

## Zinek – vliv na růst rostlin a kořenů ječmene, technologickou kvalitu zrna a kvašení sladiny

### *Zinc – effect on the spring barley's plant and roots growth, grain technological quality, and yeast fermentation*

RADIM CERKAL<sup>1</sup>, LUDEK HRIVNA<sup>2</sup>, PAVEL RYANT<sup>3</sup>, JOSEF PROKEŠ<sup>4</sup>, NATALIE BŘEZINOVÁ BELCREDI<sup>1</sup>, KAREL VEJRAŽKA<sup>5</sup>, MICHAELA MICHNOVÁ<sup>1</sup>, TOMÁŠ GREGOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně / *Dpt. of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

*e-mail: radim.cerkal@mendelu.cz*

<sup>2</sup>Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně / *Dpt. of Food Technology, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

<sup>3</sup>Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně / *Dpt. of Agrochemistry, Soil Science, Microbiology and Plant Nutrition, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic*

<sup>4</sup>Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s. / *Research Institute of Brewing and Malting, Plc., Mostecká 7, 614 00 Brno, Czech Republic*

<sup>5</sup>Zemědělský výzkum s.r.o. / *Agricultural Research Ltd., Zahradní 1, 664 41 Troubsko, Czech Republic*

**Cerkal, R. – Hřivna, L. – Ryant, P. – Prokeš, J. – Březinová Belcredi, N. – Vejražka, K. – Michnová, M. – Gregor, T.: Zinek – vliv na růst rostlin a kořenů ječmene, technologickou kvalitu zrna a kvašení sladiny.** Kvasny Prum. 56, 2010, č. 3, s. 152–159.

V letech 2005–2008 byl sledován vliv listové aplikace zinku (0,5 kg.ha<sup>-1</sup> v DC 31 a 55 ve formě hnojiva Zinran s obsahem síranu a oxidu zinečnatého – 19,8 a 52,3 %) na velikost kořenového systému rostlin (měřena jeho elektrická kapacita v DC 23 a 57), výnos a kvalitu zrna a průběh kvašení sladiny u šesti odrůd ječmene jarního (Bojos, Jersey, Kompakt, Malz, Sebastian, Tolar). V působení zinku na rozvoj kořenového systému se prokázaly odrůdové difference. Výnos zrna se po aplikaci zvýšil v průměru o 3 %, vzrostl podíl přepadu zrna na síť 2,5 mm (o 9 %) a hmotnost tisíce zrn (o téměř 2 %). Aplikace zinku vedla k vyšší syntéze škrobu v zrně, hodnoty obsahu extraktu narostly o 0,3–0,5 %. Po ošetření porostů zinečnatým hnojivem se zvýšil obsah nativního obsahu zinku v zrně o 3–11 %. Výnos zrna ječmene bylo průměrně odčerpáno 143 g.ha<sup>-1</sup> zinku (od 126 g.ha<sup>-1</sup> – Kompakt do 159 g.ha<sup>-1</sup> – Bojos). Vyšší odběr zinku byl zaznamenán u porostů po foliární aplikaci zinečnatého hnojiva (o 10–17 %). Byla prokázána negativní korelace obsahu zinku s obsahem N látek v zrně (od  $r = -0,274$  do  $-0,525^{**}$ ) a pozitivní vztah tohoto mikroelementu s obsahem škrobu ( $r = 0,014$  až  $0,367^{*}$ ). Pozitivní závislosti byly zjištěny ve vztahu obsahu zinku a friability ( $r = 0,329^{*}$ – $0,691^{***}$ ), resp. USJ ( $r = 0,274$ – $0,603^{***}$ ), negativní naopak k obsahu  $\beta$ -glukanů v zrně ( $r = -0,265$  až  $-0,521^{**}$ ). U variant hnojených zinkem byly prokázány rychlejší procesy fermentace sladiny v prvních 24 hodinách (o 1–1,5 %), na výsledné hloubce prokvašení se tato skutečnost neprojevila (difference mezi kontrolní a ošetřeny variantami byla 0,1 %).

**Cerkal, R. – Hřivna, L. – Ryant, P. – Prokeš, J. – Březinová Belcredi, N. – Vejražka, K. – Michnová, M. – Gregor, T.: Zinc – effect on the spring barley's plant and roots growth, grain technological quality, and yeast fermentation.** Kvasny Prum. 56, 2010, No. 3, p. 152–159.

In 2005–2008, the effect of zinc foliar application (0.5 kg.ha<sup>-1</sup> in DC 31 and 55 growth stage in the form of the Zinran fertilizer containing sulphate and zinc oxide – 19.8 and 52.3 %) on the size of the plants root system (its electric capacity in DC 23 and 57 was measured), the yield and quality of grain, and the course of the sweet wort fermentation process of six spring barley varieties (Bojos, Jersey, Kompakt, Malz, Sebastian, Tolar) was studied. Varietal differences were found in regard to the impact of zinc on the root system development. The grain yield rose by 3% on average after zinc application and so did grain over sieve 2.5 mm (by 9%) and weight of thousand grains (by almost 2%). Zinc application led to a higher starch synthesis in the grain, the extract content values increased by 0.3–0.5%. After the zinc fertilizer treatment, the native zinc content in grain increased by 3–11%. On average, 143 g.ha<sup>-1</sup> was taken up by the grain yield (from 126 g.ha<sup>-1</sup> – Kompakt to 159 g.ha<sup>-1</sup> – Bojos), a higher uptake was observed in stands after a foliar application of zinc fertilizer (by 10–17%). A negative correlation between the zinc content and N substances in grain (ranging from  $r = -0.274$  to  $-0.525^{**}$ ) was proved, and a positive correlation between this microelement and the starch content ( $r = 0.014$  up to  $0.367^{*}$ ) was confirmed, too. Positive correlations between the zinc content and friability ( $r = 0.329^{*}$ – $0.691^{***}$ ), and MQI ( $r = 0.274$ – $0.603^{***}$ ), were found, while negative ones were established between the zinc content and  $\beta$ -glucans content in grain ( $r = -0.265$  to  $-0.521^{**}$ ). Faster sweet wort fermentation processes during the first 24 hours were found in variants treated by zinc (by 1–1.5%), however, this fact was not reflected in the resultant depth of fermentation (differences between the control and the treated variants were 0.1%).

**Cerkal, R. – Hřivna, L. – Ryant, P. – Prokeš, J. – Březinová Belcredi, N. – Vejražka, K. – Michnová, M. – Gregor, T.: Zink – Einfluss auf Pflanzern- und Wurzelwachstum und auf die technologische Kornqualität und Würzegärung.** Kvasny Prum. 56, 2010, Nr. 3, S. 152–159.

Im Zeitraum 2005–2008 wurde auf sechs (Bojos, Jersey, Kompakt, Malz, Sebastian, Tolar) der Einfluss einer Blattapplikation vom Zink (0,5 kg.ha<sup>-1</sup> in DC 31 a 55 als Düngemittel „Zinran“ mit dem Gehalt an Zinkvitriol und Zinkoxid – 19,8 und 52,3 %) auf die Größe des Wurzelsystems der Pflanzen (seine elektrische Kapazität gemessen in DC 23 und 57), weiterhin auf den Ertrag und Qualität des Kornes und auf den Verlauf des Gärungsprozesses verfolgt. Durch die Zinkzugabe sind die Gerstensortenunterschiede erschienen worden, nach der Düngung erhöhte sich der Ertrag des Kornes im Durchschnitt um 3%, Kornübergang auf dem Sieb 2,5 mm um 9% und das Tausendkörnergewicht um fast 2%. Die Zinkzugabe verursachte eine höhere Stärkesynthese im Korn, Extraktgehalt stieg um 0,3 – 0,5%. Nach der Behandlung des Pflanzenbestands durch zinkhaltiges Düngemittel hat sich der Gehalt an nativem Zink im Korn im Durchschnitt um 3–11% erhöht. Durch Kornertrag wurde durchschnittlich 143 g.ha<sup>-1</sup> Zink aus dem Feld entzogen (Gerstensorte Kompakt etwa 126 g.ha<sup>-1</sup>, Gerstensorte Bojos 159 g.ha<sup>-1</sup>). Eine höhere Zinkabnahme (von 10% bis zu 17%) wurde bei dem Pflanzenbestand nach Folienapplikation des Düngemittels registriert. Weiterhin wurde eine negative Korrelation zwischen dem Zinkgehalt mit N – Stoffen im Korn (von  $r = -0,274$  bis zu  $-0,525^{**}$ ) und eine positive Beziehung dieses Mikroelements mit dem Gehalt an Stärke (von  $r = 0,014$  bis zu  $0,367^{*}$ ). In der Beziehung zwischen dem Gehalt an Zink und der Friabilität wurde eine positive Abhängigkeit ( $r = 0,329^{*}$  –  $0,691^{***}$ ) resp. USJ ( $r = 0,274$  –  $0,603^{***}$ ) und im Gegenteil in der Beziehung zwischen dem Gehalt an Zink und dem Gehalt an  $\beta$ -Glukanen im Korn eine negative Abhängigkeit ( $r = -0,265$  bis zu  $-0,521^{**}$ ) gefunden. Die Gärungsgeschwindigkeit der Würze aus dem Malz, hergestelltem aus den mit Zink gedüngten Gerstensorten, wurde in dem Zeitraum (0–24 Stunden) um 1–1,5 % schnellere, aber der Endvergärungsgrad der Versuchs- und Kontrollwürze wurde fast derselbe (0,1%).

