

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DISERTAČNÍ PRÁCE

BRNO 2015

VÍT MAREČEK

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství



Studium antioxidační kapacity zrna ječmene a sladu

Disertační práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Radim Cerkal, Ph.D.

Vypracoval:

Ing. Vít Mareček

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „**Studium antioxidační kapacity zrna ječmene a sladu**“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat svému školiteli doc. Ing. Radimu Cerkalovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady při řešení této disertační práce.

Dále bych rád poděkoval všem svým blízkým za trpělivost a neustálou podporu, bez níž by tato práce nevznikla. V neposlední řadě bych také rád vyjádřil svůj vděk všem kolegům na Ústavu pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, kteří přispěli ke zdárnému dokončení této práce.

ABSTRAKT

Látky s antioxidačními účinky obsažené v potravinách a nápojích mají příznivý vliv na lidské zdraví, v pivovarském průmyslu navíc hraje jejich obsah ve vstupních surovinách důležitou roli v senzorické stabilitě finálních výrobků. Cílem této práce bylo stanovit antioxidační kapacitu zrna ječmene a následně sladu pomocí dvou běžně používaných metod standardizovaných na Trolox a charakterizovat faktory ovlivňující hodnotu antioxidační kapacity. Hodnoty TEAC vodných extraktů 162 vzorků zrna ječmene a sladu byly stanoveny metodou ABTS v intervalu 1,601 až 2,993 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, respektive 2,205 až 3,342 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ a metodou DPPH v rozmezí 0,908 až 2,037 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, respektive 1,183 až 3,185 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$. Antioxidační kapacita sladu byla oproti hodnotám zrna ječmene výrazně vyšší v důsledku uvolnění a vzniku antioxidantů během procesu sladování. Výsledky antioxidační kapacity zrna ječmene stanovené metodou ABTS závisely srovnatelně na odrůdě i ročníku (34 % a 40 % variability). Hodnoty TEAC stanovené metodou DPPH byly více než na odrůdě závislé na ročníku (19 % a 62 % variability). Mezi výsledky TEAC metody ABTS zrna ječmene a sladu byla nalezena významná korelace ($r = 0,704^{***}$), TEAC sladu stanovená metodou DPPH více závisela na míře modifikace zrna sladováním ($r = 0,563^{***}$). Pro hodnoty TEAC sladu byla zjištěna u obou metod přibližně stejná odrůdová závislost. Pomocí obecného lineárního modelu byly ze sladovnických kvalitativních parametrů sestaveny modely pro odhad TEAC zrna ječmene a sladu. Antioxidační kapacita zrna ječmene a sladu nejvíce závisela na povětrnostních podmínkách během vegetace a dále na odrůdě ječmene i aplikaci zinečnatého hnojiva. Hodnoty TEAC sladu dále závisely také na úrovni modifikace zrna ječmene během procesu sladování.

Klíčová slova: antioxidační kapacita, ječmen, slad, kvalitativní parametry

ABSTRACT

Compounds with antioxidant effects contained in foods and beverages have a positive effect on human health. Contents of these compounds in raw material have an important role in the brewing industry as they can affect sensory stability of the final products. The aim of this study was to determine the antioxidant capacity of grain barley and malt with two commonly used methods standardized to Trolox and subsequently to characterize factors affecting the value of antioxidant capacity. The TEAC values of aqueous extracts from 162 samples grain of barley and malt were assessed by the ABTS method in the intervals from 1.601 to 2.993 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ and from 2.205 to 3.342 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ respectively. Results of the DPPH method were determined in the range from 0.908 to 2.037 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ and from 1.183 to 3.185 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ respectively. Antioxidant capacity of malt was significantly higher compared to barley grain due to the release and formation of antioxidants during the malting process. ABTS method results of the barley grain antioxidant capacity were comparably dependent on the variety factor and year factor (34 % and 40 % variability). TEAC values measured by DPPH method were more dependent on year factor than on the variety factor (19 % and 62 % variability). The significant correlation ($r = 0.704^{***}$) was found among the results of barley grain and malt assessed by ABTS method. TEAC value of malt determined by DPPH method was more dependent on the degree of modification of the malted grain ($r = 0.563^{***}$). Approximately the same varietal dependence of malt TEAC values of both methods was found. Using the general linear model from malting quality parameters were assembled models to estimate the TEAC values of barley grain and malt. Antioxidant capacity of barley grain and malt was mostly dependent on weather conditions during the growing season and also on the variety of barley and application of zinc fertilizer. The TEAC values of malt furthermore depended on the level of modification of barley grain during the malting process.

Keywords: antioxidant capacity, barley, malt, qualitative parameters

OBSAH

1 ÚVOD.....	10
2 CÍL PRÁCE.....	12
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	13
3.1 Botanická taxonomie	13
3.2 Historie a současnost pěstování ječmene	13
3.3 Sladovnický ječmen	15
3.3.1 Požadavky na sladovnický ječmen	15
3.4 Složení ječmene	17
3.5 Volné radikály	18
3.5.1 Reaktivní formy kyslíku	19
3.5.1.1 Superoxidový anion	19
3.5.1.2 Hydroxylový radikál	20
3.5.1.3 Peroxylový radikál	20
3.5.1.4 Hydroperoxylový radikál	21
3.5.1.5 Peroxid vodíku	21
3.5.1.6 Singletový kyslík	21
3.5.2 Reaktivní formy dusíku	22
3.5.2.1 Oxid dusnatý	23
3.5.2.2 Oxid dusičitý	23
3.5.2.3 Peroxodusitan	23
3.5.3 Působení reaktivních forem kyslíku a dusíku	24
3.6 Látky s antioxidačním účinkem.....	24
3.6.1 Vlastnosti antioxidantů	25
3.7 Antioxidanty obsažené v ječmeni	27
3.7.1 Polyfenolové látky	27
3.7.1.1 Flavonoidy	29
3.7.1.2 Fenolové kyseliny	31
3.7.2 Vitaminy	33
3.7.2.1 Vitamin E	33
3.7.2.2 Vitaminy skupiny B	35
3.7.3 Enzymy	36

3.7.3.1 Superoxiddismutasa	37
3.7.3.2 Katalasa.....	38
3.7.3.3 Peroxidasa.....	38
3.7.4 Ostatní látky.....	39
3.8 Faktory ovlivňující obsah antioxidantů zrna ječmene a sladu	40
3.9 Metody stanovení antioxidačních účinků	43
3.9.1 Chemické metody	45
3.9.2 Fyzikální metody	47
4 MATERIÁL A METODIKA	48
4.1 Charakteristika pokusu.....	48
4.2 Charakteristika lokality	48
4.2.1 Půda	49
4.2.2 Klimatické podmínky	49
4.2.2.1 Pokusný rok 2009	50
4.2.2.2 Pokusný rok 2010	51
4.2.2.3 Pokusný rok 2011	52
4.3 Charakteristika použitých odrůd ječmene jarního	53
4.4 Sladování.....	54
4.5 Rozbory ječmene a sladu.....	55
4.6 Stanovení antioxidační kapacity.....	55
4.6.1 Příprava vzorků.....	55
4.6.2 Metoda ABTS	56
4.6.2.1 Princip.....	56
4.6.2.2 Použité roztoky	56
4.6.2.3 Pracovní postup.....	57
4.6.3 Metoda DPPH.....	58
4.6.3.1 Princip.....	58
4.6.3.2 Použité roztoky	59
4.6.3.3 Pracovní postup.....	59
4.7 Zpracování výsledků.....	60
5 VÝSLEDKY A DISKUZE	62
5.1 Antioxidační kapacita zrna ječmene a sladu	62
5.1.1 Vliv ročníku na antioxidační kapacitu zrna ječmene jarního a sladu	64

5.1.2 Vliv odrůdy na antioxidační kapacitu zrna ječmene a sladu.....	67
5.1.3 Vliv varianty ošetření zinkem na antioxidační kapacitu zrna ječmene a sladu .	68
5.2 Porovnání použitých metod	70
5.3 Vztah antioxidační kapacity a kvality zrna ječmene a sladu.....	72
5.3.1 Vliv kvalitativních parametrů zrna na TEAC zrna ječmene.....	72
5.3.2 Statistické modely pro odhad TEAC zrna ječmene	73
5.3.3 Vliv kvalitativních parametrů sladu na TEAC sladu.....	74
5.3.4 Statistické modely pro odhad TEAC sladu.....	76
6 ZÁVĚR	78
6.1 Praktické uplatnění výsledků	79
7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	80
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	105
9 SEZNAM TABULEK.....	106
10 SEZNAM ZKRATEK	107
11 PŘÍLOHY.....	109
12 SEZNAM PŘÍLOH.....	109

1 ÚVOD

Látky s antioxidačními účinky se kvůli svému působení proti volným radikálům dostaly v průběhu minulých let do popředí zájmu jak široké laické veřejnosti, tak i mnoha odborníků z mnoha oborů (Karabín *et al.*, 2006). Volné radikály jsou atomy nebo molekuly obsahující nepárové elektrony, díky kterým jsou nestabilní a vysoce reaktivní. Reaktivní formy kyslíku a dusíku jsou souhrnné termíny, které zahrnují volné radikály, ale i látky, které sice ve své struktuře neobsahují nepárový elektron, ale přesto mohou působit oxidačně (Pourova *et al.*, 2010; Ramalingam, Kim, 2012). Jsou nedílnou součástí všech živých organismů, kde hrají velmi důležitou roli v mnoha biologických procesech, včetně metabolických cyklů, buněčné signalizaci a imunitní reakci (Vikram *et al.*, 2009). Poklesem antioxidační obrany organismu nebo nadměrnou tvorbou reaktivních forem kyslíku a dusíku vzniká oxidační stres, který poškozuje makromolekuly a tkáně, působí mutace DNA a významně přispívá ke vzniku nádorů. Oxidační stres je spolupříčinou více než stovky nemocí a stavů (Holeček, 2010). Ochranu lidského organismu před působením oxidačního stresu tvoří nejen antioxidanty syntetizované v těle, ale i látky s antioxidačním účinkem přijímané v potravě (Benzie, 2003). Význam antioxidantů obsažených v potravinách spočívá nejen ve zvýšení nutriční hodnoty, ale také v prodloužení jejich údržnosti, jelikož zabraňují nežádoucím změnám způsobených oxidací. Typickým projevem oxidace v potravinách je žluknutí náchylných složek, jako jsou tuky a vonné látky (Roginsky, Lissi, 2005; Niki *et al.*, 2008). Oxidace lipidů v potravinách vyvolává další změny, které negativně ovlivňují jejich výživovou, hygienicko-technickou a sensorickou hodnotu (Velíšek, 2002). Prevence oxidačních reakcí tak může zlepšit nutriční i ekonomickou hodnotu citlivých potravinářských výrobků (Bamdad, Chen, 2013). V pivovarské výrobě mají antioxidanty vstupních surovin význam pro sensorickou stabilitu nápoje a potlačení tvorby nežádoucích aldehydů, které vznikají v radikálových reakcích z mastných kyselin, aminokyselin a vyšších alkoholů (Zhao *et al.*, 2013).

Ječmen (*Hordeum vulgare* L.) patří mezi nejstarší plodiny, u které se převážně potravinářské využití v průběhu domestikace změnilo na krmivářské a sladovnické. Vzhledem k obsahu bioaktivních látek se ale ječmen dostává opět do popředí zájmu jako surovina pro výrobu funkčních potravin (Omwamba, Hu, 2009). Převládající

oblastí alimentárního využití ječmene je zpracování na slad a následně pivo (Newman, Newman, 2008).

V České republice představuje pivo jeden z nejvýznamnějších zdrojů přírodních antioxidantů v potravě. Nejširší skupinou antioxidantů v pivovarství jsou polyfenolové látky, které hrají důležitou roli při omezování oxidačních změn během chmelovaru a skladování, ale mohou se také podílet na snížení koloidní stability piva. Z těchto důvodů je snahou pivovarského průmyslu stanovit antioxidační vlastnosti a optimalizovat obsah těchto látek (Karabín *et al.*, 2006). Antioxidační kapacitu zrna ječmene a sladu lze charakterizovat jako parametr, který úzce souvisí s kvalitou finálního výrobku. Piva vyrobená ze sladů s vyšší antioxidační kapacitou totiž vykazují lepší senzoryckou kvalitu a stabilitu. Tyto slady zároveň poskytují vyšší dosažitelné prokvašení, rozpustný dusík a lepší předpověď filtrovatelnosti (Mikyška, Prokeš, 2009).

Tato práce si klade za cíl stanovit antioxidační kapacitu vzorků zrna ječmene a sladu a charakterizovat faktory, které tuto hodnotu ovlivňují. Získané výsledky by mohly pomoci odborníkům při výběru a preferenci konkrétních odrůd, respektive šarží, ječmene jarního pro výrobu sladu a piva, případně pro výrobu potravin.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této disertační práce bylo stanovit celkovou antioxidační kapacitu vodných extraktů zrna vybraných sladovnických odrůd ječmene jarního a rovněž tak z něj připraveného sladu pomocí běžně používaných metod ABTS a DPPH a charakterizovat faktory ovlivňující hodnotu antioxidační kapacity.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Botanická taxonomie

Ječmen (rod *Hordeum* L.) je řazen do říše rostlin (*Plantae*), oddělení semenných (*Spermatophyta*), pododdělení krytosemenných (*Angiospermae*), třídy jednoděložných (*Monocotyledonae*), řádu lipnicotvarých (*Poales*), čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Podle způsobu růstu se ječmen může dělit na divoce rostoucí plané druhy ječmene, z nichž je u nás nejrozšířenější ječmen myší (*Hordeum murinum* L.), a ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.), který se vyskytuje v kultuře a je jednoletou jarní nebo ozimou trávou (Kosař *et al.*, 2000). Podle počtu sad chromozomů ($n = 7$) rozdělujeme rod *Hordeum* L. na diploidní ($2n = 14$), tetraploidní ($4n = 28$) a hexaploidní ($6n = 42$), přičemž i v rámci téhož druhu se mohou vyskytovat rozdílné stupně ploidity. Kulturní druhy ječmene se dále dělí na ječmen dvouřadý a víceřadý. Ječmen dvouřadý se podle variet dělí do čtyř nejdůležitějších skupin: varieta *nutans* (ječmen nící, háčkující), varieta *errectum* (ječmen vzpřímený), varieta *zeocrithon* (ječmen paví) a varieta *nudum* (ječmen nahý) (Zimolka, 2006).

