J., Ryant, P., Skládanka, J., Straková, E., Suchý, P., Veselý, P., Zelenka, J.: Výživa a krmení hospodářských zvířat. 1. vyd. Praha: Profi Press, s. r. o., 2006. 360 s.
- Iwami, A., Kajiwar, Y., Takashita, H., Okazaki, N., Omori, T.: Factor analysis of the fermentation process in barley Shochu production. *J. Inst. Brew.* **112**, 2006, 50–56.
- Reese, E. M. R., Stewart, G. G.: The effects of increased magnesium and calcium concentrations on yeast fermentation performance in high gravity worts. *J. Inst. Brew.*, **103**, 1997, 287–291.
- Eide, D. J.: The molecular biology of metal ion transport in *Saccharomyces cerevisiae*. *Annu. Rev. Nutr.* **18**, 1998, 441–469.
- Mrvčić, J., Stanzer, D., Stehlik, T., V., Škevin, D., Grba, S.: Optimization of bioprocess for production of copper-enriched biomass of industrially important microorganism *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biosci. Bioengin.* **103**, 2007, 331–337.
- Karamushka, V. I., Gadd, G. M.: Influence of copper on proton efflux from *Saccharomyces cerevisiae* and the protective effect of calcium and magnesium. *FEMS Microbiol. Lett.* **122**, 2006, 33–38.
- Shi, X., Chebarek, K., Budai, A., Zhu, Z.: Iron Requirement for GAL gene induction in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biol. Chem.* **278**, 2003, 43110–43113.
- Štěrbá, K., Dostálek, P., Ferzik, S., Koplík, R., Enge, J.: Změny obsahu mědi, kadmia, olova a zinku v průběhu pivovarského procesu. In: Mikroelementy 2007. 2THETA, Český Těšín, 2007, 111–115. ISBN: 978-80-86380-40-7.
- NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 629/2008 ze dne 2. července 2008, kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách.
- Sabo, M., Ugarcic-Hardi, Z.: Concentration of macro- and microelements in grain of some new winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Acta Aliment. Hung.* **31**, 2002, 235–242.
- Liu, K., Peterson, K. L., Raboy, V.: Comparison of the phosphorus and mineral concentrations in bran and abraded kernel fractions of a normal barley (*Hordeum vulgare*) cultivar versus four low phytic acid isolines. *J. Agric. Food Chem.* **55**, 2007, 4453–4460.
- Vucelic-Radovic, B. V., Nesic, V. M., Demin, M. A., Milovanovic, M. M.: The B group vitamins and mineral elements in the selective removal of wheat kernel layers. *Natural Product Comm.* **1**, 2006, 907–1002.
- Kandemir, N., Tuzen, M., Sari, H., Mendil, D.: An increase of the mineral contents of barley grain by genotype, planting time and seed size. *Asian J. Chem.* **17**, 2005, 481–489.
- Zhao, F. J., Su, Y. H., Dunham, S. J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S. P., Shewry, P. R.: Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *J. Cereal Sci.*, **49**, 2009, 290–295.

Recenzovaný článek
Do redakce došlo 19. 11. 2009
Přijato k publikování: 6. 1. 2010