**Klíčová slova:** zinek, listová aplikace, ječmen, slad, kvalita**Keywords:** zinc, foliar application, barley, malt, quality

## 1 ÚVOD

Zinek jako esenciální mikroživina hraje významnou roli v biochemických procesech u všech živých organismů. Deficit zinku je v současnosti považován za významný rizikový faktor pro lidské zdraví [1]. Nedostatek zinku ve výživě je úzce spojen s jeho deficitem v půdách a následně v rostlinách [2]. Mobilita zinku a jeho dostupnost pro rostliny výrazně klesá s nárůstem hodnot pH a obsahu vápníku a fosforu v půdě [3]. V České republice je díky této skutečnosti odhadován deficit zinku v produkčních oblastech až na 15 % půd. Pro úspěšný růst a vývoj ječmene (*Hordeum vulgare* L.) a pro získání požadovaného výnosu odpovídající sladařské kvality je nezbytné dosáhnout optimální koncentrace zinku v rostlinách. Byla však zjištěna značná genetická variabilita v účinnosti a efektivitě využití zinku rostlinami [4]. Deficit zinku u rostlin ječmene je příčinou inhibice fotosyntetické aktivity, je nabourána syntéza růstových hormonů a tím dochází k poklesu produkce fytohmoty [5]. Významnou úlohu hraje i v regulaci syntézy škrobu, rozvoji kořenového systému rostlin a mechanismech odolnosti rostlin proti nízkým teplotám. Zinek je také klíčovým elementem s vlivem na aktivitu kvasinek při fermentaci mladiny. Zinkem deficitní média pomalu nebo nekompletně prokvašují, což přináší značné problémy v pivovarském průmyslu [6]. V zemědělské a zpracovatelské praxi je používáno několik způsobů „obohacování“ zinkem: šlechtění rostlin, hnojení, přidavek zinečnatých solí do mladiny apod. [3].

Cílem této studie je zhodnotit efektivní způsob vedoucí k dosažení vysokého výnosu i technologické kvality odrůd ječmene jarního – foliární aplikaci zinku.

## 2 MATERIÁL A METODY

V letech 2005 až 2008 bylo šest odrůd ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L., tab. 1) foliárně ošetřováno hnojivem Zinran (v dávce 1 kg.ha<sup>-1</sup>; celkem 50 % zinku ve formě síranu a oxidu zinečnatého – 19,8 a 52,3 %; 4,7 % S) ve dvou růstových fázích DC 31 (Z1) a DC 55 (Z2). Blokový pokus se třemi opakováními byl realizován na lokalitě Žabčice (179 m n. m., N49°01' E16°36'). Velikost kořenového systému (VKS) byla hodnocena podle jeho elektrické kapacity (nF) [7] měřením LCR metrem ELC-131D (frekvence 1 kHz) ve fázi DC 23 a DC 57. Obsah zinku byl sledován v půdě před setím (tab. 2), po sklizni ve slámě a v netříděném zrně (metodou AAS po mineralizaci v HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v mikrovlnném systému Milestone Ethos 1 pomocí přístroje ContrAA 700, Analytic Jena). Byl stanoven výnos zrna (t.ha<sup>-1</sup>, 14% vlhkost), resp. přepad zrna na síť 2,5 mm, hmotnost tisíce zrn (HTZ v g) [podle metodiky EBC 3.4; 8], obsah N látek (dle Dumase), škrobu (dle Ewerse) a extraktu [EBC 4.5.1; 9] v zrně (%). Mikroskladování probíhalo podle metody používané ve VÚPS, a. s. (tab. 3). Výsledky byly zhodnoceny analýzou variance a následně Tukey HSD testem ( $\alpha = 0,05$ ) v programu STATISTICA 9. Pro výpočet vztahů mezi znaky byl použit Pearsonův korelační koeficient (r).

## 1 INTRODUCTION

Zinc is an essential micronutrient and therefore, plays a key role during biochemical processes in all living organisms. Zinc deficiency is presently considered a significant risk factor for human health [1]. Shortage of zinc in nutrition is closely connected to its deficit in soil and subsequently in plants [2]. Zinc mobility and availability for plants decreases considerably with the increase of pH values and the calcium and phosphorus content in soil [3]. Due to this fact, it has been estimated that zinc deficiency in the production localities of the Czech Republic afflicts up to 15% of soils. For a successful growth and development of barley (*Hordeum vulgare* L.) and for attaining the required yield of desired malting quality, it is necessary to achieve an optimal concentration of zinc in plants. However, a considerable genetic variability in the potential and effectiveness of zinc's utilization by plants was found [4]. Zinc deficiency in plants causes inhibition of the photosynthetic activity, the synthesis of growth hormones is crashed and as a result, a decrease of the phytomass production occurs [5]. Furthermore, zinc plays an important role in the starch synthesis regulation, the root system development, and the mechanisms of plants' resistance to low temperatures. Zinc is also a key element with the influence on the yeast activity during the sweet wort fermentation process. Zinc deficient media ferment slowly or incompletely, which brings substantial problems for the brewing industry [6]. In the agricultural and processing practice, several methods of zinc enrichment have been used: plant breeding, fertilization, addition of zinc salts into wort etc. [3].

The objective of this study is to evaluate the effective way that leads to a high yield and a good technological quality of spring barley varieties – the zinc foliar application.

## 2 MATERIALS AND METHODS

In 2005 to 2008, six spring barley varieties (*Hordeum vulgare* L., Tab. 1) were subjected to a foliar treatment by the Zinran fertilizer (dose of 1 kg.ha<sup>-1</sup>; 50% zinc in the form of zinc sulphate – 19.8% and zinc oxide – 52.3%; 4.7% S) in two growth stages DC 31 (Z1) and DC 55 (Z2). The block experiment with three repetitions was conducted on the Žabčice site (CZ, average altitude 179, N49°01' E16°36'). The root system size (RSS) was evaluated according to its electric capacity (nF) [7] measured by LCR meter ELC-131D (frequency 1 kHz) in the DC 23 and DC 57 growth stages. Zinc content in soil was examined before sowing (Tab. 2) and after harvest in the straw and unsorted grain (by the AAS method after mineralization in HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the microwave system Milestone Ethos 1 by the means of the device ContrAA 700, Analytic Jena). Grain yield was determined (t.ha<sup>-1</sup>, 14% moisture), so were grain over sieve 2.5 mm, weight of thousand grains (TGW in g) [according to EBC 3.4 methodology; 8], contents of N substances (according to Dumas), starch (accord-

Tab. 1 Stručná charakteristika odrůd / Brief characteristics of varieties

Odrůda / Variety	USJ / MQI	Původ / Parentage	České pivo <sup>1</sup> / Czech Beer	<sup>2</sup> Registrace / Registration
Bojos	5	Madonna / Nordus	Ano / Yes	2005
Jersey	5	Apex x Alexis	Ne / No	2000
Kompakt	6.5	Galan x KM-A 10		1995
Malz	7	Famin / Scarlett	Ano / Yes	2002
Sebastian	7	Lux x Viscosa	Ne / No	2005
Tolar	2.5	HE 4710 / HWS 78267-83	Ano / Yes	1997

Vysvětlivky / Explanatory notes: USJ (Ukazatel sladovnické jakosti) / MQI (Malting Quality Index), 9 = nejlepší sladovnická kvalita / The best quality, 1 = nesladovnická kvalita / Without malting quality. <sup>1</sup>EC No 1014/2008 [10]; <sup>2</sup>Rok registrace v ČR / Year of registration in the Czech Republic.