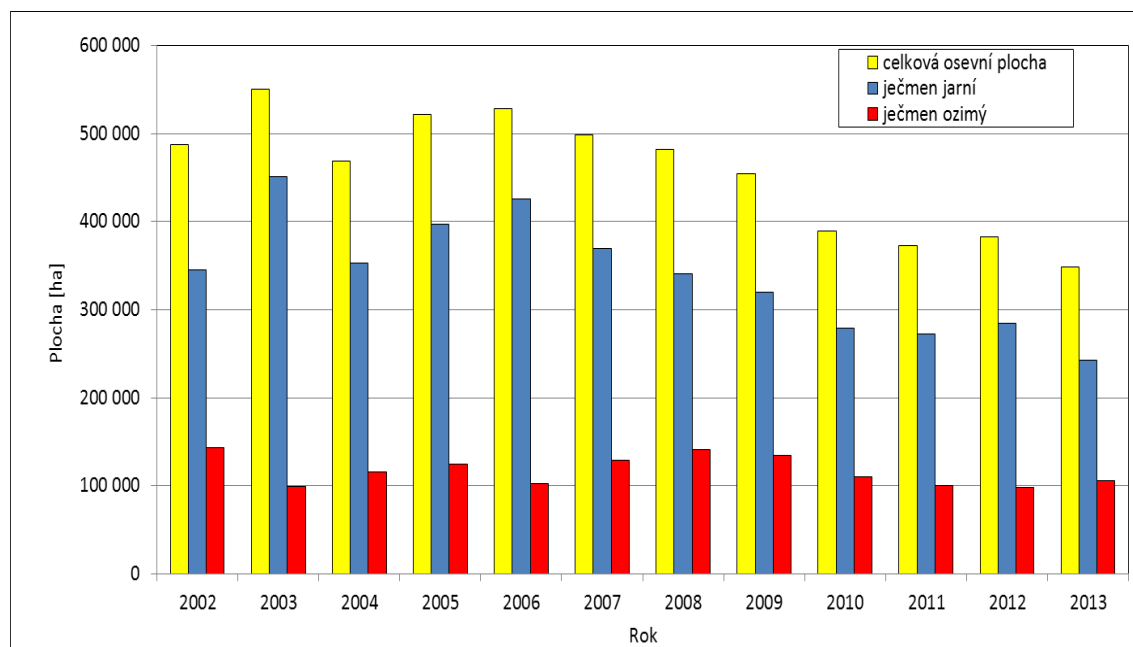
Hlavní skupinu sladovnického ječmene tvoří ječmen nící, jehož zrna jsou přirostlá ke klasovému větenu, takže jsou osiny souběžné. Na rozdíl od ječmene vzpřímeného, jeho klas během zrání háčkuje (Kosař *et al.*, 2000).

3.2 Historie a současnost pěstování ječmene

Pravděpodobně nejstarší pozůstatky planého ječmene (*Hordeum spontaneum*), byly objeveny v prehistorickém táboře, který byl po většinu své historie a dokonce i po většinu 20. století ponořen pod vodou. Tábor se nachází na jihozápadním pobřeží Galilejského jezera na území dnešního Izraele, 212 metrů pod úrovní mořské hladiny. Stáří tábora se pomocí radiokarbonové metody odhaduje na 23 000 let (Nadel *et al.*, 2004). Archeologické nálezy potvrzují hojný výskyt domestikovaných forem ječmene v oblasti tzv. úrodného půlměsíce přibližně 10 000 let před našim letopočtem a předpokládá se, že odtud se spolu s ostatními neolitickými plodinami rozšířil do Evropy, Afriky a jižní Asie. Nálezy také potvrzují, že ječmen byl v této době využíván především pro lidskou výživu, patrně více než pšenice (Nesbitt, 2005).

Ječmen se na území České republiky pěstoval od nepaměti. Jedna z prvních písemných zpráv pochází z 10. století (Chloupek, 2011). V této době bylo hlavní využití ječmene především na výrobu krup a v dobách nouze i na chléb. Hlavní surovinou pro vaření piva byla pšenice. Použití ječmene jakožto hlavní suroviny pro sladování se začalo rozšiřovat v 17. století a bylo příčinou rozmachu ve výstavbě sladoven, především ve druhé polovině 19. století. Ječmen jarní se stal na přelomu 19. a 20. století nejdůležitější plodinou pěstovanou na Moravě a stal se zároveň i významnou plodinou exportní (Kosař *et al.*, 2000).

V současné době je ječmen po pšenici, rýži a kukuřici čtvrtou nejpěstovanější obilninou na světě (Baik, Ullrich, 2008; Mahdi *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2010). Mezi jeho největší producenty patří Ruská federace, Kanada, Ukrajina, Francie a Španělsko (Martin *et al.*, 2006; Öztürk, Esen, 2008). Osevní plocha ječmene v České republice za rok 2013 dosáhla 349 tis. ha (Obr. 1), což činí 24,4 % z celkové osevní plochy obilnin 1428,2 tis. ha. Ječmen jarní se pěstoval na 242,7 tis. ha, ječmen ozimý na 106,3 tis. ha. Z celkové osevní plochy obilnin v ČR v roce 2013 tak zaujímají 17, respektive 7,5 %.



Obr. 1 Vývoj osevních ploch ječmene v České republice v letech 2002 až 2013 (Kůst, Potměšilová, 2013)

3.3 Sladovnický ječmen

Pěstování a šlechtění ječmene bylo významnou součástí českého zemědělství již za dob Rakousko-Uherska. Naším prvním úspěšným šlechtitelem byl Emanuel Proskowetz mladší, který roku 1884 vyšlechtil odrůdu Haná Pedigree (Proskowetzův Haná Pedigree). Vyznačovala se vynikající sladařskou kvalitou, ušlechtilým tvarem zrna, spolehlivostí výnosu a stala se základem pro šlechtění hanáckých sladových odrůd (Růžička, 2004). V roce 1965 byla povolena odrůda Diamant, kterou vyšlechtil mutagenezí Josef Bouma. Odrůda se stala velmi známou i v zahraničí a stala se základem odrůd tzv. diamantové řady, které vynikaly zejména stabilnějším výnosem, odolností vůči poléhání a lámání stébla, odolností vůči padlí travnímu a hnědé skvrnitosti, ale i vyšším počtem klasů na jednotku plochy v důsledku vyššího efektivního odnožování (Psota, Ehrenbergerová, 2008; Chloupek, 2011).

V České republice jsou pro výrobu sladu převážně využívány dvouřadá odrůdy ječmene jarního, víceřadá odrůdy ozimého typu jsou řazeny ke krmným. Pro sladovnické účely jsou v zahraničí využívány také dvouřadá i víceřadá ozimé odrůdy ječmene. U nás byla registrována dvouřadá německá ozimá odrůda Tiffany. V našich podmínkách poskytují ozimé odrůdy v porovnání s jarními větší zrno a vyšší výnos, avšak jeho pěstování je limitováno především jistotou přezimování. Příčinou nižší mrazuvzdornosti ječmene ozimého je jeho nevýrazná fotoperiodická reakce, která ovlivňuje rychlost vývoje (Zimolka, 2006; Psota, Ehrenbergerová, 2008).

3.3.1 Požadavky na sladovnický ječmen

Hodnocení ječmene pro výrobu piva se provádí od chvíle, kdy lidé zjistili, že z něj lze vyrobit kvalitní alkoholický nápoj. Pro hodnocení ječmene je od 1. 1. 2006 v ČR platná revidovaná norma ČSN 46 1100-5 Ječmen sladovnický, ve které jsou stanoveny požadavky sladoven a pivovarů na kvalitu zrna sladovnického ječmene (Zimolka, 2006).

Sladovnická kvalita odrůd ječmene je u nás v současné době hodnocena podle „Ukazatele sladovnické jakosti“ (USJ), který vznikl na základě požadavků zpracovatelského průmyslu. K hodnoceným parametrům (Tab. 1) patří: obsah dusíkatých látek (bílkovin) v obilce nesladovaného ječmene, obsah extraktu (extraktivnost) v sušině sladu, relativní extrakt při 45 °C, Kolbachovo číslo, diastatická mohutnost, dosažitelný (konečný) stupeň prokvašení, friabilita (křehkost) a obsah

β -glukanů ve sladině (Kosař *et al.*, 2000). Sladovnická kvalita je výrazná odrůdová vlastnost, ačkoli jakost konkrétní odrůdy může být významně ovlivněna ročníkem, lokalitou, úrovní hnojení dusíkem, výskytem chorob a poléháním (Psota, Ehrenbergerová, 2008). Výsledek hodnocení sladovnické jakosti se vyjadřuje v rámci devítibodové stupnice, kdy hodnota 1 znázorňuje vlastnosti nejhorší (nepřijatelné) a hodnota 9 vlastnosti nejlepší (optimální). Za sladovnické se považují odrůdy, které dosáhly alespoň bodového hodnocení čtyři (Psota, Kosař, 2002; Zimolka, 2006).

Kvalita zrna ječmene ovlivňuje proces jeho zpracování i výslednou kvalitu finálního výrobku. V případě sladovnického ječmene, jsou kvalitou zrna ovlivněny nejen sensorické vlastnosti piva (chuť, barva, pěna, koloidní stabilita, pitelnost, plnost), ale také ekonomické aspekty jednotlivých fází výroby piva. V České republice je hodnocení kvality sladovnického ječmene a z něho vyrobeného sladu prováděno pomocí metod EBC (European Brewery Convention) a MEBAK (Mittleeuropäische Brautechnische Analysenkommission) (Psota, Ehrenbergerová, 2008).

Tab. 1 Limitní hodnoty a váhy kvalitativních parametrů (Psota, Kosař, 2002)

Parametr	Jednotka	Nepřijatelná hranice	Optimální hranice	Váha
Bílkoviny v zru ječmene	%	9,5	10,2	0,01
		11,7	11,0	
Extrakt v sušině sladu	%	81,5	83,0	0,3
Relativní extrakt při 45 °C	%	35,0	40,0	0,2
		53,0	48,0	
Kolbachovo číslo	%	40,0	42,0	0,1
		53,0	48,0	
Diastatická mohutnost	WK	220	300	0,1
Dosažitelný stupeň prokvašení	%	79,0	82,0	0,1
Friabilita	%	79,0	86,0	0,1
Obsah β -glukanů ve sladině	mg.l ⁻¹	250	100	0,1

Pozn.: WK – jednotky Windisch-Kolbacha

Na celém světě je dnes vyráběn velice rozmanitý sortiment piv a mnoho z nich je odvozeno od piva označovaného jako české či plzeňské, které vzniklo na území dnešní České republiky již v 19. století. Tato piva se však ve skutečnosti od tohoto typu zásadně odlišují (Psota, Ehrenbergerová, 2008). Dne 16. října 2008 bylo nařízením komise (ES) č. 1014/2008 chráněné zeměpisné označení „České pivo“ zapsáno do Rejstříku chráněných označení původu a chráněných zeměpisných označení. Tento

system vznikl v roce 1992 a jeho smyslem je ochrana výrobků, které získaly regionální či mezinárodní ohlas, před napodobeninami (Psota, 2008).

Chuťový profil Českého piva je zaručen tím, že pro jeho výrobu nejméně 80 % celkového množství sladového šrotu tvoří slad ze schválených odrůd jarního dvouřadého ječmene, které doporučuje Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s. Jsou charakteristické nižší úrovní proteolytické a cytologické modifikace a mírou prokvašení způsobující přítomnost zbytkového extraktu. Na tomto základě byly stanoveny základní parametry pro odrůdy vhodné pro výrobu Českého piva (Tab. 2). České pivo je dále charakterizováno dekokčním jednormutovým až třířmutovým způsobem rmutování, chmelovarem a odděleným dvoufázovým kvašením (Psota, 2012). Hotové České pivo je pak typické silnou intenzitou hořkosti s dlouhým dozníváním hořké chuti, relativně nižším obsahem alkoholu, slabší intenzitou vůně, výbornou pěnovostí, řízem a plností (chlebnatostí) (Psota, Ehrenbergerová, 2008). Zejména tyto vlastnosti lze považovat za ideální z hlediska schopnosti piva pobízet k dalšímu napití (Kellner *et al.*, 2010).

Tab. 2 Požadované parametry odrůd ječmene vhodných pro výrobu Českého piva (Psota, 2013)

Parametr	Jednotka	Hodnota
Extrakt v sušině sladu	%	min. 80,0
Kolbachovo číslo	%	39,0 ± 3
Diastatická mohutnost	WK	min. 220
Dosažitelný stupeň prokvašení	%	max. 82
Friabilita	%	min. 75,0

Pozn.: WK – jednotky Windisch-Kolbacha

3.4 Složení ječmene

Obilka (zrno) ječmene je složena ze tří základních částí: pluchy – obalu (10 %), endospermu (85 %) a embrya (zárodku, 5 %) (Psota, Vejražka, 2006). Plně vyžralá obilka ječmene obsahuje 12–14 % vody. Nižší obsah vody negativně ovlivňuje technologickou jakost a naopak vyšší podíl vlhkosti způsobuje problémy při skladování (Zimolka, 2006). Zbýlých 88–86 % obilky tvoří sušina (Tab. 3). Sušinu tvoří organické dusíkaté a bezdusíkaté sloučeniny a anorganické látky (Kosař *et al.*, 2000).

Tab. 3 Chemické složení obilky ječmene (MacGregor, Fincher, 1993)

Složka	% v sušině
Sacharidy	
Škrob	60–65
(Amylóza 17 – 24 % škrobu)	
(Amylopektin 76 – 83 % škrobu)	
Nízkomolekulární sacharidy	
Sacharóza	1–2
Ostatní cukry	1
Rafinóza	0,3–0,5
Maltóza	0,1
Glukóza	0,1
Fruktóza	0,1
Neškrobnaté polysacharidy	
Hemicelulózy	
β-glukany	3,3–4,9
Pentosany (arabinoxylany)	9,0
Celulóza	4–7
Tuky	3,5
Fosfáty	
Fytin	0,9
Polyfenoly	0,1–0,6
Dusíkaté látky	7–18 (9,5–11,9)
Rozpustné dusíkaté látky	1,9
Albuminy a globuliny	3,5
Hordeiny (prolaminy)	3–4
Gluteliny	3–4
Minerální látky	2

3.5 Volné radikály

Volné radikály jsou molekuly, atomy nebo ionty, které obsahují ve valenční vrstvě elektronového obalu jeden nebo více nepárových elektronů a zároveň jsou schopny samostatné existence (Pláteník, 2009; Halliwell, 2011). Volné radikály mohou vznikat homolytickým štěpením kovalentní vazby, k čemuž je nutné dodání energie (např. ionizační záření, vysoká teplota), oxidací nebo redukcí. Volné radikály jsou velice reaktivní a nestabilní a mohou iniciovat další reakce. To je způsobeno jejich snahou o přechod do stabilní elektronové konfigurace přijetím nebo odevzdáním nepárového elektronu. Pokud radikál atakuje další molekulu a změní ji na jiný radikál, dochází tím k propagaci řetězové reakce. K terminaci (ukončení řetězové reakce) dochází při reakci

dvou volných radikálů nebo reakcí radikálu s antioxidantem (Halliwell, 1991; Vejražka, 2004; Ghibu *et al.*, 2012).

Volné radikály jsou součástí všech živých organismů. Jsou častými původci patofyziologických stavů, ale zároveň hrají i velmi důležitou roli v mnoha biologických procesech, včetně metabolických cyklů a imunitní reakci (Vikram *et al.*, 2009).

3.5.1 Reaktivní formy kyslíku

Tvorba reaktivních forem kyslíku (Reactive Oxygen Species, ROS) je nevyhnutelnou součástí každého aerobního metabolismu (Limón-Pacheco, Gonsebatt, 2009; Pláteník, 2009; El Assar *et al.*, 2013). ROS (Tab. 4) je souhrnný termín, který zahrnuje jak kyslíkové radikály, tak i další kyslíkaté látky, které sice neobsahují nepárový elektron, ale přesto mohou působit jako oxidanty (Halliwell, 1999; Vogiatzi *et al.*, 2009).