Tab. 2 Agrochemické vlastnosti půdy / Soil properties of the experimental area

Rok / Year	pH/CaCl <sub>2</sub>	Nmin	P	K	Ca	Mg	Zn
(mg.kg <sup>-1</sup> )							
2005	7.32	12.3	138.3	222.2	5853	403.3	1.61
2006	7.28	10.8	121.0	192.5	4917	343.8	1.52
2007	6.91	11.0	68.2	184.5	4156	437.5	1.84
2008	6.80	14.1	46.5	179.5	4271	445.6	1.71

Tab. 3 Technologie laboratorního sladování / Laboratory malting technology

Průběh sladování / Malting procedure		Doba trvání; podmínky / Hours elapsed; Experimental conditions
Máčení / Steeping	1. den / 1 <sup>st</sup> day 2. den / 2 <sup>nd</sup> day 3. den / 3 <sup>rd</sup> day	4 h pod vodou, 20 h bez vody / 4 h under water, 20 h without water 6 h pod vodou, 18 h bez vody / 6 h under water, 18 h without water Třetí namočení nebo dokropení pro dosažení 45% vlhkosti / The third steeping or spraying to achieve degree of steeping 45%; Teplota vody a vzduchu byla vždy 14 °C / The temperature of the steeping water and air was always 14 °C
Klíčení / Germination	Máčení+klíčení celkem 6 dní / Steeping+germination took 6 days in total	Při 14 °C, nepřetržité větrání, vzorky nebyly dokrápěny, jedenkrát denně obráceny a kypřeny / At 14°C, continuous airing, during germination the samples were not sprayed, the samples were turned and loosened once a day
Hvozďení / Kilning	1x22 h	Předsušení / Drying stage – 12 h při 55 °C / 12 h at 55 °C Vyhřátí / Warming – 6 h z 55 °C na 80 °C / 6 h from 55 °C to 80 °C Dotahování / Curing – 4 h při 80 °C / 4 h at 80 °C
Čištění sladu / Malt cleaning		Odklíčení / Rootlet fraction attached to the kilned malt was removed

Tab. 4 Průběh počasí (průměrná teplota – T a úhrn srážek – R) na lokalitě Žabčice v letech 2005–2008 / Weather conditions (average temperature – T and precipitation – P) on the Žabčice locality in 2005–2008

Rok / Year	Březen / March	Duben / April	Květen / May	Červen / June	Červenec / July
	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
2005	2.6	5.8	11.0	49.5	15.0
2006	1.9	46.2	11.1	50.5	14.7
2007	7.1	80.8	12.2	4.4*	16.7
2008	4.8	32.9	10.1	29.3*	15.4

\* Srážkově deficitní období / Precipitation deficient period

### 3 VÝSLEDKY A DISKUSE

#### 3.1 Vliv zinku na růst rostlin, kořenů a strukturu výnosu ječmene jarního

Deficit zinku je u polních plodin poměrně rozšířený. Na rostlinách ječmene se projevuje zejména u mladých částí vytvářením úzkých, drobných, často chlorotických listů a zkracováním internodií. Zapojení zinku do metabolismu aminokyselin a bílkovin bezprostředně souvisí s produkcí fytohmoty a syntézou růstových hormonů. Jako aktivátor syntézy tryptofanu nepřímo ovlivňuje tvorbu auxinů. Obecně je známý mechanismus působení auxinů na růstové stimulační procesy u rostlin. Efekt optimálního zásobení rostlin ječmene jarního zinkem v průběhu vegetace je proto možné hodnotit i v souvislosti se syntézou endogenních auxinů a jejich pozitivním účinkem na rozvoj kořenů. Právě kořenový systém, resp. jeho mohutnost a aktivita, jsou často považovány za nejslabší místo produkčního procesu ječmene jarního.

V rámci aktivity Výzkumného centra byl sledován efekt aplikace zinku v růstové fázi DC 31 na VKS v průběhu vegetace. V sortimentu sledovaných odrůd se nacházely odrůdy s rozdílnou VKS. Pro porovnání jejich výkonu ve vztahu k VKS bylo určeno pořadí odrůd v každém ročníku a pořadí celkové (tab. 5, 6). Průměrně nejvyšší výnos dosahovala odrůda Sebastian (až o 10 %), která však patřila k odrůdám s obecně menším kořenovým systémem. Vysoký výnos byl také zjištěn u odrůdy Bojos, u které byla naměřena relativně nízká VKS v DC 23, ale nejvyšší v DC 57. Nejnižší průměrný výnos byl zjištěn u odrůd Malz a Kompakt, které byly řazeny mezi odrůdy s průměrným kořenovým systémem. Nízký výnos odrůd může souviset např. s nízkou kompenzační schopností ve stresových podmínkách [11], na druhé straně lze usuzovat na vysokou plasticitu těchto od-

ing to Ewers) and extract [EBC 4.5.1; 9] in grain (%). Micromalting was carried out according to the method used in Research Institute of Brewing and Malting, Plc. (Tab. 3). The results were evaluated by the analysis of variance and then by the Tukey HSD test ( $\alpha = 0.05$ ) in the STATISTICA 9 programme. The Pearson's correlation coefficient (r) was used for calculation of correlations between the characteristics.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Effect of zinc on the growth of plants and roots, and on the structure of the spring barley yield

Zinc deficiency is quite common in field crops. It shows mainly on young parts of barley plant by formation of narrow, small, often chlorotic leaves and by shortening of the internodia. Participation of zinc in the metabolism of aminoacids and proteins is directly connected to the phytomass production and the growth hormones synthesis. As an activator of the synthesis of tryptophan, zinc indirectly impacts auxins production. The mechanism of auxins effect on the growth-stimulating processes in plants is generally acknowledged. Therefore, the effect of optimal zinc supply in spring barley plants during vegetation can be evaluated in regard to the synthesis of endogenous auxins and their positive influence on roots development. The root system in particular, mainly its robustness and activity, is often considered the weakest area of the spring barley production process.

Within the scope of the Research Centre's activities, the effect of zinc application in the DC 31 growth stage on RSS during vegetation was evaluated. There were varieties with dissimilar RSS in the stud-

Tab. 5 Efekt foliární aplikace zinku (v DC 31) na průměrnou velikost kořenového systému rostlin ječmene jarního (v DC 57) v letech 2005–2008 / Effect of zinc foliar application (in DC 31) on root size system of spring barley (in DC 57) in 2005–2008

Odrůda / Variety	DC 23		DC 57			
			Kontrola / Control		Z1	
	Pořadí / Order	VKS / RSS	Pořadí / Order	VKS / RSS	Pořadí / Order	VKS / RSS
Bojos	4	1.59	1	1.85	1	1.43
Jersey	2	1.72	2	1.74	2–3	1.44
Kompakt	5	1.62	5	1.41	4	1.46
Malz	1	1.83	3	1.62	2–3	1.46
Sebastian	3	1.65	4	1.59	6	1.21
Tolar	6	1.54	6	1.40	5	1.18

Pozn. / Note: Z1 – foliární aplikace zinku ve fázi DC 31 / Foliar zinc application in DC 31 growth stage; VKS – velikost kořenového systému (v nF) / RSS – root system size (nF)



Tab. 6 Průměrný výnos zrna jednotlivých odrůd ( $t \cdot ha^{-1}$ ) v letech 2005–2008 / Average yield of individual varieties of the spring barley grain ( $t \cdot ha^{-1}$ ) in 2005–2008

Odrůda / Variety	2005		2006		2007		2008		Celk. pořadí / Total order
	Prům. / Mean	Pořadí / Order	Prům. / Mean	Pořadí / Order	Prům. / Mean	Pořadí / Order	Prům. / Mean	Pořadí / Order	
Bojos	8.58b	3	5.75a	3	3.09a	1	6.98a	2	2
Jersey	7.62d	6	5.09b	6	3.07a	2	6.95a	3	4
Kompakt	8.66b	2	5.32ab	5	2.57c	6	6.34b	5	5
Malz	7.90dc	5	5.37ab	4	2.67c	5	6.18b	6	6
Sebastian	9.55a	1	5.91a	1	2.97ab	3	7.18a	1	1
Tolar	8.48bc	4	5.79a	2	2.73cb	4	6.39b	4	3
Prům. / Mean	8.46		5.54		2.85		6.67		

Pozn. / Note: Mezi průměry, které jsou označeny stejnými písmeny (v rámci sloupce), nejsou statisticky průkazné rozdíly ( $P = 0,05$ ) / Mean values marked in the same column by the same superscripted letter did not differ significantly ( $P = 0.05$ ).

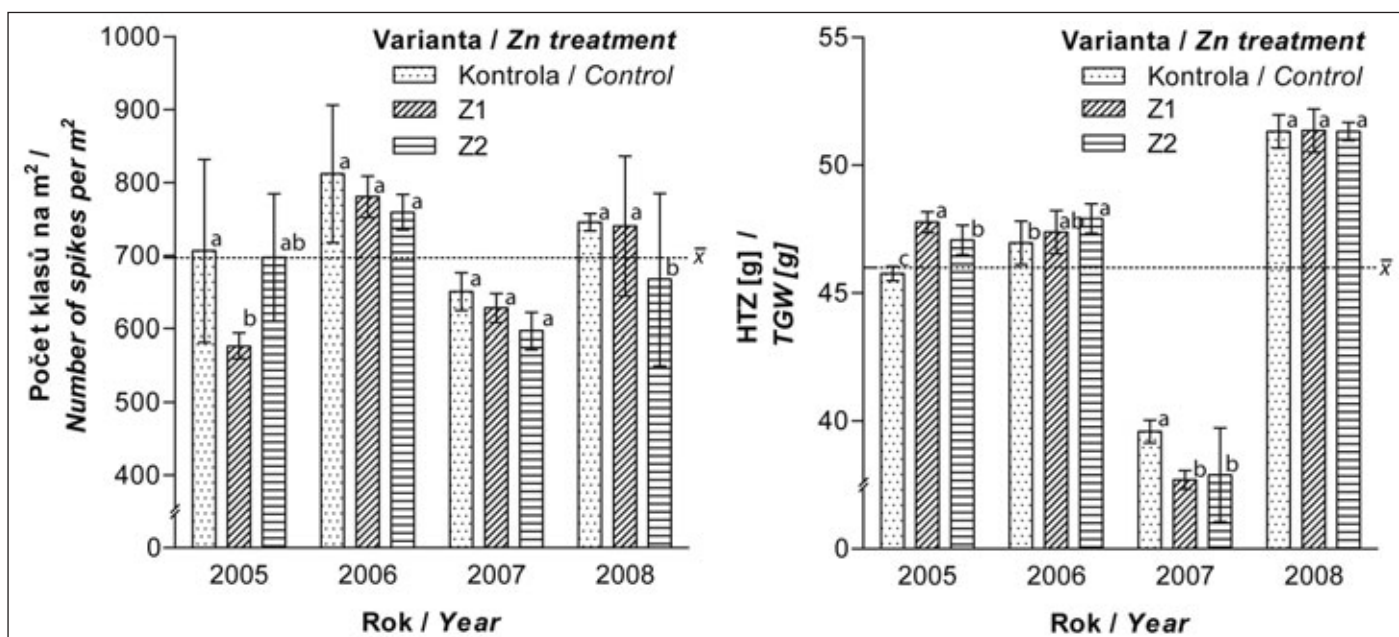
růd. Relativně nejslabší kořenový systém měla odrůda Tolar. Efekt zinku aplikovaného ve fázi DC 31 na rozvoj kořenového systému nebyl jednoznačný a výrazněji se projevil pouze u odrůdy Kompakt. Ta se díky ošetření zinečnatým hnojivem zařadila ve fázi DC 57 mezi odrůdy s průměrnou VKS. Bylo tak potvrzeno, že při rozvoji kořenového systému rostlin sehrává významnou roli genetický faktor [12], v našem případě představoval podíl odrůdy na proměnlivosti hodnot VKS 4–16 % [13].

Na rozdíl od kořenového systému působila aplikace zinku na tvorbu výnosu zrna i na jeho celkovou výši příznivěji. Trend nárůstu výnosu byl zaznamenán u variant se zinkem aplikovaným v ranější růstové fázi (DC 31; obr. 2). To však neplatilo v extrémně suchém roce 2007 (tab. 4) s obecně nízkou výnosovou hladinou. Konkrétně došlo po aplikaci zinku ke zvýšení výnosu odrůd v průměru let o více než 3 % (v DC 31 o 3,7 a v DC 55 o 2,9 %). Z výnosotvorných prvků na ošetření zinečnatým hnojivem pozitivně reagovala HTZ (průměrným zvýšením o 1,7 %), počet klasů na jednotku plochy se po aplikaci zinku statisticky neprůkazně snížil (v průměru let o 7 %, obr. 1). V důsledku kompenzačního efektu se podařilo dosáhnout i vyšší celkové výtežnosti přepadu zrna na síť 2,5 mm (v průměru let o téměř 9 %, obr. 2).

Aplikace zinku se odrazila v jeho zvýšeném obsahu v netříděném zrně i ve slámě. Obsah zinku v sušeném zrně se tímto opatřením zvýšil v průměru o 3–11 %. Výrazně vyšší kumulace zinku probíhala ve slámě, naměřené koncentrace byly ale přibližně 2x až 3x nižší než v zrně (od 6 do 13  $mg \cdot kg^{-1}$ ; obr. 3). K nejvyšší akumulaci zinku v zrně docházelo u odrůd Tolar a Bojos (v průměru o 7 %), ve slámě dosahoval zinek nejvyšší koncentrace také u Tolaru, ale i u Kompaktu (v průměru o 9, resp. 7 %). Výnosem zrna ječmene bylo průměrně od-

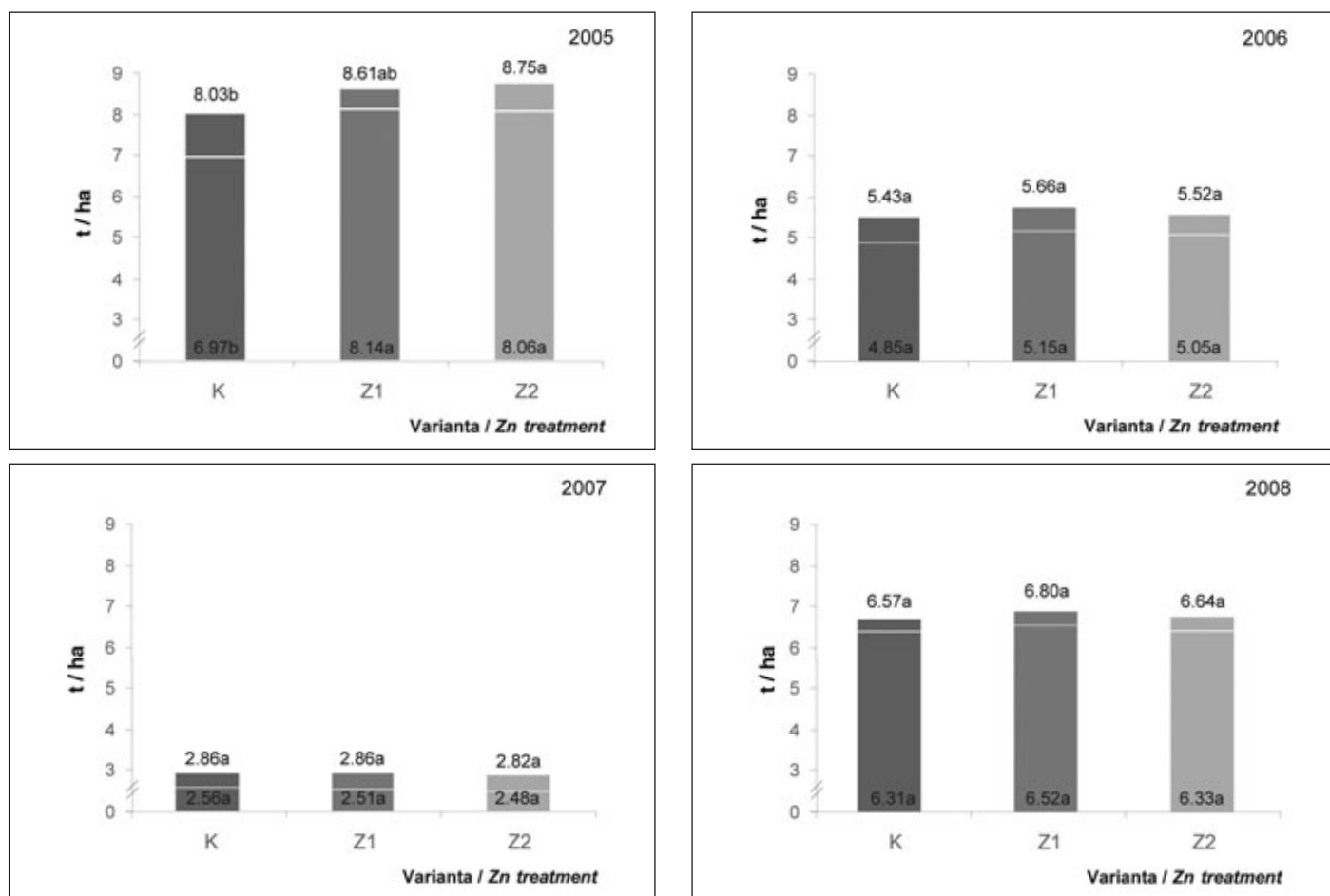
lied assortment of varieties. An order of varieties for each year as well as the total order (Tab. 5, 6) were determined to compare varieties performances in relation to RSS. On average, the Sebastian variety achieved the highest yield (by up to 10%), although it belonged to varieties with a generally smaller root system. A high yield was also found in Bojos that had a relatively low RSS in DC 23, but the highest in DC 57. The lowest average yield was established in the Malz and Kompakt varieties that were classified as having an average root system. A low grain yield may be related to e.g. a variety's low ability to compensate for stress conditions [11], on the other hand, one can conclude that these varieties have a high plasticity. The Tolar variety had the relatively weakest root system. The effect of zinc applied in the DC 31 stage on the root system development was dubious, it was more evident only in the case of the Kompakt variety. Kompakt classified as a variety with an average RSS in the DC 57 stage thanks to the zinc fertilizer treatment. Thereby it was confirmed that the genetic factor is important for the root system development [12], in our case, the share of the variety on the variability of RSS values represented 4–16% [13].