Tab. 4 Přehled reaktivních forem kyslíku (Darley-Usmar, Halliwell, 1996)

Radikály	Neradikály
Superoxidový anion (superoxid) $O_2^{\cdot-}$	Peroxid vodíku H_2O_2
Hydroxylový radikál OH^{\cdot}	Kyseliny chlorná $HClO$
Peroxylový radikál ROO^{\cdot}	Ozon O_3
Alkoxylový radikál RO^{\cdot}	Singletový kyslík 1O_2
Hydroperoxylový radikál HOO^{\cdot}	

3.5.1.1 Superoxidový anion

Superoxid ($O_2^{\cdot-}$) je v organismu běžně produkován během buněčného dýchání v mitochondriích, ale také působením několika enzymů (např. cytochromoxidasy (EC 1.9.3.1), xantinoxidasy (EC 1.17.3.2), lipoxygenasy (EC 1.13.11.12) (Cadenas, Davies, 2000). Může také vznikat působením gama záření, pulzního magnetického pole nebo vlivem mikrovln (Choe, Min, 2005). Je nezbytný pro správnou funkci fagocytů, kde vzniká působením NADPH-oxidasy (EC 1.6.3.1). Porucha tvorby superoxidu ve fagocytech se projevuje opakovanými závažnými infekcemi bakteriálního a mykotického původu, kdy i při léčbě antibiotiky je tento stav letální (Racek, Holeček, 1999). Superoxidový anion vzniká přijetím jednoho elektronu (redukci) molekulového kyslíku. Vykazuje oxidační i redukční vlastnosti a v porovnání s ostatními radikály je méně reaktivní, ale tvoří základ pro vznik reaktivnějších látek (peroxynitrit, peroxid vodíku). V organismu se spontánně dismutuje za vzniku peroxidu vodíku, kdy enzym superoxidodismutasa (EC 1.15.1.1) tuto reakci značně urychluje (Nordberg, Arnér, 2001;

Diaz-Urbe *et al.*, 2010). Superoxidové anionty jsou prekurzory aktivních volných radikálů, které mohou reagovat a biologickými makromolekulami a tím indukovat poškození tkáně (Ko *et al.*, 2009).

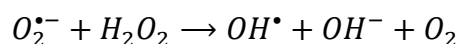
3.5.1.2 Hydroxylový radikál

Hydroxylový radikál (OH•) má ze všech volných radikálů nejvyšší redoxní vlastnosti a zároveň i nejkratší životnost. Díky tomu reaguje převážně v místě svého vzniku (Elia *et al.*, 2012). V organismu může vznikat působením ionizujícího záření, ale také Fentonovou nebo Haber-Weissovou reakcí z peroxidu vodíku, které jsou katalyzovány ionty přechodných kovů (M, nejčastěji Fe²⁺ nebo Cu⁺) (Halliwell, Gutteridge, 1992; Kocha *et al.*, 1997; Kehrer, 2000; Choe, Min, 2005; Halliwell, 2006).

Fentonova reakce:



Haber-Weissova reakce:



Hydroxylový radikál je schopen poškozovat živé buňky, jelikož vzhledem ke své vysoké reaktivitě může atakovat téměř všechny typy biologicky významných molekul (sacharidy, lipidy, proteiny a DNA), které jsou součástí důležitých buněčných komponent (Halliwell, Aruoma, 1991; Benzie, 2000; Méndez-Álvarez *et al.*, 2001).

3.5.1.3 Peroxylový radikál

Peroxylový radikál (ROO•) se běžně vyskytuje v biologických systémech a potravinách. Má škodlivé účinky na lidské zdraví a bývá také spojován se zhoršováním kvality potravin (Magalhães *et al.*, 2008). Je produkován v průběhu oxidace mastných kyselin reakcí kyslíku s alkylovým radikálem (R•). Peroxylový radikál odebírá atom vodíku ostatním molekulám a vzniká tak hydroperoxid (ROOH), který je při pokojové teplotě většinou stabilní. Zvýšená teplota, UV záření nebo působení přechodných kovů urychlují rozklad vzniklého hydroperoxidu za produkce alkoxylového (RO•) nebo peroxylového radikálu (Choe, Min, 2005). V buňkách savců se tato série peroxidačních reakcí lipidů souhrnně nazývá řetězová propagace. Vznikají během ní produkty schopné způsobovat výrazně vyšší poškození než látky, které do reakcí vstupují (Fang *et al.*,

2002). Peroxylové radikály se také podílejí na poškozování DNA, proteinů a působí synergicky při poškození DNA superoxidem (Valko *et al.*, 2006).

3.5.1.4 Hydroperoxylový radikál

Hydroperoxylový radikál (HOO[•]) je protonovaná forma superoxidového radikálu, která vzniká při reakci peroxidu vodíku (H₂O₂) a hydroxylového radikálu. Může také vznikat reakcí molekulárního kyslíku a atomu vodíku, který je produkován z molekuly vody působením pulsního elektrického pole (Choe, Min, 2005). Ve srovnání se superoxidovým anionem je hydroxylový radikál mnohem silnější oxidační a redoxní činidlo, je lépe rozpustný v tucích a dosahuje také rychlejší dismutace na peroxid vodíku (Reiter, 1998). Řadí se mezi radikály, které mohou způsobovat řetězové reakce (Niki, 2010).

3.5.1.5 Peroxid vodíku

Peroxid vodíku (H₂O₂) vzniká v organismu během aerobního metabolismu, ale také působením mnoha enzymů (např. xanthinoxidasy (EC 1.17.3.2), monoaminaoxidasy (EC 1.4.3.4). Dalším zdrojem je spontánní (Richter *et al.*, 1995), případně enzymaticky katalyzovaná dismutace superoxidových aniontů (Cadenas, Davies, 2000; Choe, Min, 2005). Peroxid vodíku je malá nepolární molekula s delším poločasem rozpadu, která může difundovat přes buněčnou membránu a plnit tak signální funkci. Vůči většině biomolekul je inertní, přesto je schopen indukovat reverzibilní modifikace proteinů a dočasně tak měnit jejich vlastnosti (Bienert, Chaumont, 2014; Bretón-Romero, Lamas, 2014). Je-li přítomen v nadbytku, může být pro buňky škodlivý (Sroka, Cisowski, 2003). V přítomnosti přechodných kovů probíhá Fentonova reakce, kdy z peroxidu vodíku vzniká mnohem reaktivnější hydroxylový radikál (Chen, Yen, 2007; Imlay, 2008). Peroxid vodíku je proto v organismu odbouráván katalasou (EC 1.11.1.6) a glutathionperoxidasou (EC 1.11.1.9) (Valko *et al.*, 2006). Je prekurzorem mnoha patologických dějů, proto je jeho množství v organismu sledováno lékaři za účelem včasné diagnózy (Botero-Cadavid *et al.*, 2014).

3.5.1.6 Singletový kyslík

Singletový kyslík (¹O₂) může vznikat excitací běžného atmosférického kyslíku (O₂), který se vyskytuje v tripletovém stavu (³O₂) (Šivel *et al.*, 2013). Tripletový kyslík obsahuje dva nepárové elektrony s paralelním spinem, a proto je poměrně málo

reaktivní (Piterková *et al.*, 2005). Dodáním energie dojde ke změně spinu elektronů nebo orbitalové pozice a vzniká tak reaktivnější kyslík singletový. Existují dva singletové stavy kyslíku. Sigma-singletový kyslík ($^1\Sigma\text{O}_2$) má dva nepárové elektrony s opačným spinem, každý v jiném orbitalu. Je velmi nestálý, snadno se rozkládá nebo přechází na druhý singletový stav. Delta-singletový kyslík ($^1\Delta\text{O}_2$) má elektrony umístěny v jednom orbitalu. Z tohoto důvodu není klasifikován jako volný radikál, ale přesto vykazuje silné oxidační vlastnosti a je schopný reagovat s řadou molekul, které jsou s tripletovým kyslíkem nereaktivní (Halliwell *et al.*, 1995). Singletový kyslík může být v organismu produkován pigmenty při působení světelného záření (Lang *et al.*, 2006; Chiarelli-Neto *et al.*, 2011), činností enzymů a reakcí ozonu (O_3) s biologickými molekulami. Vzniká také při reakcích peroxidu vodíku s peroxynitrem (ONOO^-) nebo s kyselinou chlornou (HClO) (Gracanin *et al.*, 2009). Vzhledem ke své reaktivitě je schopen poškozovat proteiny DNA a lipidy (Kim *et al.*, 2008; Buonocore *et al.*, 2010). V organismu je singletový kyslík neutralizován například antioxidanty, vitamínem E nebo karotenoidy (Piterková *et al.*, 2005).

3.5.2 Reaktivní formy dusíku

Reaktivní formy dusíku (Reactive Nitrogen Species, RNS; Tab. 5) je další souhrnný termín pro organismus důležitých látek. Zahrnuje jak dusíkaté radikály, tak i další sloučeniny dusíku, které sice neobsahují nepárový elektron, ale přesto mohou působit oxidačně (Ruttkey-Nedecky *et al.*, 2013). V biologických systémech je primárním zdrojem RNS oxid dusnatý a většina reaktivních forem dusíku je od něj odvozena (Patel *et al.*, 1999).

Tab. 5 Přehled reaktivních forem dusíku (Darley-Usmar, Halliwell, 1996)

Radikály	Neradikály
Oxid dusnatý NO^\bullet	Nitrosioniový kation NO^+
Oxid dusičitý NO_2^\bullet	Nitroxyllový anion NO^-
	Kyselina dusitá HNO_2
	Oxid dusitý N_2O_3
	Oxid dusičitý N_2O_4
	Nitronium NO_2^+
	Peroxodusitan ONOO^-
	Alkylperoxodusitan ROONO^-

3.5.2.1 Oxid dusnatý

Oxid dusnatý (NO) je biologicky aktivní, potenciálně toxický plyn, který může díky svému vysoce lipofilnímu charakteru difundovat přes buněčné membrány bez pomoci specifických membránových transportérů (Procházková, Wilhelmová, 2011). V organismu je syntetizován z aminokyseliny L-argininu pomocí enzymu NO-syntasy (EC 1.14.13.39) (Everett *et al.*, 1998; Pourova *et al.*, 2010). V roce 1992 byl oxid dusnatý vyhlášen časopisem Science molekulou roku. Je relativně stabilní radikál s 15elektrony (bývá také označován NO[•]). Ztrátou jednoho elektronu z jeho molekuly vzniká nitrosoniový kation (NO⁺), přidáním elektronu vzniká nitroxylový anion (NO⁻) (Kupková, Beneš, 2004). Oxid dusnatý plní v nízkých koncentracích mnoho nepostradatelných funkcí organismu. Působí jako signální molekula, podílí se na udržování krevního tlaku, relaxuje hladké svalstvo, prostřednictvím vazodilatace způsobuje erekci, inhibuje apoptózu, zasahuje do procesu fagocytózy a zánětu (Kupková, Beneš, 2004; Valko *et al.*, 2007). Při vyšší koncentraci ale může iniciovat peroxidaci lipidů, oxidaci DNA a proteinů, a proto je oxid dusnatý používán jako indikátor oxidačního stresu buněk a tkání (Baskol *et al.*, 2012). Jeho obsah v organismu je regulován pomocí oxyhemoglobinu, se kterým oxid dusný reaguje za vzniku stabilního dusičnanu (NO₃) (Wu *et al.*, 1999).

3.5.2.2 Oxid dusičitý

Oxid dusičitý (NO₂[•]) je jedovatý plyn, který ve vyšších dávkách způsobuje poškození epiteliálních buněk dýchacích cest. S nenasycenými mastnými kyselinami reaguje jako oxidační činidlo za vzniku kyseliny dusité (HNO₂), která může být zdrojem karcinogenních nitrosaminů. Vzniká reakcí oxidu dusnatého s kyslíkem (Kupková, Beneš, 2004; Bellavia *et al.*, 2013).

3.5.2.3 Peroxodusitan

Peroxodusitan (peroxonitrit, ONOO⁻) je vysoce reaktivní a cytotoxický metabolit, který vzniká převážně při patofyziologických stavech reakcí oxidu dusnatého a superoxidového anionu. Může reagovat s thiolovými skupinami proteinů, polynenasycenými mastnými kyselinami buněčných membrán nebo s DNA a způsobovat tak vážná poškození buněčných struktur (Kamat, 2006; Procházková, Wilhelmová, 2011; Ramalingam, Kim, 2012).

3.5.3 Působení reaktivních forem kyslíku a dusíku

Všechny živé organismy jsou reaktivními formami kyslíku a dusíku (RONS) neustále obkloповány. Organismy je přijímají i produkují, a z tohoto důvodu se u nich vyvinul ochranný antioxidační mechanismus, který jim pomáhá udržovat RONS v bezpečné koncentraci a napravovat vzniklá poškození biomolekul. Oxidační stres organismu je definován jako stav, kdy jsou RONS v nadbytku vůči antioxidační ochraně a může tak docházet k jeho poškození. K tomuto stavu dochází při zvýšené produkci RONS nebo při nízké koncentraci antioxidantů v organismu (Sies, 1993; Jensen, 2003; Serafini *et al.*, 2006; Mena *et al.*, 2009; Holeček, 2010; Takashima *et al.*, 2012). Vlivem oxidačního stresu může docházet k poškození DNA, proteinů a lipidů, které vede často ke změně jejich biologické funkce. RONS se tak významným způsobem podílejí na patogenezi např. aterosklerózy, hypertenze, diabetu, některých typů rakoviny nebo Alzheimerovy a Parkinsonovy choroby (Holeček, 2006; Rahman, 2007; Paravicini, Touyz, 2008; Roberts *et al.*, 2010; Salmon *et al.*, 2010; Manjusha Ashitha *et al.*, 2013).

RONS sice mohou živé buňky poškozovat, ale v organismu mají také celou řadu pozitivních funkcí. Jsou nepostradatelné pro imunitní systém, kde jsou fagocyty využívány k hubení patogenů a pro buněčné dýchání (Torreilles *et al.*, 1999). Působí také v nervovém systému, kde plní funkci přenašečů signálů, regulují tvorbu synapsí a působení neurotransmiterů a tím ovlivňují proces učení a dlouhodobou paměť (Beckman, Koppenol, 1996; Kupková, Beneš, 2004). Pozitivně se také projevují při přestavbě kostní tkáně (Rokyta *et al.*, 2006). Působení RONS je také nezbytné pro ovulaci a oplodnění vajíčka spermií (Racek, Holeček, 1999; Ruder *et al.*, 2008).

Vysoké koncentrace RONS mají nepříznivý dopad na živé buňky (způsobují stárnutí a patogenezi celé řady onemocnění). Jejich nízký obsah je naopak nepostradatelný pro průběh redoxní signalizace a přežití buněk (Pourova *et al.*, 2010). Organismus může také na oxidační stres reagovat zvýšením produkce endogenních antioxidantů. To někteří autoři považují za vhodnější způsob ochrany organismu před volnými radikály, než je konzumace velkých dávek syntetických antioxidantů (Fahey, Kensler, 2007; Halliwell, 2008; Halliwell, 2012; Yan, 2014).