The grain yield formation and the total yield height were more positively influenced by the zinc application than the root system. The yield increase trend was observed in variants where zinc had been applied in an earlier growth stage (DC 31; Fig. 2). However, this was not the case in the extremely dry year 2007 (Tab. 4) with a generally low yield level. After the zinc application, the varieties yield rose by more than 3% on average (in DC 31 by 3.7 and in DC 55 by 2.9 %). TGW was one of the yield-formative parameters that reacted positively to the zinc fertilizer treatment (average increase by 1.7%), num-

Obr. 1 Průměrné hodnoty počtu klasů na  $m^2$  a HTZ ječmene jarního v jednotlivých letech po aplikaci zinečnatého hnojiva Zinran / Fig. 1 Average values of number of spikes per  $m^2$  and TGW of the spring barley in individual years after Zinran fertilizer application

Pozn. / Note: Z1, Z2 – foliární aplikace zinku ve fázi DC 31 a DC 55 / Foliar zinc application in DC 31 and DC 55 growth stages; Interval vyjadřuje směrodatnou odchylku / The interval expresses the standard deviation; Mezi sloupci, které jsou označeny stejnými písmeny, nejsou statisticky průkazné rozdíly ( $P = 0,05$ ) / Columns marked by the same letter did not differ significantly ( $P = 0.05$ ).

Obr. 2 Průměrný hospodářský výnos a výnos předního zrna po ošetření porostu zinečnatým hnojivem Zinran / Fig. 2 Average yield and yield of grain over 2.5 mm after Zinran fertilizer treatment



Pozn. / Notice: Z1, Z2 – foliární aplikace zinku ve fázi DC 31 a DC 55 / Foliar zinc application in DC 31 and DC 55 growth stages, K – kontrolní varianta bez aplikace zinku / Control variant without zinc application; Sloupce představují výnos předního zrna a celkový výnos / Columns represent yield of grain over 2.5 mm and total grain yield; Mezi sloupci, které jsou označeny stejnými písmeny, nejsou statisticky průkazné rozdíly ( $P = 0,05$ ) / Columns marked by the same letter did not differ significantly ( $P = 0.05$ ).

čerpáno  $143 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  (obr. 4). V jednotlivých letech přitom spotřeba zinku značně kolísala a dosahovala v závislosti na odrůdě a termínu aplikace zinečnatého hnojiva rozpětí od 66 do  $208 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Nejvyšším odběrem se vyznačovala odrůda Bojos ( $159 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), nejnižším Kompakt ( $126 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Vyšší odběr byl zaznamenán u porostů po foliární aplikaci zinečnatého hnojiva (o 10–17 %). Podrobněji je transport zinku z rostlin ječmene do zrna/sladu/sladiny popisován v práci autorů Cerkal et al. [14].

### 3.2 Vliv zinku na kvalitu zrna

Různé půdní podmínky, technologie pěstování i používané odrůdy ječmene se obecně odrážejí v rozdílných koncentracích mikroelementů v zrna. To může významným způsobem ovlivnit jeho nutriční i technologickou kvalitu [15] a následně způsobit problémy při jeho zpracování. Pro pivovarský průmysl je zpravidla limitující obsah zinku ve sladu, který koresponduje s jeho příjmem, utilizací a redistribucí v rámci rostliny a transportem do zrna [16, 17]. Jak již bylo uvedeno, aplikace zinečnatého hnojiva pozitivně ovlivnila mechanické vlastnosti, tedy HTZ a přepad zrna na síť 2,5 mm. Naproti tomu hodnoty nejsledovanějších ukazatelů jakosti zrna – dusíkatých látek a škrobu ovlivněny nebyly (obr. 5). V případě obou parametrů se vždy uplatnil dominantní vliv ročníku a potvrdil se také jejich vzájemný negativní vztah. Vliv ročníku byl potvrzen také na hodnotách extraktu, jehož podstatnou část tvoří právě produkty enzymatického rozkladu škrobu. V rámci pokusné série se ale podařilo prokázat (zejména díky příznivému působení zinečnatého hnojiva v roce 2005) pozitivní vliv aplikace zinku na výtěžnost extraktu sladu (obr. 6), který vzrostl v průměru o 0,3–0,5 %. S vyšším obsahem extraktu narůstala variabilita hodnot a rozšiřovaly se intervaly jejich rozpětí. Významným faktorem proměnlivosti hodnot extraktu ve sladu byly odrůdy. Průměrně nejvíce extrakt poskytovala odrůda Malz (82,2 %), nejméně odrůda Tolar (80,8 %). Průměrné hodnoty extraktu (81,6 %) odrůd doporučených k výrobě Českého piva [10] se pohybovaly pod průměrem

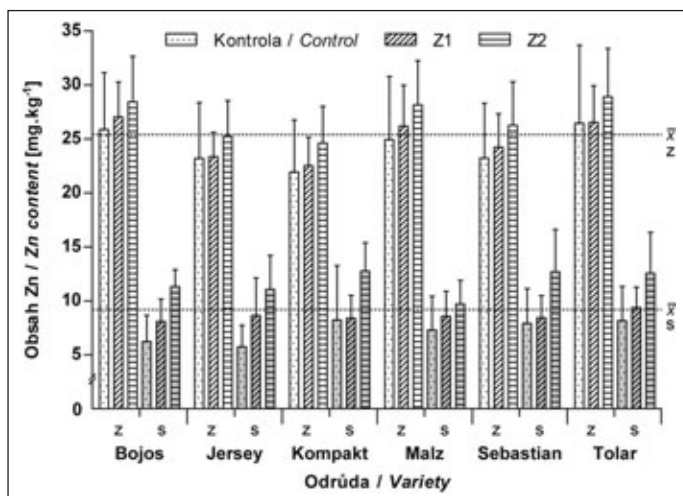
ber of spikes per area unit statistically insignificantly decreased after the zinc application (average of years – by 7%, Fig. 1). A higher total yield of grain over 2.5 mm was achieved as a result of the compensation effect (average of years – by almost 9%; Fig. 2).

Zinc application was reflected in the higher zinc content in the unsorted grain and straw. Zinc content in the grain's dry matter rose by 3–11 % on average as a result of the treatment. There was a distinctly higher zinc accumulation in the straw, however, the measured concentrations were approximately 2 to 3 times lower than those in the grain (by 6 to  $13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; Fig. 3). The highest zinc accumulation was found in the Tolar and Bojos varieties (by 7 % on average), the straw had the highest zinc concentration in Tolar but also in Kompakt (by 9 and 7% on average). On average  $143 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  was taken up by the barley grain yield (Fig. 4). Nevertheless, the zinc consumption fluctuated considerably during each year ranging between 66 to  $208 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  depending on the variety and the term of the zinc fertilizer application. The highest zinc uptake was found in Bojos ( $159 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), the lowest in Kompakt ( $126 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), a higher uptake was observed in stands that had been foliarly-treated with the zinc fertilizer (by 10–17%). A more detailed description of zinc transport from plants to the grain/malt/sweet wort has been described by authors Cerkal et al. 2009 [14].

### 3.2 Impact of zinc on grain quality

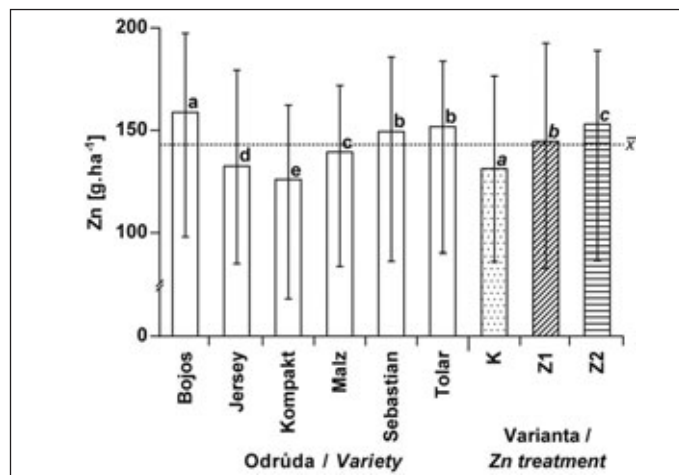
In general, varied soil conditions, technologies of growing, and barley varieties are reflected in the differences in concentrations of microelements in grain. This may considerably influence the grain's nutritional and technological quality [15] and as a result, it may cause problems during its processing. The zinc content in malt, which corresponds with its uptake, utilization, and redistribution within the plant and the transport into the grain, is usually a limiting factor for the brewery industry [16, 17]. As stated above, the zinc fertilizer application positively influenced the mechanical parameters, e.t. TGW and

Obr. 3 Hodnoty obsahu zinku ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v netříděném zrně a slámě jednotlivých odrůd ječmene jarního v závislosti na růstové fázi aplikace zinku (průměr let 2005–2008) / Fig. 3 Average values of zinc content [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] in unsorted grain and straw of spring barley varieties in dependence on the growth stage in which zinc was applied (average of years 2005–2008)



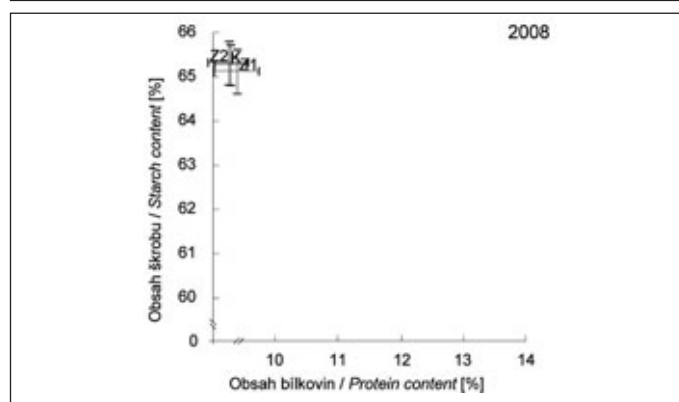
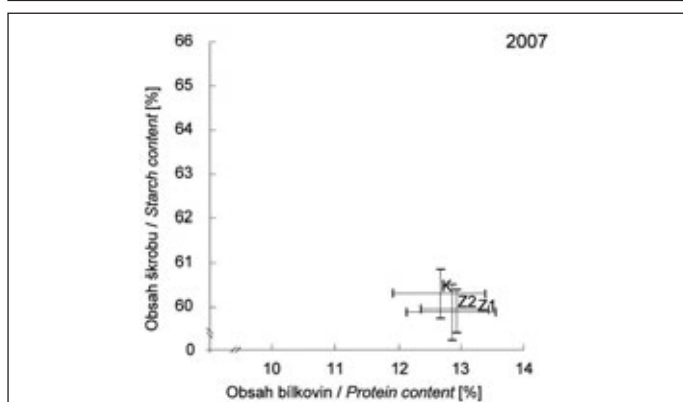
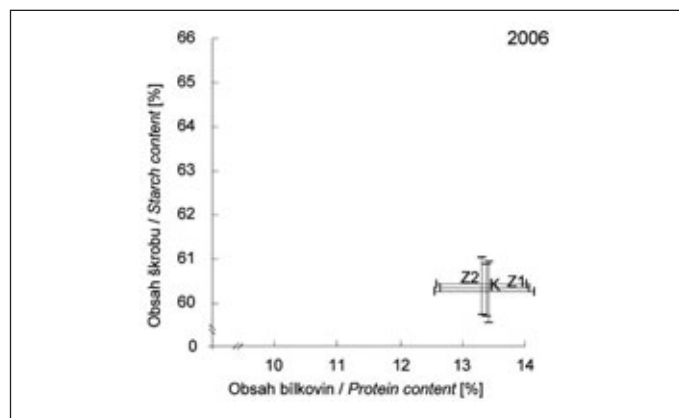
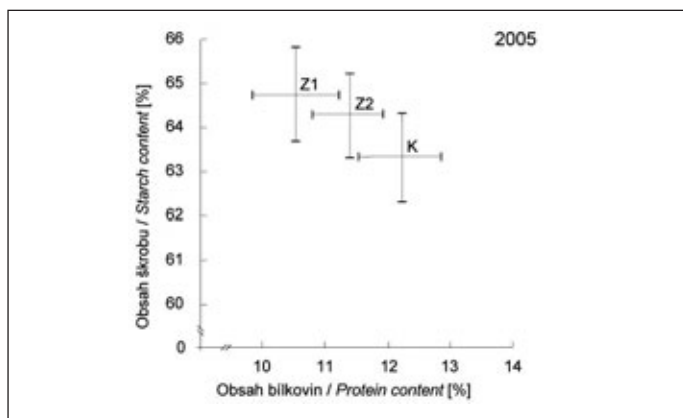
Pozn. / Notice: Z1, Z2 – foliární aplikace zinku ve fázi DC 31 a DC 55 / Foliar zinc application in DC 31 and DC 55 growth stages; z – netříděné zrně / unsorted grain, s – sláma / straw.

Obr. 4 Celkový odběr zinku výnosem zrna ječmene jarního v závislosti na odrůdě a termínu aplikace zinečnatého hnojiva (průměr let 2005–2008) / Fig. 4 Total zinc uptake by yield of spring barley in dependence on the variety and term of zinc fertilizer application (average of years 2005–2008)



Pozn. / Note: Z1, Z2 – foliární aplikace zinku ve fázi DC 31 a DC 55 / Foliar zinc application in DC 31 and DC 55 growth stages, K – kontrolní varianta bez aplikace / Control variant without zinc application; Mezi sloupci, které jsou označeny stejnými písmeny, nejsou statisticky průkazné difference ( $P = 0,05$ ) / Columns marked by the same letter did not differ significantly ( $P = 0.05$ )

Obr. 5 Obsah škrobu a dusíkatých látek ve tříděném zrně ječmene po ošetření porostu zinečnatým hnojivem Zinran v jednotlivých letech na lokalitě Žabčice / Fig. 5 Starch and protein content in barley grain after Zinran fertilizer treatment on the Žabčice site in individual years



Pozn. / Note: Z1, Z2 – zinek aplikován foliárně ve fázi DC 31 a DC 55 / Zinc applied in DC 31 and DC 55 growth stages, K – kontrolní varianta / Control variant without zinc foliar application; Úsečky představují směrodatné odchylky, průsečík je průměrná hodnota sledovaných znaků / Vectors represent standard deviations, the point of intersection is the mean value of the studied parameters.

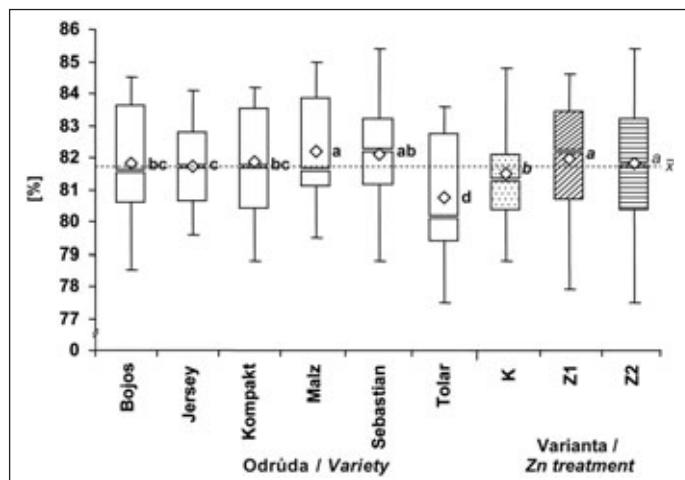
souboru odrůd (81,8 %), zatímco skupina ostatních odrůd poskytovala extrakty vyšší (81,9 %).