3.6 Látky s antioxidačním účinkem

Antioxidanty mohou být definovány jako látky, které pokud jsou přítomny v nižší koncentraci než oxidovatelný substrát, významně zabraňují nebo omezují oxidaci

substrátu (Kolečkář *et al.*, 2012). Pojem oxidovatelný substrát zahrnuje téměř vše, co je obsaženo v živých tkáních a v potravinách (sacharidy, lipidy, proteiny a DNA) (Halliwell *et al.*, 1995; Hollman *et al.*, 2011). Jako antioxidanty mohou být také označeny všechny látky, které při pH 7 vykazují nižší redoxní potenciál než +0,816 mV (Lachman *et al.*, 2008). Antioxidanty mohou být podle způsobu inhibice oxidačních procesů děleny na dvě základní skupiny. Primární antioxidanty jsou látky, které s volnými radikály reagují za vzniku stabilních molekul. O sekundárních antioxidantech hovoříme v případě, když s volnými radikály nereagují přímo, ale různými mechanismy zabraňují jejich vzniku (Gordon, 2001). Antioxidanty zahrnují širokou škálu látek, které se liší chemickou strukturou, původem i jejich působením. Antioxidanty mohou být dále děleny například podle: rozpustnosti ve vodě (hydrofilní, amfofilní, lipofilní), původu (přírodní, syntetické), vstupu do organismu (endogenní, exogenní), velikosti (vysokomolekulární, nízkomolekulární), struktury (fenolové, endioly, jiné), místa působení (intracelulární, extracelulární), mechanismu účinku (katalyzátory, chelatační látky, inhibitory enzymů), typu radikálu se kterým působí (superoxid, hydroxylový radikál, oxid dusnatý) (Velíšek, 2002; Pokorný, 2007).

3.6.1 Vlastnosti antioxidantů

Antioxidanty obsažené v potravinách prodlužují jejich údržnost, jelikož je chrání před znehodnocením oxidací. Typickým projevem oxidace v potravinách je žluknutí přítomných tuků a dalších náchylných složek (např. vonných látek) (Kähkönen *et al.*, 1999; Pulido *et al.*, 2000; Roginsky, Lissi, 2005; Niki *et al.*, 2008). Oxidace lipidů vyvolává další chemické změny v potravinách, které negativně ovlivňují jejich výživovou, hygienicko-technologickou a sensorickou hodnotu (Velíšek, 2002). Z tohoto důvodu nebo za účelem zvýšení nutriční hodnoty, může být obsah antioxidantů ve vybraných potravinách navýšen nad jejich přirozenou hladinu přidávkem dalších antioxidantů (Žanetić *et al.*, 2013). Použity mohou být jak antioxidační látky přírodní, tak i syntetické (butylhydroxyanisol, BHA; butylhydroxytoluen, BHT a propylgallát, PG), které jsou levnější a účinnější, ale vzhledem k možným negativním účinkům na lidské zdraví je jejich použití v některých zemích legislativně omezeno (Gray *et al.*, 2000; Sasaki *et al.*, 2002; Dudonné *et al.*, 2009; Tiveron *et al.*, 2012).

Ve zdravém organismu existuje několik mechanismů, díky kterým lze čelit oxidačnímu poškození. Za pomoci enzymů je možno opravit, v případě většího

poškození i odstranit a nahradit, poškozené části DNA, lipidů a proteinů. Enzymaticky jsou například redukovány oxidované disulfidické vazby proteinů (Grune *et al.*, 1997). Ochranu lidského organismu před působením oxidačního stresu tvoří nejen antioxidanty syntetizované v těle, ale i látky s antioxidačním účinkem přijímané v potravě (Benzie, 2003). Antioxidační vlastnosti vykazuje celá škála rostlinných materiálů. Primárními zdroji dietárně přijímaných antioxidantů jsou pro člověka především obiloviny, ovoce a zelenina (Wang *et al.*, 2012). Dalšími zdroji přírodních antioxidantů jsou také brambory (Lachman *et al.*, 2009) a různé druhy bylin a koření, jako například šalvěj, rozmarýn, oregano, hřebíček nebo tymián (Aberoumand, Deokule, 2010). Četnými studiemi bylo prokázáno, že vyšší příjem potravy bohaté na přírodní antioxidanty vede ke snížení výskytu některých typů rakoviny a dalších civilizačních onemocnění (Vinson *et al.*, 1998; Tapiero *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2007; Terashima *et al.*, 2007; Gazdik *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2013). Z tohoto důvodu byly provedeny rozsáhlé a opakované intervenční studie, které přinesly nejednoznačné a spíše negativní výsledky (Bjelakovic, Glud, 2007). Ty jsou nejspíše značně ovlivněny výchozím nutričním stavem účastníků studií. Prokázalo se však, že dietní suplementace antioxidanty je jednoznačně prospěšná jen v případech předchozího deficitu, jinak je buď neúčinná, anebo dokonce škodlivá (Hlúbik *et al.*, 2006). Například kuřáci by měli být výslovně varováni před potravními doplňky obsahujícími β -karoten, jelikož u nich zvyšují riziko rozvoje rakoviny plic (Pláteník, 2009). Neprůkazný protektivní účinek může být částečně vysvětlen také tím, že na celkové antioxidační ochraně člověka se vitamin C podílí pouze devíti a vitamin E třemi procenty (Holeček, 2006). Je také známo, že některé antioxidanty mohou při vysokých koncentracích působit prooxidačně a zvyšovat tím oxidační stres organismu (Halliwell, 2009; Kristinová *et al.*, 2009).

Působení antioxidantů v biologickém systému neprobíhá izolovaně od ostatních antioxidantů, ale je součástí série vzájemně propojených redoxních cyklů, které se nazývají antioxidační síť (Packer *et al.*, 2001). Kyselina askorbová například redukuje oxidované formy flavonoidů zpět na redukované a sama se přitom oxiduje na kyselinu dehydroaskorbovou. U mnohých antioxidantů se dále projevuje tzv. synergický efekt, kdy v přírodních zdrojích obsažené různé antioxidanty navzájem svůj antioxidační účinek zvyšují a podporují (Lachman *et al.*, 2005; 2008). Hall (2001) uvádí, že působení antioxidantů, je do značné míry ovlivňováno také pH a teplotou prostředí.

3.7 Antioxidanty obsažené v ječmeni

Obilka ječmene je kromě obsahu nutričně důležitých látek, ceněna i jako zdroj mnoha látek s antioxidačními vlastnostmi, které má díky obsahu polyfenolových látek, vitaminů a enzymů. Tyto látky jsou přijímány spolu s potravou, ale přecházejí také do sladu a následně do piva, kde kromě nutriční úlohy hrají důležitou roli v řadě technologických procesů při jeho výrobě (Lachman *et al.*, 2008; Psota, Ehrenbergerová, 2008).

3.7.1 Polyfenolové látky

Polyfenoly jsou rozsáhlou skupinou sekundárních metabolitů rostlin s širokým spektrem biologických aktivit (Liu *et al.*, 2008; Marinova *et al.*, 2013). Jsou produkovány během běžného vývoje rostlin, ale i při reakci na stresové podmínky. Tyto látky působí v rostlinách jako ochrana před UV zářením, ale také jako fytoalexiny, antifeedanty (protipožerové látky), atraktanty pro opylovače, pigmenty a antioxidanty (Ondrejovič *et al.*, 2009). Rostlinné polyfenoly jsou nejrozšířenějšími sloučeninami s redukčními účinky v lidské stravě. Hlavními zdroji jsou především ovoce a nápoje (víno, káva, čaj, pivo, čokoláda a ovocné džusy) (Nardini *et al.*, 2006; Apak *et al.*, 2007). Jejich příjem byl odhadnut na 1 g denně a je tedy výrazně vyšší, než je příjem antioxidačních vitaminů, jako jsou tokoferoly, karoteny nebo kyselina askorbová (Scalbert, Williamson, 2000). Polyfenoly také často vykazují větší antioxidační účinky než vitaminy nebo endogenní antioxidanty, jako je např. kyselina močová (Slanina, Táborská, 2004). Antioxidační vlastnosti polyfenolových látek závisí na počtu hydroxylových skupin (Cao *et al.*, 1997; Hofta *et al.*, 2004), ale také na jejich poloze a chemické struktuře (Rice-Evans *et al.*, 1996; Son, Lewis, 2002; Réblová, 2011).

Spektrum jejich vlastností, které se týkají pivovarské technologie a zejména vlastností hotového produktu, je velmi široké (Karabín *et al.*, 2013). Mezi jejich nejdůležitější chemické vlastnosti patří schopnost reagovat s proteiny za tvorby výšemolekulárních komplexů a dále jejich antioxidační aktivita (Dvořáková *et al.*, 2006). Polyfenoly jsou látky, které významně ovlivňují senzoricou i koloidní stabilitu piva pozitivně i negativně. Pojmem koloidní stabilita se v pivovarské technologii rozumí rovnováha mezi zákalotvornými bílkovinami a polyfenoly. Ty mají schopnost společně tvořit komplexy, které se z piva vylučují ve formě jemného zákalu (Dienstbier *et al.*, 2010; Kotlíková *et al.*, 2013a). Koloidní stabilita je také ovlivňována koncentrací

kyslíku, polysacharidů a některých kovů, přičemž důležitou roli hraje i nedostatečné ošetření piva nebo jeho špatné skladování (vyšší teplota, světlo, pohyby piva). Koloidní zákaly se dělí na dvě základní skupiny: chladové a trvalé. V pivu se ale mohou vyskytovat také zákaly kovové, vznikající při vyšší koncentraci kovových iontů v pivu, nebo zákaly polysacharidové, které vznikají neúplnou hydrolýzou škrobu (Dostálek *et al.*, 2011).

Dalším problémem pivovarské technologie, ve které hrají polyfenolové látky důležitou roli, je senzorická stabilita piva, která přímo souvisí s oxidačně-redukčními procesy probíhajícími v pivu po naplnění do konzumních obalů. Působením světla, tepla, kovových iontů, mechanického pohybu a dalších faktorů jsou iniciovány reakce, které vedou ke tvorbě volných radikálů způsobujících autooxidaci polynenasycených lipidických složek extraktu piva. To má za následek tvorbu těkavých karbonylových sloučenin odpovědných za nepříznivé chuťové změny (Čepička, Karabín, 2002). Karbonylové sloučeniny patří v pivovarství mezi intenzivně sledované látky, jelikož u většiny z nich je nízká prahová koncentrace vnímání (Karabín *et al.*, 2007). Karbonylové látky staré chuti vznikají také při radikálových reakcích působením reaktivních forem kyslíku na aminokyseliny, vyšší alkoholy a sacharidy (Mikyška *et al.*, 2010a). Antioxidanty mohou působit jako „lapače“ volných radikálů, jako inhibitory aktivity lipoxygenas a také jako maskovací činidlo v důsledku tvorby chelátů s kovovými ionty a bránit tak rozvoji procesů stárnutí chuti piva (Baert *et al.*, 2012; He *et al.*, 2012).

Některé polyfenoly (např. prodelfinidin) ale mohou při určitých koncentracích působit v mechanismu senzorického stárnutí působit jako prooxidanty. Bylo zjištěno, že antioxidační účinnost sladu je závislá na odrůdě ječmene a zvolené technologii sladování (Čepička, Karabín, 2002). Jednoduché polyfenoly svým antioxidačním působením oddalují tvorbu tzv. staré chuti piva a vznik koloidního zákalu, ovšem tím se samy oxidují, což usnadňuje jejich polymeraci a zvyšuje se tak jejich zákalotvorná aktivita (Kotlíková *et al.*, 2013a). Pivo by mělo být po celou dobu své garantované trvanlivosti čiré, jiskrné, pěnivé, řízné a mělo by mít odpovídající chuť i vůni. Většina zákazníků považuje viditelnou sedlinu v pivu za vadu, která představuje pro výrobce velký problém (Kotlíková *et al.*, 2013b). Pro dosažení dobré koloidní stability je nezbytné používat kvalitní vstupní suroviny, ověřený technologický postup a po stočení do obalů pivo skladovat ve vhodných podmínkách. Kromě dodržování těchto

základních zásad se v pivovarech běžně používá tzv. stabilizace, která spočívá v eliminaci jednoho či obou hlavních prekurzorů vzniku zákalu (polyfenoly, bílkoviny). Stabilizace se nejčastěji provádí během konečných úprav piva (při filtraci) a v současné době se nejvíce využívají dva prostředky fungující na principu adsorpce. Stabilizace pomocí silikagelů, které reagují s proteiny obsaženými v pivu a stabilizace pomocí polyvinylpolypyrrolidonu (PVPP), který reaguje se zákalotvornými polyfenoly. Pro dosažení vysoké trvanlivosti piva je ideální jejich kombinované použití (Kotlíková *et al.*, 2014).

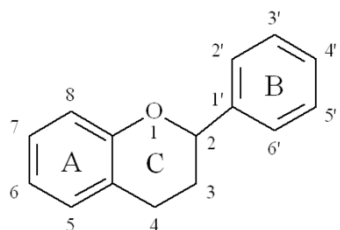
Kromě chemicko-fyzikální stability, odolnosti proti oxidaci a stárnutí piva, se polyfenoly podílejí také na formování pěny. Některé z těchto látek mají navíc silné antioxidační, antikarcinogenní, protimikrobiální, protitrombózní a další vlastnosti, které působí pozitivně na lidské zdraví. Z celkového množství polyfenolů obsažených v mladině jich 70 až 80 % pochází z ječmene, respektive ze sladu a zbylých 20 až 30 % z chmele (Hořta *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2006; Gorjanović *et al.*, 2010; Jurková *et al.*, 2012). Polyfenolové látky také přispívají k plnosti chuti piva a podporují vlastnost piva zvanou pitelnost (Basařová, 2010).

Polyfenolové látky jsou základními stavebními kameny buněčných struktur obilky ječmene, kde se vyskytují ve volné i vázané formě (Bonoli *et al.*, 2004). Bylo prokázáno, že vedle genetické dispozice ječmene je obsah a složení polyfenolů, které přecházejí do sladiny během rmutování, významně ovlivněn půdně klimatickými podmínkami v průběhu vegetace a fyziologickým stavem obilky ječmene při sladování. Obilka ječmene obsahuje 100 až 400 mg.kg⁻¹ polyfenolů. Nacházejí se zejména v obalových částech obilky, kde jsou vázány v buněčných stěnách s proteiny a sacharidy. Část polyfenolových látek sladiny je v průběhu chmelovaru, kvašení a zrání piva z roztoku vyloučena, další část je odstraněna koloidní stabilizací piva sorbenty polyfenolů. České pivo musí obsahovat 130 až 230 mg.l⁻¹ celkových polyfenolů, které se dělí na dvě velké skupiny, flavonoidy a fenolové kyseliny (Mikyška *et al.*, 2011).