Hodnocení dat regresní analýzou potvrdilo některé obecně známé vztahy mezi sledovanými znaky, jiné vztahy se naopak ukázaly odlišné (obr. 7). U všech odrůd byla prokázána negativní korelace obsahu zinku s obsahem N látek v zrně (od  $r = -0,274$  do  $-0,525^{**}$ ),

grain over 2.5 mm sieve. On the contrary, the values of the most important grain quality parameters – the nitrogenous substances and starch content were not affected (Fig. 5). In case of both these parameters, the year factor was predominant and their mutual negative correlation was confirmed as well. The influence of the year was also validated for values of the extract, whose considerable part is com-

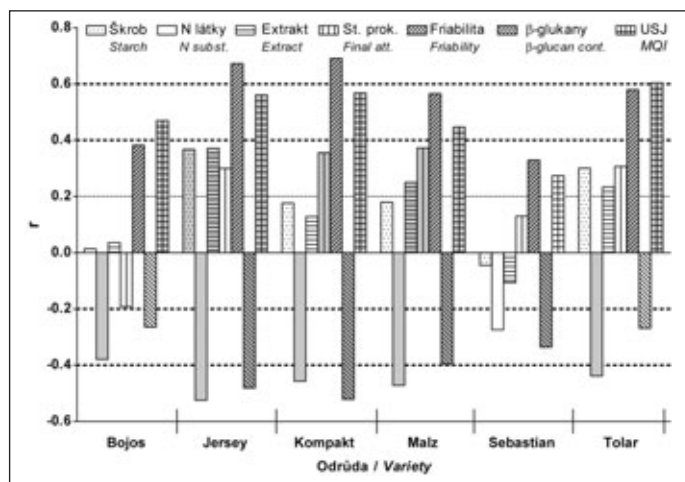


Obr. 6 Průměrné hodnoty extraktu ve sladu [%] dosažené u sledovaných odrůd a po foliární aplikaci zinečnatého hnojiva Zinran na lokalitě Žabčice v letech 2005–2008 / Fig. 6 Average values of extract in malt [%] reached by the studied varieties and after Zinran foliar application on the Žabčice locality in 2005–2008



Pozn. / Note: Z1, Z2 – zinek aplikován foliárně ve fázi DC 31 a DC 55 / Zinc applied in DC 31 and DC 55 growth stages, K – kontrolní varianta / Control variant without zinc foliar application; Boxy jsou 0,25–0,75 kvartily obsahující medián (bílá čára) a průměr (kosočtverec). Úsečky vymezují maximální a minimální hodnoty / Boxes are 0.25–0.75 quartiles including median (white line) and mean (rhombus). The caps at the end of each box indicate the min and max values; Mezi průměry, které jsou označeny stejnými písmeny, nejsou statisticky průkazné difference ( $P = 0,05$ ) / Mean values marked by the same letter did not differ significantly ( $P = 0.05$ ).

Obr. 7 Korelace mezi obsahem zinku ve tříděném zrně a vybranými parametry jakosti sladu u odrůd ječmene jarního z lokality Žabčice (2005–2008) / Fig. 7 Correlations between the zinc content in unsorted grain and the selected malt quality parameters of spring barley from the Žabčice site (2005–2008)

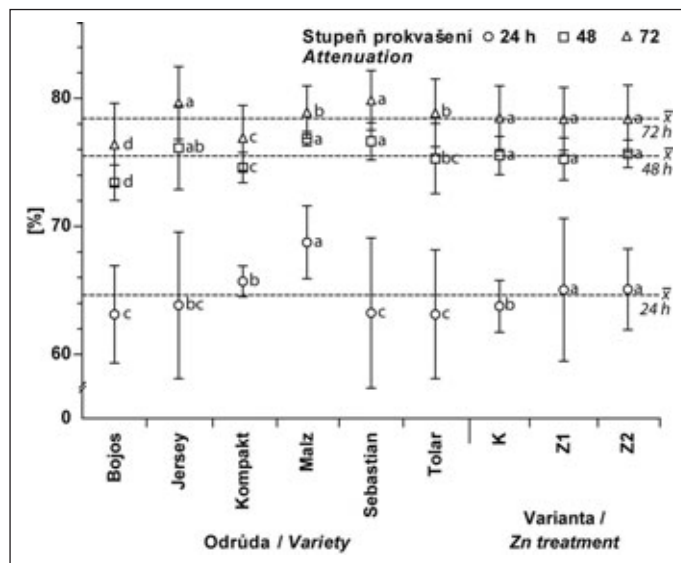


Pozn. / Note: Průkazné korelace jsou podbarveny / Statistically significant correlations are marked by colour.

s výjimkou odrůdy Sebastian pak také pozitivní vztah tohoto mikroelementu s obsahem škrobu ( $r = 0,014$  až  $0,367^*$ ). Pro tyto znaky jsou přitom popisovány opačné vztahy [18]. Podobně jako u škrobu platily (kromě odrůdy Sebastian) i logické, pozitivní vztahy, mezi obsahem zinku a extraktem ( $r = 0,036$ – $0,371^*$ ). Středně silné pozitivní závislosti byly zjištěny ve vztahu obsahu zinku a friability ( $r = 0,329^*$ – $0,691^{***}$ ), resp. USJ ( $r = 0,274$ – $0,603^{***}$ ), negativní naopak k obsahu  $\beta$ -glukanů v zrně ( $r = -0,265$  až  $-0,521^{**}$ ). Z pohledu sladafské kvality lze tedy agrotechnická opatření vedoucí ke zvyšování koncentrace zinku v zrně hodnotit velmi pozitivně.

Problematikou obsahu prvků v zrně u souboru genotypů pěstovaných v různých podmínkách se podrobně zabývala Vaculová et al. [18].

Obr. 8 Dosažené stupně prokvašení sladiny (po 24, 48 a 72 h) v závislosti na odrůdě a variantě aplikace zinečnatého hnojiva v průměru let 2005–2008 / Fig. 8 Attenuation of sweet wort (after 24, 48, and 72 hours) in dependence on the variety and the variant of zinc fertilizer application in average of years 2005–2008



Pozn. / Notice: Z1, Z2 – zinek aplikován foliárně ve fázi DC 31 a DC 55 / Zinc applied in DC 31 and DC 55 growth stages, K – kontrolní varianta / Control variant without zinc foliar application; Obrazce představují průměry, úsečky směrodatné odchylky / The figures represent means, the vectors standard deviations; Mezi průměry, které jsou označeny stejnými písmeny, nejsou statisticky průkazné difference ( $P = 0,05$ ) / Mean values marked by the same letter did not differ significantly ( $P = 0.05$ ).

posed of products of the enzymatic decomposition of starch. Within the scope of the experimental series, the positive effect of zinc application (mainly due to the favourable effect of the zinc fertilizer in 2005) on the yield of the malt extract was proved (Fig. 6) – it rose by 0.3–0.5 % on average. Variability of values increased hand in hand with the extract content increase and the intervals between the ranges of values widened. The factor of variety considerably affected the variability of the extract in malt. On average, the most extract was provided by the Malz variety (82.2 %), the least by Tolar (80.8 %). Average extract values (81.6 %) of varieties recommended for the Czech beer production ranged below the set of varieties (81.8 %), while the group of other varieties provided higher extracts (81.9 %).

Data evaluation by the regression analysis confirmed some generally known correlations between the studied characteristics, while some other correlations turned out to be different (Fig. 7). A negative correlation between the zinc content and N substances content in grain was proved in all varieties (from  $r = -0.274$  to  $-0.525^{**}$ ), and a positive correlation between this microelement and the starch content was confirmed in all varieties, too, ( $r = 0.014$  to  $0.367^*$ ), with the exception of Sebastian. However, opposite correlations between these parameters have been described by other authors [18]. Except for the Sebastian variety, logical positive correlations were found also between the zinc content and extract ( $r = 0.036$ – $0.371^*$ ). Positive correlations were found between the zinc content and friability ( $r = 0.329^*$ – $0.691^{***}$ ), and MQI ( $r = 0.274$ – $0.603^{***}$ ), negative ones were established between the zinc content and the content of  $\beta$ -glucans in grain ( $r = -0.265$  to  $-0.521^{**}$ ). From the malting quality perspective, the agrotechnical measures aiming to increase the zinc concentration in grain can be viewed as very positive.

The issue of elements content in grain within the set of genotypes grown under varied conditions was thoroughly researched by Vaculová et al. [18].

### 3.3 Effect of zinc on the process of sweet wort fermentation

Importance of zinc does not only lie in its participation in the metabolic processes of the barley plants. The level of zinc concentration in grain may play a crucial role during fermentative processes in the brewing utilization of malt. Zinc is vital for cell reproduction and is the co-factor of alcohol dehydrogenases. At the same time, it is also an element that is often limited in wort [19]. Zinc shortage causes a slow and incomplete fermentation of substrates in the brewing industry [20, 6].