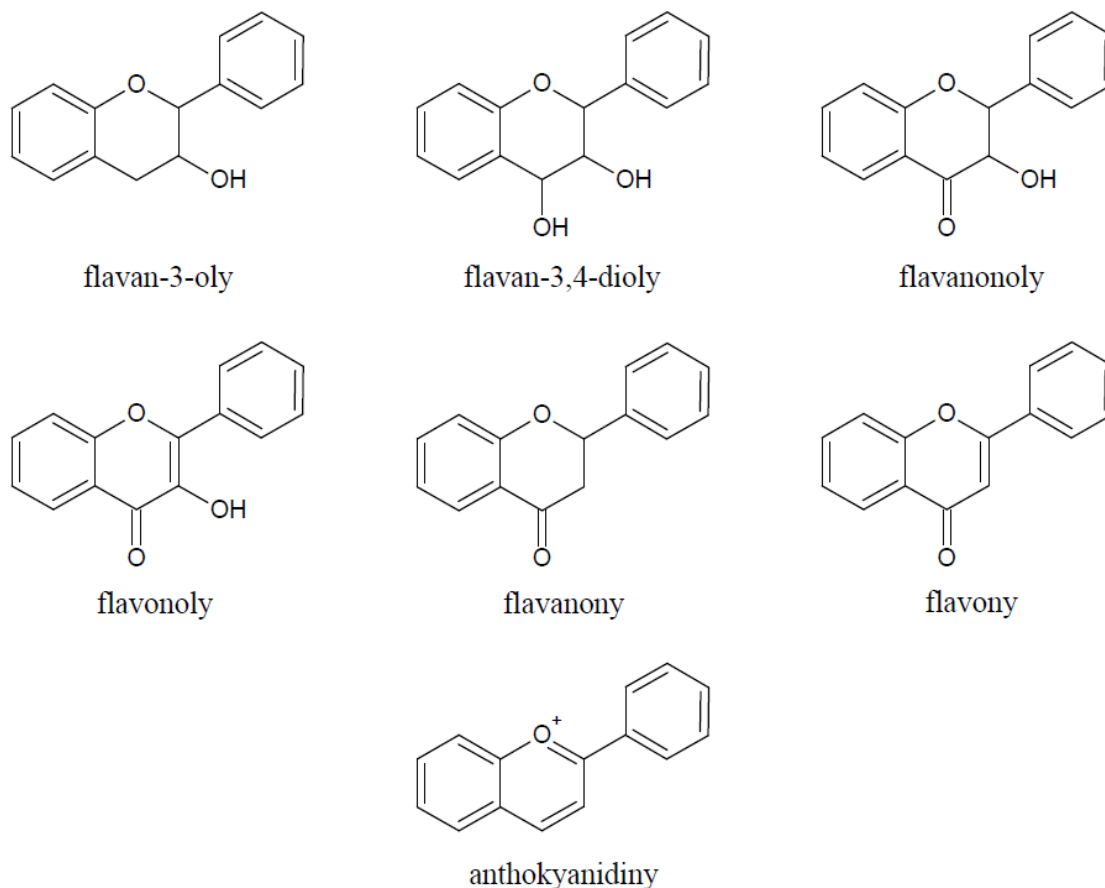
3.7.1.1 Flavonoidy

Flavonoidy představují rozsáhlou skupinu polyfenolů. V dnešní době je známo asi 10 000 různých druhů (Cheng *et al.*, 2014) a jsou také nejvíce zastoupenou skupinou polyfenolových složek piva (Čepička, Karabín, 2002). Základní strukturu flavonoidů tvoří heterocyklický flavan, který se skládá z 15 atomů uhlíku uspořádaných do tří kruhů

(C6-C3-C6), označovaných písmeny A, B a C (Obr. 2). Podle úrovně oxidace a způsobu substituce na kruhu C, se rozlišují různé třídy flavonoidů, přičemž jednotlivé sloučeniny v rámci jedné skupiny se liší ve struktuře substituce kruhů A nebo B (Pietta, 2000; Ignat *et al.*, 2011; Ahmed, Shakeel, 2012). Flavonoidy se rozdělují do sedmi základních skupin (Obr. 3): flavan-3-oly (katechiny), flavan-3,4-dioly (leukoanthokyanidiny), anthokyanidiny, flavanony, flavanonoly, flavony a flavonoly (Kotlíková *et al.*, 2013a).



Obr. 2 Chemická struktura flavanu (Thilakarathna, Rupasinghe, 2013)



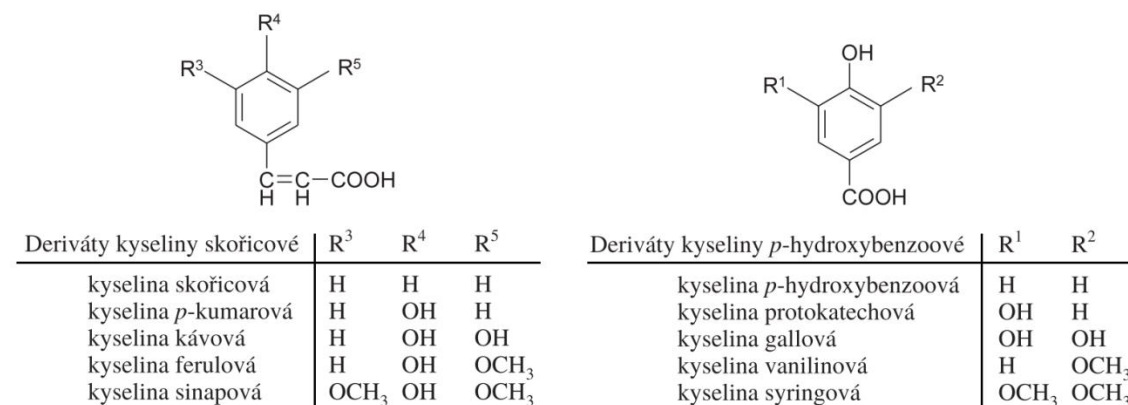
Obr. 3 Chemická struktura základních flavonoidů (Kotlíková *et al.*, 2013a)

Hlavní třídu polyfenolů ječné obilky představují flavan-3-oly (katechiny), které se vyskytují jako monomery (např. katechin, epikatechin, gallokatechin, epigallokatechin), ze kterých se skládají oligomery a polymery známé jako

proanthokyanidiny a kondenzované taniny (Thilakarathna, Rupasinghe, 2013). V dimerní formě se převážně vyskytují prodelfinidin B3 a prokyanidin B3 (McMurrough *et al.*, 1996; Dvořáková *et al.*, 2007). Hlavními trimery jsou prokyanidin C2, proanthokyanidin T4 a trimerní proanthokyanidiny T1, T2 a T3. Obsah všech monomerních, dimerních a trimerních flavan-3-olů činí z celkového obsahu polyfenolů 58 až 68 %, přičemž nejvyšší zastoupení mají trimerní flavan-3-oly (Goupy *et al.*, 1999). Ve sladu je přítomen z flavan-3-olů katechin v množství 25 až 75 mg.kg⁻¹, prodelfinidin B3 186 až 372 mg.kg⁻¹ a prokyanidin 130 až 276 mg.kg⁻¹. Předpokládá se, že proanthokyanidiny hrají hlavní roli v tvorbě nebiologických zákalů piva (Dvořáková *et al.*, 2010).

3.7.1.2 Fenolové kyseliny

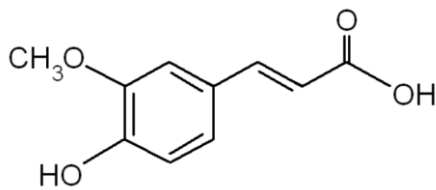
Fenolové kyseliny jsou děleny na skupinu derivátů kyseliny skořicové a deriváty kyseliny *p*-hydroxybenzoové (Obr. 4) (Mikyška *et al.*, 2011). Vyskytují se především ve vázané formě a jejich obsah je v různých částech obilky odlišný. Nejvíce jich je obsaženo ve vnějších vrstvách (oplodí, aleuronová vrstva, klíček) a nejméně v endospermu (Maillard, Berset, 1995; Holtekjølen *et al.*, 2006). Mají antioxidační vlastnosti, které nespočívají jen v jejich schopnosti darovat vodíkový atom nebo elektrony, ale i tvorbou stabilních radikálových meziproductů, které zabraňují oxidaci různých složek potravy, především mastných kyselin a olejů (Dvořáková *et al.*, 2008b).



Obr. 4 Chemická struktura a deriváty kyseliny skořicové a kyseliny *p*-hydroxybenzoové (Čepička, Karabín, 2002; Marova *et al.*, 2011)

Mezi hlavní nízkomolekulární fenolové kyseliny obsažené v zrně ječmene se řadí kyselina ferulová (4-hydroxy-3-methoxyskořicová; Obr. 5), která je derivátem

kyseliny skořicové a vzhledem ke svým antioxidačním vlastnostem se podílí na zachování stability a kvalitativních znaků piva (Běláková *et al.*, 2010). V obilkách ječmene se kyselina ferulová vyskytuje převážně estericky vázána na organické kyseliny nebo jako složka glykosidů. Váže se také na hemicelulózy, pektin, suberin, lignin a bílkoviny (Ehrenbergerová *et al.*, 2012). Společně s proteiny tvoří spojovací můstky mezi lamelami neškrobových polysacharidů, arabinoxylanů a β -glukanů v buněčné stěně ječné obilky. Enzymatické štěpení těchto spojovacích můstků má zásadní význam při klíčení, kdy společně s působením enzymového komplexu degradace β -glukanů a arabinoxylanů (pentosanů) ovlivňují extrakt sladu, obsah rozpustných arabinoxylanů, β -glukanů a proteinů ve sladině (Mikyška *et al.*, 2010b). Kyselina ferulová je uvolňována během sladování působením v ječmeni přítomných esterasy (EC 3.1.1) a dále během rmutování, kdy je rozhodující zvolený postup vystírání při výrobě sladiny. Esterasy ferulové kyseliny mají teplotní optimum 30 °C, a proto je obsah volné kyseliny ferulové výrazně vyšší ve sladinách vyrobených postupy s vystírkou při teplotách 30 až 50 °C než u postupů s vystírkou při teplotě 60 °C, kde je ve sladině přítomna prakticky jen kyselina ferulová uvolněná během sladování. Negativní působení kyseliny ferulové spočívá v dekarboxylaci její volné formy za vzniku 4-vinylguajakolu, který je sensoricky aktivní a spolu s dalšími těkavými fenoly způsobuje „fenolovou“ cizí vůni a chuť v pivu. Prahová hodnota sensorického vjemu 4-vinylguajakolu je 0,3 mg.l⁻¹. Vzniká z kyseliny ferulové termickou dekarboxylací, která probíhá v roztoku během výroby sladiny a mladiny při teplotách nad 90 °C. Druhou možností vzniku 4-vinylguajakolu z kyseliny ferulové je její enzymová dekarboxylace při kvašení a zrání piva působením divokých kvasinek, některých kmenů svrchního kvašení a mléčných bakterií kontaminující pivovarské provozy (Vanbeneden *et al.*, 2007; Mikyška *et al.*, 2010b). Nicméně u pšeničných piv je přítomnost této látky žádoucí (Dvořáková *et al.*, 2010). Obsah kyseliny ferulové v obilkách ječmene závisí na odrůdě, meteorologických podmínkách a roku pěstování (Ehrenbergerová *et al.*, 2012). Andersson *et al.* (2008) uvádějí celkový obsah kyseliny ferulové v zrna deseti odrůd ječmene jarního v rozmezí 254 až 675 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny, naproti tomu Běláková *et al.* (2010) zjistili analýzou 21 odrůd ječmene, pocházejících ze čtyř rozdílných lokalit, obsah kyseliny ferulové v rozmezí 639 až 1555,8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dvořáková *et al.* (2010) po analýze deseti odrůd ječmene a jejich odpovídajících sladů, uvádějí obsah volné kyseliny ferulové 12,5 až 21,9 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny zrna a 7,8 až 56,1 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny sladu.



Obr. 5 Chemická struktura kyseliny ferulové (Son, Lewis, 2002)

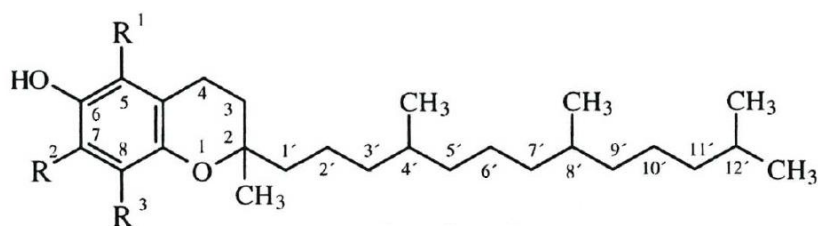
3.7.2 Vitaminy

Vitaminy jsou organické sloučeniny, které jsou v malých množstvích nezbytné pro udržení biochemických a fyziologických funkcí organismu savců, kteří je nedokáží sami syntetizovat a musí je tak přijímat v potravě. Vitaminy jsou děleny na základě jejich rozpustnosti v tucích nebo vodě. V tucích jsou rozpustné vitaminy A, D, E a K; ve vodě rozpustné jsou: thiamin (B1), riboflavin (B2), niacin (B3, vitamin PP, kyselina nikotinová), kyselina pantothenová (B5), pyridoxin (B6), biotin (B7, vitamin H), kyselina listová (B9, folacin), kobalamin (B12), kyselina askorbová (vitamin C), cholin a myoinositol. Kromě vitaminu C a myoinositolu, jsou ve vodě rozpustné vitaminy označovány jako B-komplex. Uváděné hodnoty obsahu vitaminů v obilkách ječmene se u různých autorů často široce rozcházejí. Rozdíly mohou být skutečné (použití různého výchozího materiálu), ale také mohou být způsobeny odlišnými analytickými postupy a metodami (Newman, Newman, 2008). Obsah vitaminů B2, B5 a B6 v zrně ječmene se zvyšuje během procesu sladování. Některé vitaminy jsou vzhledem ke své termolabilitě zničeny během hvozdění a část vitaminů, přítomná ve sladu ve vázané formě, je uvolněna působením enzymů během rmutování (Buiatti, 2009). Zrno ječmene a slad jsou bohatým zdrojem vitaminů, které jsou lokalizovány především v klíčku a aleuronové vrstvě (Wunderlich, Back, 2009). Mnohé z nich tvoří součást aktivních skupin různých enzymů, a ovlivňují tak enzymatickou aktivitu klíčícího zrna. V ječmeni jsou přítomny vitaminy skupiny B, vitamin E, C a provitamin A (karotenoidy) (Kosař *et al.*, 2000). Newman, Newman (2008) i Baik *et al.* (2011) ovšem uvádějí, že obilky ječmene obsahují všechny vitaminy s výjimkou vitaminů A, D, K, C a B12.

3.7.2.1 Vitamin E

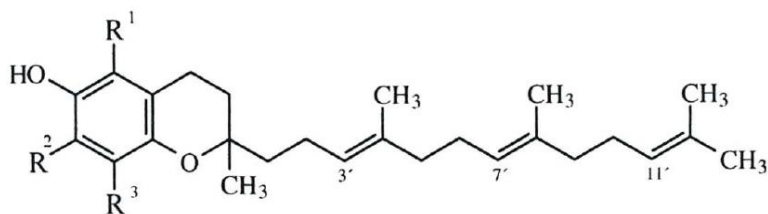
Nejsledovanější skupinou vitaminů v zrně ječmene je vitamin E, což je monofenolická látka s výraznými antioxidačními účinky. Vitamin E je souhrnný název osmi izomerů, čtyř tokoferolů (Obr. 6) a čtyř tokotrienolů (Obr. 7), které se nazývají tokoly a označují

se řeckými písmeny α , β , γ a δ (Packer *et al.*, 2001; Zavřelová, 2014). Izomery jsou deriváty 6-hydroxychromanu s nasyceným (tokoferoly) nebo nenasyceným (tokotrienoly) isopreniodním postranním řetězcem. Jednotlivé tokoferoly a tokotrienoly se liší polohou a počtem methylových skupin v chromanovém kruhu (Hosmanová, Douša, 2007; Benešová *et al.*, 2012). Nejvyšší obsah vitamínu E mezi obilovinami byl detekován v ječmeni (Kosař *et al.*, 2010). V obilkách ječmene je zastoupeno všech osm izomerů vitamínu E (Prýma *et al.*, 2000; Peterson, 2001), které chrání obilku před oxidací během skladování a klíčení, což je důležité z hlediska výroby sladu (Psota, Sachambula, 2010). Vzhledem ke svému lipofilnímu charakteru je molekula vitamínu E součástí buněčné lipidové membrány, odkud efektivně inhibuje peroxidaci lipidových řetězců a zabraňuje tak vzniku peroxidových radikálů. Za antioxidant s největší biologickou aktivitou je považován α -tokoferol (Srkalová *et al.*, 2008). Tokoferoly a β -tokotrienoly jsou koncentrovány převážně v klíčku, kdežto endosperm a obalové vrstvy obsahují značný podíl ostatních tokolů. Množství vitamínu E v obilkách ječmene je až čtyřikrát vyšší, než u jiných obilných druhů (Ehrenbergerová *et al.*, 2011). Březinová Belcredi *et al.* (2010a) uvádějí zastoupení izomerů vitamínu E v souboru 12 odrůd/linií zrna ječmene jarního ze dvou lokalit, přičemž 25 % izomerů bylo zastoupeno tokoferoly a 75 % tokotrienoly. Z celkových tokolů byl nejvíce zastoupen α -tokotrienol (57 %) a po něm následoval izomer s největší biologickou aktivitou α -tokoferol (15 %). Nejméně zastoupeny v zrna ječmene byly δ -izomery (4 %). Celkový obsah tokolů u odrůd/linií z obou sledovaných lokalit byl naměřen v intervalu 31 až 41,75 mg.kg⁻¹ a průměrná aktivita vitamínu E byla 10,23 až 15,71 mg.kg⁻¹.



- $R^1 = R^2 = R^3 = \text{CH}_3$, 5,7,8-trimethyltokol, α -tokoferol
- $R^1 = R^3 = \text{CH}_3$, $R^2 = \text{H}$, 5,8-dimethyltokol, β -tokoferol
- $R^1 = \text{H}$, $R^2 = R^3 = \text{CH}_3$, 7,8-dimethyltokol, γ -tokoferol
- $R^1 = \text{H}$, $R^2 = \text{H}$, $R^3 = \text{CH}_3$, 8-methyltokol, δ -tokoferol
- $R^1 = R^2 = R^3 = \text{H}$, tokol

Obr. 6 Chemická struktura tokoferolů (Velíšek, 1999)



$R^1 = R^2 = R^3 = \text{CH}_3$, 5,7,8-trimethyltokotrienol, α -tokotrienol
 $R^1 = R^3 = \text{CH}_3$, $R^2 = \text{H}$, 5,8-dimethyltokotrienol, β -tokotrienol
 $R^1 = \text{H}$, $R^2 = R^3 = \text{CH}_3$, 7,8-dimethyltokotrienol, γ -tokotrienol
 $R^1 = \text{H}$, $R^2 = \text{H}$, $R^3 = \text{CH}_3$, 8-methyltokotrienol, δ -tokotrienol
 $R^1 = R^2 = R^3 = \text{H}$, tokotrienol

Obr. 7 Chemická struktura tokotrienolů (Velíšek, 1999)

3.7.2.2 Vitaminy skupiny B

Obiloviny jsou obecně dobrým zdrojem vitaminů skupiny B, kromě vitaminu B12, který se ve vyšších rostlinách nevyskytuje. Nejvíce zastoupeným vitaminem skupiny B v obilce ječmene je kyselina nikotinová (B3, niacin), jejíž obsah je až pětkrát vyšší než v kukuřici, ovsu nebo žitě. Nicméně 85 až 90 % vitaminu B3 je biologicky nedostupná, jelikož je silně vázán v polysacharidových a glykopeptidových makromolekulách. Biologickou dostupnost niacinu lze zvýšit zpracováním v kyselém nebo zásaditém prostředí, kdy jsou vazby porušeny (Baik *et al.*, 2011). Obilky ječmene obsahují vitaminy skupiny B, které působí jako kofaktory nebo jako prostetické skupiny v mnoha různých metabolických reakcích živočišného a mikrobiálního metabolismu (Newman, Newman, 2008). Buiatti (2009) uvádí, že vitaminy skupiny B a zejména biotin a kyselina pantothenová mají zásadní význam jako růstový faktor pro kvasinky, a proto pivo obsahuje méně těchto vitaminů než sladina. Také Černohorský *et al.* (1986) udávají jako příčinu úbytku thiaminu (vitamin B1) v pivu životní funkce kvasnic. Stejně jako pro vyšší organismy je i pro kvasničnou buňku vitamin B1 nepostradatelný jako kofaktor několika enzymů. Není-li v živném prostředí přítomen, mohou jej některé kvasinky pro svoji potřebu produkovat, ale v opačném případě přejímají tento biokatalyzátor z prostředí a syntéza vitaminu B1 se zastavuje. Z tohoto důvodu byly působením UV záření a opakovanou selekcí získány kmeny pivovarských kvasinek, které jsou schopny produkovat vitamin B1 ve zvýšené míře i přes jeho přítomnost v médiu. Autoři Newman, Newman (2008) a Baik *et al.* (2011) uvádějí průměrný obsah vitaminů skupiny B v sušině zrna ječmene: thiamin (B1) 5,2 mg.kg⁻¹, riboflavin

(B2) 1,8 mg.kg⁻¹, kyselina nikotinová (B3, niacin) 63,3 mg.kg⁻¹, kyselina pantothenová (B5) 5,1 mg.kg⁻¹, pyridoxin (B6) 3,5 mg.kg⁻¹, biotin (B7) 0,14 mg.kg⁻¹ a kyselina listová (B9) 0,43 mg.kg⁻¹.

3.7.3 Enzymy

Rostliny jsou v průběhu vegetace vystavovány působení mnoha stresových faktorů, které mohou být biotické (útoky patogenů, negativní působení okolních organismů, stárnutí) nebo abiotické povahy (intenzivní světlo, teplo, sucho, chlad, mráz, těžké kovy, herbicidy), což může vyvolat oxidační stres, charakteristický prudkou přechodnou tvorbou velkého množství reaktivních forem kyslíku. Tím dochází k porušení rovnováhy mezi produkcí a odbouráváním ROS a v krajním případě to může vést až k uhynutí rostliny (Piterková *et al.*, 2005). Ochrana před oxidativním poškozením organismu je zajištěna skupinou antioxidantních obranných systémů enzymové a neenzymové povahy (Ehrenbergerová *et al.*, 2011). Zrno ječmene, respektive slad, obsahuje značné množství antioxidantních enzymů (např. katalasa, superoxid-dismutasa, lipoxygenasa a peroxidasa), které ochraňují organismus před poškozením účinky ROS a působí také preventivně proti četným nežádoucím reakcím v pivovarství. Oxidace během skladování a vaření piva má významný vliv na kvalitu piva, jelikož se podílí na změnách chuti piva, tvorbě zákalů a retikulaci (tvoření sítí) makromolekul, které mohou způsobovat problémy při filtraci piva (Březinová Belcredi *et al.*, 2010b). Enzymy jsou velmi důležité ze sladařského hlediska, jelikož spolupůsobí během sladování na tzv. rozluštění zrna a tvorbě charakteristických vlastností sladu (Havlová, 1999). Z chemického hlediska jsou enzymy bílkovinné makromolekuly, které mají schopnost katalyzovat různé typy chemických reakcí. Rychlost enzymových reakcí je ovlivňována řadou fyzikálně-chemických faktorů, mezi které patří teplota, pH, iontová síla a složení tlumivých roztoků. Enzymy jsou klasifikovány a pojmenovány podle povahy chemické reakce, kterou katalyzují. Je jich registrováno přibližně 2500 a nacházejí se ve všech živých systémech. Rozdělují se do šesti hlavních tříd (Tab. 6). Sklizený sladovnický ječmen obsahuje v posklizňové zralosti v aktivní nebo latentní formě velké množství enzymů a prekurzorů enzymů, které se v jednotlivých částech obilky vyskytují v různé míře. Oxidoreduktasy se nalézají především v zárodku, štítku a aleuronové vrstvě. Hrají důležitou roli při dozrávání, sladování a klíčení ječmene. Podílí se na metabolismu

sacharidů, dusíkatých, lipidických látek a zúčastňují se oxidačně-redukčních procesů v dýchacím řetězci (Kosař *et al.*, 2000).

Tab. 6 Představitelé jednotlivých skupin enzymů (Kosař *et al.*, 2000)

Třída	Zástupce
Oxidoreduktasy	Lipoxygenasa, superoxiddismutasa, katalasa, peroxidasa, polyfenoloxidasa
Transferasy	Transglukosidasy: D-enzym, P-enzym, Q-enzym
Hydrolasy	Esterasy: lipasy, fosfatasy
	Karbohydrasy: α -amylasa, β -amylasa, hraniční dextrinasa, R-enzym, maltasa, sacharasa
	Hemicelulasy: štěpící glukany a pentosany (β -glukanasa, solubilasa, xylobiasa, arabinosidasa, xylanasy)
	Štěpící peptidové vazby: endopeptidasy, exopeptidasy
Lyasy	Aldosa, karboxydismutasa
Isomerasy	Ribulasa-5-fosfát-epimerasa
Ligasy	Acetyl-CoA-karboxylasa

3.7.3.1 *Superoxiddismutasa*

Superoxiddismutasa (SOD; EC 1.15.1.1) patří mezi metaloenzymy katalyzující přeměnu superoxidového radikálu za vzniku peroxidu vodíku (Miller, 2012). Tato reakce probíhá o čtyři řády rychleji, než samovolná dismutace (Piterková *et al.*, 2005). SOD je obsažena (až na zanedbatelné výjimky) ve všech aerobních organismech (Racek, Holeček, 1999). Přítomnost superoxidu v zrně ječmene, respektive sladu a piva, může mít vliv na peroxidaci lipidů, degradaci polysacharidů, inaktivaci enzymů, snížení vitality kvasinek, pokles koloidní stability, změny barvy a nežádoucí příchutě piva během skladování (Psota, Sachambula, 2010). Superoxiddismutasa je v zrně ječmene a v zeleném sladu poměrně tepelně stabilní, ale rychle se zničí při rmutování. Její množství v ječmeni se mění v závislosti na odrůdě ječmene a lokalitě. Aktivitu SOD je možno ovlivnit změnou podmínek při sladování. S počtem dnů klíčení roste její aktivita až do 4. dne klíčení, 5. a 6. den se již hodnoty aktivity nemění nebo dochází k mírnému poklesu. Aktivita je také ovlivněna teplotou při klíčení a stupněm domočení (Havlová, 1999; Kosař *et al.*, 2000). U rostlin se vyskytuje ve formě tří izomerů lišících se kofaktorem, kterým je vždy atom kovu: mangan (Mn^{2+} SOD), železo (Fe^{2+} SOD) nebo měď se zinkem ($Cu^{2+}Zn^{2+}$ SOD). Enzym SOD je v zrně ječmene nejvíce lokalizován v embryu, ale menší množství se nachází také v aleuronové vrstvě. U souboru 12 odrůd

a linií ječmene jarního vypěstovaného na dvou lokalitách (Žabčice, Kroměříž) v letech 2005 až 2008 byla zjištěna aktivita SOD v intervalu 62 až 147 U.g⁻¹ sušiny zrna (Březinová Belcredi *et al.*, 2010 b). Ehrenbergerová *et al.* (2009) uvádějí jako bohatý zdroj SOD zelenou hmotu mladých rostlin ječmene jarního. Průměrné hodnoty aktivity SOD rostlin odebraných v růstové fázi DC 29 v letech 2005 až 2007, byly v rozmezí 416 až 486 U.g⁻¹ sušiny zelené hmoty.

3.7.3.2 *Katalasa*

Katalasa (CAT; EC 1.11.1.6) je heminový protein obsahující v prostetické skupině čtyři ferriprotoporfyriinové zbytky pevně vázané na bílkovinu. Je jedním z neaktivnějších enzymů, byla izolována z živočišných i rostlinných materiálů i mikroorganismů (Havlová, 1999). Zajišťuje buněčnou ochranu tím, že rozkládá peroxid vodíku na vodu a kyslík (Krych, Gebicka, 2013), jelikož akumulace H₂O₂ je důležitý faktor způsobující oxidační stres a může způsobit peroxidaci lipidů v živých buňkách (Xu *et al.*, 2013). Katalasa působí na peroxid vodíku ve vysokých koncentracích a spolu s peroxidasami navazuje na činnost superoxiddismutasy (Racek, Holeček, 1999). Existují tři hlavní isoformy tohoto enzymu: CAT1, CAT2 a CAT3 (Piterková *et al.*, 2005). Katalasa je v ječmeni obsažena v nepatrné koncentraci. Během klíčení se její aktivita zvýší 40 až 70krát a roste s počtem dní klíčení. Její aktivitu ovlivňuje technologie máčení, kde svoji roli sehraává i teplota klíčení a stupeň domočení. Při hvozdění se inhibuje. Na aktivitu enzymu má vliv odrůda ječmene, lokalita i ročník (Kosař *et al.*, 2000). Paulíčková *et al.* (2007) uvádějí nejvyšší aktivitu katalasy v zelené hmotě rostlin ječmene jarního u vzorků odebraných v růstové fázi DC 29 ve srovnání se vzorky odebranými ve fázi DC 31 a DC 32 až 33. Podobné výsledky uvádějí i Ehrenbergerová *et al.* (2009), kdy průměrná aktivita katalasy v zelené hmotě rostlin ječmene jarního z let 2005 až 2007 ze dvou lokalit, byla u vzorků odebraných v růstové fázi DC 29 (840 U.g⁻¹ sušiny) vyšší než ve fázi DC 31 (516 U.g⁻¹ sušiny).

3.7.3.3 *Peroxidasa*

Peroxidasa (EC 1.11.1.7) patří k enzymům, které se nazývají metaloenzymy, tzn. jejich katalytická schopnost závisí na přítomnosti iontů kovů. V prostetické skupině obsahují ferriprotoporfyriin, popřípadě jeho deriváty, např. zelené heminy (Havlová, 1999). Existují peroxidasy s pozměněným porfyriinovým skeletem, v jiných porfyriinový skelet

dokonce chybí a je nahrazen např. ionty manganu (Mn^{2+}) nebo vanadu (V^{5+}). Podle charakteru aktivního místa mohou být peroxidasy členěny do tří skupin: hemové, vanadové a ostatní peroxidasy, přičemž nejpočetnější je skupina peroxidasy, jejichž katalytické centrum obsahuje hem (Stiborová *et al.*, 2004). Peroxidasa katalyzuje rozklad peroxidu vodíku (nebo jiné peroxidy) za přítomnosti vhodných donorů vodíku, které jsou současně oxidovány (kyseliny askorbové, polyfenolů, alkaloidů) (Chromá *et al.*, 2001; Zipor, Oren-Shamir, 2013). Peroxidas je v živočišné i rostlinné říši více druhů. Některé z nich jsou nespecifické (oxidují více různých substrátů), jiné potřebují specificky jen určitý substrát. U rostlin se nejčastěji vyskytuje askorbátperoxidas, která využívá kyselinu askorbovou, u živočichů je to glutathionperoxidas, kde dochází k oxidaci glutathionu. Peroxidasy působí na rozdíl od katalasy na nízké koncentrace peroxidu vodíku (Racek, Holeček, 1999). Peroxidas je v zrna ječmene přítomna v nepatrném množství. Během klíčení se její aktivita zvýší až 9krát, ale během hvozdění se sníží až na jednu třetinu. Její aktivitu ovlivňuje teplota při klíčení a stupeň domočení (Kosař *et al.*, 2000). Peroxidasová a katalasová aktivita mohou být společně používány jako indikátory metabolické aktivity a ukazatele znečištění životního prostředí (Havlová, 1999).