### 3.3 Vliv zinku na průběh kvašení sladin

Význam zinku nespočívá pouze v jeho účasti na metabolických procesech rostlin ječmene. Úroveň jeho koncentrace v zrna může hrát významnou roli v kvasných procesech při pivovarském využití sladu. Zinek má význam pro reprodukci buněk a je kofaktorem alkoholové dehydrogenasy. Zároveň je prvkem, který je ve sladině často limitní [19]. Jeho nedostatek způsobuje v pivovarském průmyslu pomalé a nekompletní prokvašení substrátů [20, 6].

U variant hnojených zinkem byly prokázány rychlejší procesy fermentace v prvních 24 hodinách. Tuto skutečnost lze vysvětlit zvýšenou akumulací zinku uvnitř buňky po inokulaci sladin kvasinkami [21]. V důsledku toho probíhají procesy uvnitř buňky se zvýšenou rychlostí. Lze sem zahrnout také efekt větší průchodnosti látek cytoplazmatickou membránou. Zde je pro rychlost fermentace limitující transport sacharidů [22] a syntéza bílkovin, kam patří syntéza enzymu alkoholdehydrogenasy [23]. Opačný efekt je pozorován u sladin s nízkým obsahem zinku, které se v praxi nazývají jako „loudavé“, a v extrémním případě může nastat i předčasná flokulace kvasnic [24]. V dalších dnech kvašení se rychlost stabilizovala a po 72 hodinách kvašení byla výsledná hloubka prokvašení ve srovnání s kontrolními variantami stejná. Vliv zinku na rychlost kvašení je podmíněn řadou faktorů, z nichž četné nebyly ještě uspokojivě prozkoumány [6].

## 4 ZÁVĚR

V rámci čtyřletých maloparcelních pokusů, realizovaných v povětrnostně odlišných letech 2005–2008, byl prokázán pozitivní účinek listové aplikace zinečnatého hnojiva na růst rostlin ječmene jarního, výnos zrna i jeho kvalitu. Uvedeným opatřením se podařilo zvýšit nativní hladinu zinku v zrna, a tím eliminovat známé problémy s jeho nedostatkem při technologickém zpracování. Pozitivní korelace mezi obsahem zinku a obsahem škrobu, resp. extraktu, friabilitou a USJ jednoznačně ukazují na význam tohoto prvku pro sladařský a pivovarský průmysl a prokazují vysokou efektivitu mimokořenové aplikace zinečnatých hnojiv v průběhu vegetace.

### Poděkování

Výzkum byl realizován za podpory „Výzkumného centra pro studium obsahových látek ječmene a chmele“ č. 1M0570.

*Recenzovaný článek / Reviewed paper*

*Do redakce došlo / Manuscript received: 11. 1. 2010*

*Přijato k publikování / Accepted for publication: 5. 2. 2010*

## LITERATURA / REFERENCES

1. World Health Organization (WHO, 2002): The World Health Report 2002. Geneva. (<http://www.who.int/whr/2002/>).
2. Alloway, B. J.: Zinc in soils and crop nutrition. 2<sup>nd</sup>, IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France, 2008.
3. Cakmak, I.: Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil*. **302**, 2008, 1–17.
4. Genc, Y., McDonald, G. K., Graham, R. D.: Differential expression of zinc efficiency during the growing season of barley. *Plant Soil*. **263**, 2004, 273–282.
5. Marschner, H.: Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup>, Academic Press Ltd., London, 1995.
6. De Nicola, R., Walker, G. M.: Accumulation and cellular distribution of zinc by brewing yeast. *Enzyme Microb Tech.* **44**, 2009, 210–216.
7. Chloupek, O.: Evaluation of size of a plants root-system using its electrical capacitance. *Plant Soil*. **48**, 1977, 525–532.
8. EBC. Analytica-EBC. Barley: 3.4 Thousand Corn Weight of Barley. Getränke-Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, 1998.
9. EBC. Analytica-EBC. Malt: 4.5.1 Extract of malt: Congress Mash. Getränke-Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, 1998.
10. Commission regulation (EC) No 1014/2008 entering certain names in the Register of protected designations of origin and protected geographical indications (České pivo (PGI), Cebreiro (PDO)).
11. Martinkova, J., Hejnak, V., Hnilicka, F.: The effect of the aridisation of a habitat on the accumulation capability of sink in selected varieties of spring barley. *Cereal Res Commun.* **35**, 2007, 1305–1308.
12. Sharma, H., Behl, R. K., Singh, K. P., Narula, N., Jain, P.: Root and plant characters in wheat under low input field conditions with dual inoculation of mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum*: Gene effects. *Cereal Res Commun.* **35**, 2007, 1573–1582.

Faster fermentation processes during the first 24 hours were proved in variants treated by zinc. This fact can be explained by the higher zinc accumulation inside the cell after inoculation of sweet wort by yeast [21]. As a result, the processes inside the cell become faster. A better patency of substances through the cytoplasmic membrane can be also included among these effects. In this case, the fermentation speed is limited by the saccharides transport [22] and protein synthesis, which includes the synthesis of the alcoholdehydrogenase enzyme [23]. The opposite effect has been observed in low zinc content malts that are sometimes called “sluggish” in practice and in extreme cases, a premature yeast flocculation may occur [24]. In following days, the fermentation speed stabilized and after 72 hours, the resultant depth of fermentation was the same as the one of the control variants. The effect of zinc on the fermentation speed depends on a range of factors, many of which have not yet been satisfactorily researched [6].

## 4 CONCLUSION

In the scope of the four-year small-plot trials carried out under varied weather conditions in 2005–2008, a positive effect of the zinc fertilizer foliar application on the spring barley plants' growth, grain yield, and quality was proved. The native level of zinc in grain increased as a result of the foliar treatment and subsequently helped eliminate notorious problems connected with its shortage during technological processing. Positive correlations between the zinc and starch contents and the extract, friability and MQI clearly show this element's importance for the malting and brewery industries; moreover, they confirm that non-root zinc fertilizers application during vegetation is highly effective.

### Acknowledgements

This study was funded by the project No 1M0570 called “Research Centre for Study of Extract Compounds of Barley and Hop”.

13. Cerkal, R., Vejrazka, K., Ryant, P., Hrivna, L., Prokes, J.: Root capacity and its influence on nutrient uptake by malting barley grain. *Cereal Res Commun.* **36**, 2008, 111–114.
14. Cerkal, R., Ryant, P., Hrivna, L., Prokeš, J., Březinová Belcredi, N.: Transport of zinc from plant of different barley varieties to sweet wort suitable for the Czech beer production. In Book I of Proceedings of the EURO FOOD CHEM XV. Copenhagen: Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen, Denmark, 2009, 177–180.
15. Welch, R. M.: Zinc concentrations and forms in plants for humans and animals. In: Robson, A.D. (Ed): Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands. 1993, 183–195.
16. Palmgren, M. G., Clemens, S., Williams, L. E., Kraemer, U., Borg, S., Schjorring, J. K., Sanders, D.: Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. *Trends Plant Sci.* **13**, 2008, 464–473.
17. Stomph, T. J., Jiang, W., Struik, P. C.: Zinc biofortification of cereals: rice differs from wheat and barley. *Trends Plant Sci.* **14**, 2009, 123–124.
18. Vaculová, K., Balounová, M., Cerkal, R., Ehrenbergerová J.: Vliv lokality a pěstebního ročníku na obsah minerálních látek v zrne ječmene jarního. *Kvasny Prum.* **56**, 2010, 60–68.
19. White, Ch.: Yeast Nutrients Make Fermentations Better. [on line]. Dostupné z [http://www.whitelabs.com/beer/Yeast\\_Nutrition\\_Article.pdf](http://www.whitelabs.com/beer/Yeast_Nutrition_Article.pdf). 2009.
20. Vecseri-Hegyes, B., Fodor, P., Hoschke, Á.: The role of zinc in beer production, I. Wort production. *Acta Aliment Hung.* **34**, 2005, 373–380.
21. Mochaba, F., O'Connor Cox, E. S. C., Axcell, B. C.: Metal ion concentration and release by a brewing yeast: characterization and implications. *J. Am Soc Brew Chem.* **54**, 1996, 155–163.
22. Garcia, J. J., Martinez-Ballarín, E., Millan-Plano, S., Allue, J. L., Albendea, C., Fuentes, L., Escanero, J. F.: Effects of trace elements on membrane fluidity. *J. Trace Elem Med Bio.* **19**, 2005, 19–22.
23. Obata, H., Hayashi, A., Toda, T., Umabayashi, M.: Effects of zinc deficiency on the growth, proteins and other constituents of yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, cells. *Soil Sci Plant Nutr.* **42**, 1996, 147–154.
24. Jacobsen, T., Hage, T., Lie, S.: A fermentation assay for wort element availability. *J. Inst. Brew.* **88**, 1982, 387–389.