3.7.4 Ostatní látky

Kromě polyfenolových látek, vitaminů a enzymů obsahuje ječmen další látky, které mají antioxidační účinky. Mezi tyto látky patří glutathion, cystin, cystein a další thiole (Pheifer, Briggs, 1995), peptidy obsahující cystein, methionin, tyrosin (Velíšek, 2002). Chanput *et al.* (2009) ve své publikaci popisují antioxidační vlastnosti hordeinových frakcí. Mezi látky s antioxidačním účinkem se řadí i kyselina fytová (Zavřelová, 2014) a některé minerální látky, například zinek (Ebisch *et al.*, 2007), mangan (Hussain, Ali, 1999) a selen. Mnozí autoři ale antioxidační účinky nepřipisují samotným minerálním látkám, ale spíše sloučeninám (enzymy, proteiny), jejichž jsou součástí (Limón-Pacheco, Gonsebatt, 2009; Pláteník, 2009; Wu *et al.*, 2013). Maret, Li (2009) uvádějí, že zinek je nezbytnou složkou 397 hydrolas, 302 ligas a 43 oxidoreduktas. Schematické rozdělení antioxidantů je znázorněno v příloze (Obr. 16).

3.8 Faktory ovlivňující obsah antioxidantů zrna ječmene a sladu

Vzhledem k tomu, že sekundární metabolity představují chemické rozhraní mezi rostlinami a okolním prostředím, je jejich syntéza často ovlivněna podmínkami prostředí. Obsah polyfenolových látek v rostlinách tak může být ovlivněn: teplotou, dostupností vody, UV zářením, obsahem půdních živin, znečištěním i útokem patogenů (Gobbo-Neto, Lopes, 2007; Ondrejovič *et al.*, 2009; Tiveron *et al.*, 2012; Marinova *et al.*, 2013; Žanetić *et al.*, 2013). Manach *et al.* (2004) a Stratil *et al.* (2006) uvádějí, že obsah fenolických látek v rostlinách závisí také na působení slunečního záření (intenzita a doba) během vegetačního období. Lachman *et al.* (2006) ve své publikaci uvádějí, že celkový obsah polyfenolů a anthokyanů v hlízách brambor je rozdílný v různých stadiích zralosti hlíz a je také ovlivněn různými environmentálními podmínkami, např. delšími dny a nižšími teplotami nebo způsobem a dávkami hnojení. Obsah celkových polyfenolů odpovídal i antioxidační kapacitě, přičemž drsnější povětrnostní podmínky stanoviště s vyšší nadmořskou výškou a vyšším úhrnem srážek měly za příčinu zřetelný trend k vyššímu obsahu celkových polyfenolových látek. Naproti tomu vyšší dávky draslíku, resp. hořčíku, v agrotechnických postupech způsobily nižší akumulaci polyfenolových látek. Dvořáková *et al.* (2010) ve své práci také publikovali pozitivní korelace mezi obsahem celkových polyfenolů s výsledky měření antioxidační kapacity deseti odrůd ječmene a jejich odpovídajících sladů. Dále také sledovali vliv hnojení (20 kg.ha⁻¹ N), na antioxidační kapacitu ječmene, přičemž jejich výsledky ukazují, že vliv hnojení na antioxidační vlastnosti není zřejmý a že je závislý především na odrůdě. Mikyška *et al.* (2011) poukazují na skutečnost, že vedle genetické dispozice ječmene je obsah a složení polyfenolových látek, které přecházejí do sladiny při rmutování, významně ovlivněn půdně klimatickými podmínkami během vegetace a fyziologickým stavem obilky ječmene při sladování. Kosař *et al.* (2000) uvádějí, že obsah polyfenolových látek v zrně ječmene negativně koreluje s obsahem bílkovin, přičemž celkové množství polyfenolů se pohybuje od 0,1 do 0,6 % sušiny a závisí na odrůdě, pěstebním místě a ročníku. Ehrenbergerová *et al.* (2012) uvádějí, že obsah volné a celkové kyseliny ferulové v obilkách ječmene byl statisticky významně ovlivňován odrůdami, povětrnostními podmínkami, rokem pěstování a také interakcemi těchto faktorů. Interakce patogenu s obilkou ječmene je provázána celou řadou procesů, jejich cílem je eliminovat nebo omezit jeho působení. Během tohoto procesu produkují buňky

obilky a patogenu specifické metabolity, které mohou nepříznivě ovlivnit průběh zpracování zrna i kvalitu a zdravotní nezávadnost finálních výrobků (prekurzory dimethylsulfidu, PDMS a gushing) (Psota *et al.*, 2010). Dimethylsulfid v pivu pochází převážně ze sladu a v současnosti je nejsledovanější sirnou sloučeninou, jelikož těžké sírné látky mohou nepříznivě ovlivnit chuť piva i ve velmi nízkých koncentracích. Hlavními prekurzory dimethylsulfidu jsou sírné aminokyseliny S-methyl-methionin a dimethylsulfoxid (DMSO), které jsou přirozenou součástí ječmene, sladu i piva. Úroveň gushingu ve sladu a obsah PDMS ve sladu jsou výrazně spjaty se znaky spojenými s kontaminací obilky vláknitými mikromycetami (např. aktivita enzymu chitinasa (EC 3.2.1.14), přítomnost polysacharidu galaktomananu) (Benešová *et al.*, 2011).

Obsah vitamínu závisí na odrůdě a půdně-klimatických podmínkách (Kosař *et al.*, 2000). Benešová *et al.* (2012) uvádějí, že obsah jednotlivých izomerů a celková aktivita vitamínu E v zrně ječmene jsou značně variabilní a velmi závisí nejen na konkrétním genotypu, ale zejména na ročníku pěstování, počasí a povětrnostních podmínkách v dané pěstební lokalitě. Tyto výsledky potvrzují také Březinová Belcredi *et al.* (2010a) společně se zjištěním, že průkazně vyšší průměrné hodnoty aktivity vitamínu E a jeho izomerů v zrně ječmene byly také nalezeny u variant s aplikací pesticidů, ve srovnání s variantami bez aplikace, avšak rozdílné průměrné hodnoty mezi způsoby ošetření nebyly z praktického hlediska významné. Prýma *et al.* (2000) uvádějí, že nebyly nalezeny žádné významné záporné korelace mezi obsahem vitamínu E v obilkách ječmene a výnosotvornými prvky.

Březinová Belcredi *et al.* (2010b) ve své publikaci uvádějí, že aktivita enzymu superoxiddismutasy byla statisticky průkazně ovlivněna odrůdami/liniemi, lokalitami a ročníkem pěstování s výjimkou způsobu ošetření (aplikací pesticidů), přičemž na variabilitu aktivity enzymu SOD se významně podílely také interakce všech faktorů.

Během procesu sladování probíhá v zrně ječmene mnoho procesů, které ovlivňují jeho antioxidační kapacitu (Qingming *et al.*, 2010). Proces výroby sladu zahrnuje tři fáze: máčení, klíčení a hvozďení. Během máčení se zvýší obsah vody v zrně pro zahájení enzymatických reakcí a pro klíčení zrna, které je hlavní fází sladování (Prokeš, 2000; Benkovská *et al.*, 2011). V průběhu máčení dochází ke snížení obsahu celkových polyfenolů. Důvodem může být vyluhování části sloučenin, které se nacházejí především v obalových vrstvách nebo v důsledku tvorby nerozpustných

komplexů s proteiny (Lu *et al.*, 2007). Při klíčení ječmene dochází působením enzymů k uvolňování vázaných polyfenolů (Mikyška *et al.*, 2011) a odpovídajícímu zvýšení jejich esterifikované frakce (Dvořáková *et al.*, 2008b). Obsah kyseliny ferulové v zrně ječmene se během sladování zvyšuje až dvojnásobně (Běláková *et al.*, 2010). Slad obsahuje více celkových polyfenolů než odpovídající nesladovaný ječmen (Selecký, Šmogrovičová, 2006; Lu *et al.*, 2007; Qingming *et al.*, 2010), i přesto, že během hvozdění dochází ke snížení obsahu látek citlivých na vyšší teploty (např. flavanolů) (Dvořáková *et al.*, 2008a). K nárůstu dochází zejména v pozdějších fázích klíčení a během hvozdění. Vyšší obsah celkových polyfenolových látek ve sladu lze vysvětlit uvolněním vázaných fenolových kyselin, ale pravděpodobně také friabilním charakterem endospermu, který ve srovnání s nesladovaným ječmenem umožňuje lepší extrakci fenolických sloučenin (Maillard *et al.*, 1996; Lu *et al.*, 2007; Dvořáková *et al.*, 2008a; Leitao *et al.*, 2012).

Během klíčení dochází v zrně ječmene také k uvolňování redukujících sacharidů a aminokyselin, které se při vyšších teplotách účastní Maillardových reakcí (Maillard *et al.*, 1996; Mikulíková *et al.*, 2008). Maillardovy reakce (reakce neenzymatického hnědnutí, glykace) jsou chemické reakce, které probíhají mezi karbonylovými skupinami redukujících cukrů a aminoskupinami aminokyselin, peptidů nebo proteinů bez katalytického působení enzymů. Produkty těchto reakcí jsou obzvláště složitou směsí různých sloučenin s rozdílnou molekulovou hmotností, zahrnující Amadoriho sloučeniny, aldehydy, ketony, dikarbonylové sloučeniny, akrylamidy, heterocyklické aminy, reduktony, melanoidiny a koncové produkty glykace (Advanced Glycation End Products, AGEs) (Maillard *et al.*, 1996; Obšil, Pavlíček, 1997; Wang *et al.*, 2011). Reduktomy jsou látky, které obsahují endiolové skupiny a vykazují redukční vlastnosti. Vznikají rozpadem sacharidů (Šavel *et al.*, 2012), přičemž za přítomnosti dusíkatých látek, zejména aminokyselin, vznikají také melanoidní látky. Další biologicky aktivní látky vznikají degradačními reakcemi sacharidů, jako jsou karamelizace a pyrolýza během výroby tmavých sladů (Šavel, 2010). Maillardovy reakce probíhají ve sladu v závislosti na teplotách při hvozdění. Jsou klíčovým faktorem pro kvalitu sladu, jelikož ovlivňují tvorbu barevných, chuťových i antioxidačních vlastností sladu (Woffenden *et al.*, 2001; Coghe *et al.*, 2006; Lu *et al.*, 2007; Silván *et al.*, 2011). Podle teploty při jejich dotahování, se mohou slady dělit na standardní, tmavé a speciální. Světlé slady plzeňského typu jsou při hvozdění dotahovány teplotami 80 až 85 °C, tmavé slady

mnichovského typu (bavorské slady) jsou dotahovány při teplotách 100 až 105 °C a slady speciální (karamelové, barvicí, nakuřované, melanoidinové), které se v závislosti na konkrétním druhu připravují při působení teplot v rozmezí 120 až 225 °C (Basařová, 2010; Čechovská *et al.*, 2012). Ve světlých sladech jsou dominantní barevné látky nízkomolekulární chromofory (< 10 kDa), zatímco u tmavých sladů převládají vysokomolekulární melanoidiny (> 100 kDa) (Coghe *et al.*, 2006). Produkty Maillardových reakcí také způsobují charakteristické hnědé zabarvení některých potravin (káva, chléb, med) (Wang *et al.*, 2011) a kromě antioxidačních vlastností, mohou vykazovat také vlastnosti prooxidační (Woffenden *et al.*, 2002; Wunderlich *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2014).

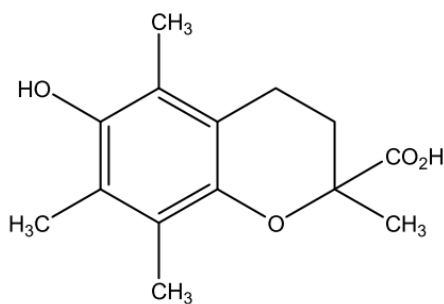
Antioxidační kapacita a kvalitativní parametry sladu jsou do značné míry ovlivněny technologií sladování, přičemž významnou roli hraje celá řada faktorů, jako teplota, přístup vzduchu, ale i pH. Ječmen, který byl při sladování máčen (8 h) v první vodě okyselené kyselinou mléčnou na pH 5, vykazoval ve srovnání se standardním sladem vyšší antioxidační kapacitu a aktivitu α -amylasy. Máčení v kyselé vodě také urychluje klíčení, zvyšuje hodnoty klíčivé energie a citlivosti na vodu a v neposlední řadě dezinfikuje sladované zrna (Jelínek *et al.*, 2013).

Výsledné hodnoty popisující antioxidační vlastnosti různých materiálů mohou být také značně ovlivněny použitým extrakčním činidlem (Zhao *et al.*, 2006; Serpen *et al.*, 2008; Gökmen *et al.*, 2009), přičemž vodná extrakce může vést i k hydrolyze glykosidových derivátů polyfenolů (Holasová, Fiedlerová, 2011).

3.9 Metody stanovení antioxidačních účinků

Látky s antioxidačními účinky se v posledních letech dostaly do popředí zájmu odborníků z celé řady potravinářských oborů, zejména v souvislosti s jejich příznivými účinky na lidský organismus (Karabín *et al.*, 2006). Proto bylo vyvinuto mnoho metod a jejich modifikací, které se používají pro stanovení antioxidačních vlastností. Jejich rozmanitost vyplývá ze skutečnosti, že nízkomolekulární antioxidanty mohou působit různými mechanismy. Postupy hodnotící míru antioxidačního působení jsou založeny na různých principech, přičemž nejčastěji se jedná o přímou reakci s radikály (zhášení, vychytávání) nebo reakci s přechodnými kovy. V přírodních materiálech se antioxidanty vyskytují jako součást složitých směsí, jejichž složky mohou reagovat s různými radikály různými mechanismy a mohou také vzájemně působit i na sebe (synergicky

i inhibičně) (Paulová *et al.*, 2004). Stanovení účinnosti jednotlivých složek je náročné a výsledky navíc nemusí vždy odpovídat jejich společnému působení (Pellegrini *et al.*, 2003; Gazdik *et al.*, 2008; Lim, Lim, 2013). Z těchto důvodů byl pro vzájemné porovnání antioxidačních účinků zaveden termín celková antioxidační kapacita (Total Antioxidant Capacity, TAC) (Niki, 2010; Mazzeo *et al.*, 2011). TAC vyjadřuje celkovou sílu všech antioxidačních látek vzorku, které společně působí proti volným radikálům (množství „vychytaných“ volných radikálů), a poskytuje tak informace o délce trvání antioxidačního účinku (MacDonald-Wicks *et al.*, 2006; Šulc *et al.*, 2007; Hřebíčková, 2009; Gülçin, 2012). Termín antioxidační kapacita je v literatuře často zaměňován s termínem antioxidační aktivita i přesto, že jejich významy jsou zcela odlišné (Ghiselli *et al.*, 2000; Sharma, Singh, 2013). Antioxidační aktivita vyjadřuje rychlost a průběh reakce (kinetiku) mezi konkrétním antioxidantem a konkrétním volným radikálem za specifických podmínek (teplota a tlak) (Malliaraki *et al.*, 2003; Notas *et al.*, 2005; Karadag *et al.*, 2009; Gülçin, 2012). Celková antioxidační kapacita vzorku se obvykle vyjadřuje jako ekvivalent standardní látky, který způsobuje stejnou antioxidační odezvu jako vzorek. Nejčastěji používané standardní látky jsou Trolox (ve vodě rozpustný syntetický analog vitamínu E; Obr. 8), (Samaniego-Sánchez *et al.*, 2011; Kračmarová, Pohanka, 2014), kyselina gallová (Sochor *et al.*, 2010), kyselina askorbová (Rop *et al.*, 2011), butylhydroxyanisol (BHA) (Čechovská *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013) a butylhydroxytoluen (BHT) (Arnao *et al.*, 2001; Bamdad *et al.*, 2011). Pro čisté látky je TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) definována jako milimolární koncentrace Troloxu vykazující stejnou antioxidační kapacitu jako testovaná látka při koncentraci 1 mmol.l^{-1} (Paulová *et al.*, 2004). Směsné vzorky se hodnotí jako látkové množství Troloxu odpovídající kapacitě 1 g či 1 ml vzorku (Fidler, Kolářová, 2009).



Obr. 8 Chemická struktura Troloxu (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chroman-2-karboxylová kyselina) (Apak *et al.*, 2007)

Metody stanovení antioxidačních účinků je možno rozdělit do dvou základních skupin: na metody chemické a fyzikální (Karabín *et al.*, 2006).

3.9.1 Chemické metody

Většina chemických metod je založena na použití činidel poskytujících s volnými radikály barevné produkty, jejichž vzniku naopak brání ve vzorku obsažené antioxidanty. Intenzita zbarvení se měří nejčastěji spektrofotometricky a rozdíl v hodnotách absorbancí měřeného a slepého vzorku pak udává obsah látek s antioxidačními účinky (Karabín *et al.*, 2006). Látky s antioxidačními účinky mohou reagovat s volnými radikály dvěma základními reakčními mechanismy: pomocí přenosu atomu vodíku (Hydrogen Atom Transfer, HAT) a pomocí přenosu elektronu (Electron Transfer, ET, případně Single Electron Transfer, SET) (Huang *et al.*, 2005; Prior *et al.*, 2005; Villaño *et al.*, 2007; Zulueta *et al.*, 2009; Wootton-Beard, Ryan, 2011). Konečný výsledek je bez ohledu na mechanismus reakce stejný, ale oba typy se odlišují rozdílnou reakční kinetikou a možnostmi vzniku vedlejších reakcí. Mechanismy HAT a SET se u všech vzorků vyskytují téměř vždy společně a jejich rovnováha je určena strukturou antioxidantu a pH. Velmi důležitý vliv na převahu jednoho z mechanismů při eliminaci volných radikálů a účinnost antioxidantů mají také specifické molekulární vlastnosti, které se nazývají disociační energie vazby (Bond Dissociation Energy, BDE) a ionizační potenciál (Ionization Potential, IP) (Wright *et al.*, 2001; Prior *et al.*, 2005; Gülçin, 2012).

Metody založené na reakčním mechanismu HAT, měří schopnost antioxidantu zhášet volné radikály darováním atomu vodíku (Apak *et al.*, 2013). Relativní reaktivita těchto metod je dána disociační energií vazby (BDE) odštěpovaného atomu vodíku antioxidantu, která odpovídá přibližně $-10 \text{ kcal.mol}^{-1}$ a hodnotami ionizačního potenciálu (IP) $< -36 \text{ kcal.mol}^{-1}$. Metody HAT nejsou ovlivňovány pH ani použitým rozpouštědlem a probíhají velmi rychle (obvykle jsou dokončeny v řádech několika sekund nebo minut) (Miguel, 2010; Gülçin, 2012). K chybám měření může u těchto metod docházet za přítomnosti redukčních činidel (např. iontů kovů), jelikož jsou příčinou zdánlivě vysokých hodnot reaktivity (Prior *et al.*, 2005). Mezi nejpoužívanější metody založené na reakčním mechanismu HAT se řadí metody TRAP (Total Radical-Trapping Antioxidant Potential (Parameter)), ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) (Číž *et al.*, 2010; Tafulo *et al.*, 2010; Hollman *et al.*, 2011),

CBA (Crocin Bleaching Assay) (Bathaie *et al.*, 2011) a TOSC (Total Oxidant Scavenging Capacity) (Huang *et al.*, 2005; Apak *et al.*, 2013).

Metody založené na reakčním mechanismu SET, využívají schopnost antioxidantů přenést elektron a redukovat tak jakoukoli sloučeninu, včetně kovů, karbonylových skupin a radikálů (Miguel, 2010). Jejich relativní reaktivita je založena na deprotonaci a ionizačním potenciálu (IP) reaktivní funkční skupiny, a jsou proto závislé na pH (Prior *et al.*, 2005). Obecně platí, že hodnoty IP se snižují se zvyšujícím se pH (Karadag *et al.*, 2009). Reakční mechanismus SET převládá u sloučenin, které mají hodnoty ionizačního potenciálu vyšší než $-45 \text{ kcal.mol}^{-1}$ (Miguel, 2010; Gülçin, 2012). Oxidační činidlo při reakci abstrahuje elektron z antioxidantu, což má za následek změnu barvy oxidačního činidla, přičemž intenzita změny barvy, je úměrná koncentraci antioxidantů (Karadag *et al.*, 2009; Apak *et al.*, 2013). Ve srovnání s HAT metodami, probíhají SET metody obvykle pomaleji a jejich dokončení může být časově náročnější. Stratil *et al.* (2006) ve své publikaci uvádějí, že k ukončení reakce mezi kation-radikálem $\text{ABTS}^{+\cdot}$, který vzniká oxidací diamonné soli kyseliny 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonové) a bylinnými extrakty, došlo ve většině případů déle než za hodinu, ačkoli většina reakčních produktů byla vytvořena do 10 minut od začátku reakce. Výpočty antioxidační kapacity jsou ve větší míře založeny na procentuálním snížení zabarvení výsledných produktů než na kinetice reakce (Prior *et al.*, 2005; Miguel, 2010). Přítomnost stopových prvků a kontaminantů (především kovů), narušuje průběh SET reakcí a může vysvětlovat vysokou variabilitu, špatnou reprodukovatelnost a konzistenci výsledků (Prior *et al.*, 2005; Gülçin, 2012). Nejrozšířenější metody založené na reakčním mechanismu SET jsou: ABTS (v některých případech označována také jako TEAC), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), DPPH (1,1-difenyl-2-(2,4,6-trinitrofenyl)hydrazyl) (Miguel, 2010; Tafulo *et al.*, 2010), DMPD (N,N-dimethyl-p-phenylendiamin) (Lachman *et al.*, 2007), CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity) (Apak *et al.*, 2013) a ITT (Indicator Time Test) (Guido *et al.*, 2007). Na reakčním mechanismu SET, je také založena metoda pro stanovení obsahu celkových fenolů (Total Phenolic Content, TPC), která využívá Folin–Ciocalteuovo činidlo (Folin–Ciocalteu Reagent, FCR) (Huang *et al.*, 2005; Gülçin, 2012; Apak *et al.*, 2013).

3.9.2 Fyzikální metody

Fyzikální metody využívané pro stanovení antioxidačních vlastností analyzovaných vzorků nesledují bezprostředně chemickou reakci nebo změny obsahu jednotlivých látek, ale namísto toho sledují změny fyzikálních vlastností, které tyto procesy provázejí (Karabín *et al.*, 2006). Příkladem často používaných metod jsou: elektronová spinová rezonance (ESR) (Krofta *et al.*, 2007; Hoff *et al.*, 2013), chemiluminiscenční metody (Madhujith *et al.*, 2006; Karadag *et al.*, 2009; Holasová, Fiedlerová, 2011) a metody elektrochemické, pomocí kterých se stanovují redoxní vlastnosti sledovaných látek (Karabín *et al.*, 2006). Mezi běžně používané elektrochemické metody se řadí cyklická voltametrie (CV) (Paulová *et al.*, 2004; Barros *et al.*, 2011; Ahmed, Shakeel, 2012) a SW voltametrie (z anglického Square Wave) (Kračmarová, Pohanka, 2014). Poměrně rozšířené je také využití HPLC metody s elektrochemickou detekcí, kdy je možno elektroaktivní látky velmi přesně a citlivě detekovat použitím amperometrických nebo coulometrických detektorů (Paulová *et al.*, 2004; Vanbeneden *et al.*, 2007; Holasová, Fiedlerová, 2011).

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Charakteristika pokusu

Jako výchozí materiál byly použity vzorky zrna ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L.) vypěstované v letech 2009 až 2011 na pokusné lokalitě Mendelovy univerzity v Žabčicích. Pokus byl řešený v rámci aktivit Výzkumného centra pro studium obsahových látek ječmene a chmele (VC 1M0570). V celém experimentu byly v jednotlivých letech zachovány vždy stejné předplodiny, konkrétně pšenice ozimá, které předcházely okopaniny (brambory). V případě nedostatečného obsahu fosforu a draslíku v půdě, bylo na podzim provedeno základní hnojení (P, K). Na jaře po provedení odběrů vzorků půdy na N_{\min} , bylo provedeno dohnojení dusíkem v minerálních hnojivech (LAV) na dávku $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Do znáhodněného blokového pokusu se třemi opakováními bylo zařazeno šest sladovnických odrůd ječmene jarního (Aksamit, Bojos, Jersey, Prestige, Radegast a Sebastian), sklizňová plocha pokusné parcely byla 12 m^2 . Termíny založení pokusů a sklizně v jednotlivých letech jsou uvedeny v tabulce 7. V tomto pokusu byly sledovány také účinky foliární aplikace zinečnatého hnojiva Zinran (celkový obsah 50 % Zn a 4,7 % S) ve dvou růstových fázích: Zn1 ($1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ v DC 31) a Zn2 ($1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ v DC 55) na technologické parametry zrna, ve srovnání s kontrolní, neošetřenou variantou (Cerkal *et al.*, 2010).

Tab. 7 Termíny výsevu a sklizně ječmene jarního v letech 2009 až 2011 na lokalitě Žabčice

Ročník	Termín		Délka vegetace [dny]
	Výsevu	Sklizně	
2009	4. 4. 2009	28. 7. 2009	115
2010	25. 3. 2010	21. 7. 2010	118
2011	24. 3. 2011	16. 7. 2011	114

4.2 Charakteristika lokality

Experiment byl realizován na pozemcích Školního zemědělského podniku Žabčice ($49^{\circ}01'$ severní šířky, $16^{\circ}37'$ východní délky), který se nachází v kukuřičné zemědělské výrobní oblasti, podoblasti K2. Rovinatý pozemek je situován v nivě řeky Svatky

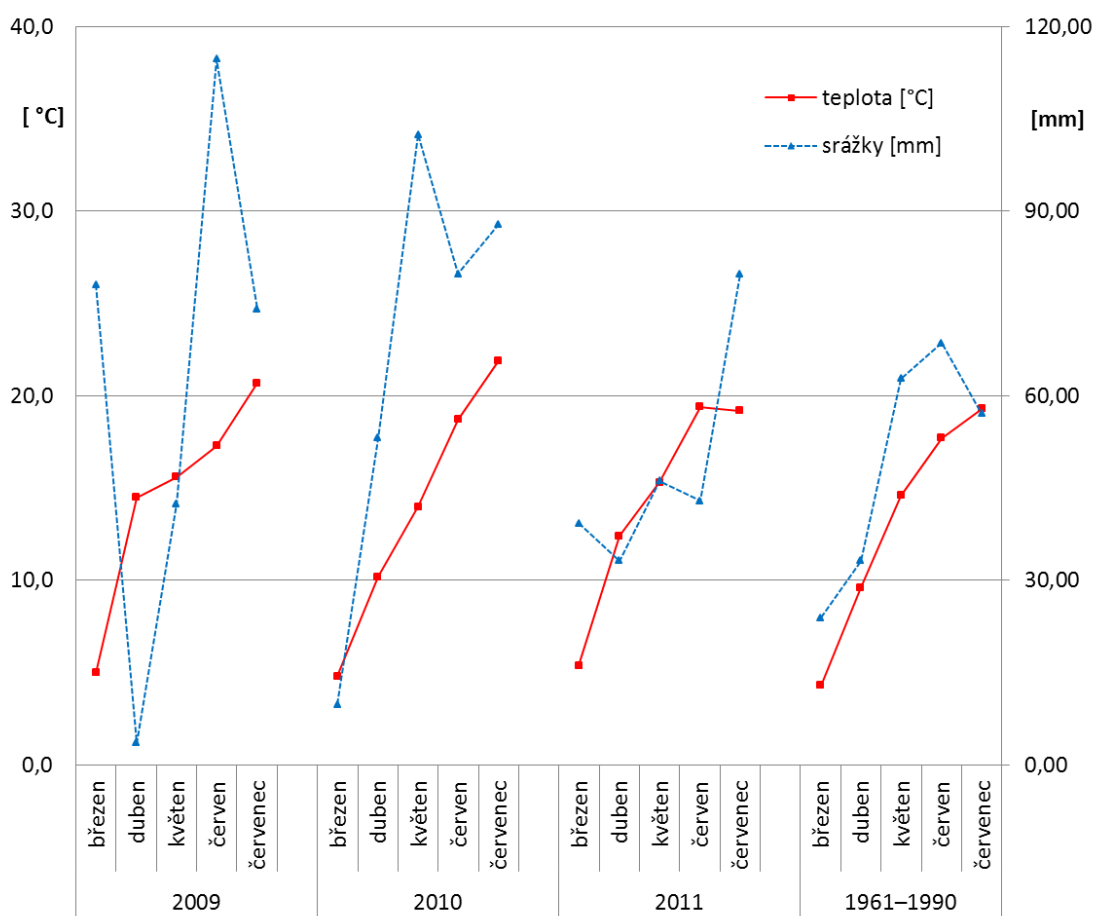
(Dyjskosvratecký úval) v průměrné nadmořské výšce 184 metrů nad mořem (Vaculová *et al.*, 2010).

4.2.1 Půda

Půdní typ pozemku je klasifikován jako fluvizem glejová (FLg), vytvořená na nivních usazeninách. Zrnitostně jde o půdu středně těžkou až těžkou, půdní druh jílovitohlinitá až jílovitá (obsah jílnatých částic činí 55 až 65 %). Spodina je jílovitohlinitá až jílovitá (Ehrenbergerová *et al.*, 2010). Hydrický režim půd v oblasti je výrazně ovlivňován řekou Svratkou a jejím pravostranným přítokem říčkou Šatavou. Základní půdní hydrolimity půdního orničního profilu: bod vadnutí 19 % obj., retenční vodní kapacita 27 % obj. a plná vodní kapacita 43 % obj. (Středa *et al.*, 2011). Hladina spodní vody se nachází přibližně 180 cm pod povrchem půdy. Během suchého období vysychají svrchní horizonty půdního profilu a vznikají v nich velké trhliny (Ehrenbergerová *et al.*, 2010).

4.2.2 Klimatické podmínky

Na základě výsledků třicetiletého pozorování průběhu počasí (v normálovém období 1961–1990) na meteorologické stanici v Žabčicích, lze tuto oblast zařadit mezi nejteplejší regiony České republiky a charakterizovat jako teplou, mírně suchou, s mírnou zimou a kratší dobou slunečního svitu během vegetačního období. Roční teplotní normál v období 1961–1990 činí 9,2 °C, v průběhu vegetace (duben–červenec) pak dosahuje hodnoty 15,3 °C. Lokalita patří mezi místa s velmi nízkým ročním úhrnem srážek, který ve sledovaném období 1961–1990 činil 480 mm, v průběhu vegetace (duben–červenec) 221,7 mm. Suchý charakter klimatu ovlivňuje také srážkový stín zasahující do oblasti polní pokusné stanice a vítr, který způsobuje větší výpar půdní vláhly (Ehrenbergerová *et al.*, 2010). Průběh průměrných měsíčních teplot a měsíčních úhrnů srážek během vegetačního období v letech 2009 až 2011 a v normálovém období 1961–1990 na lokalitě Žabčice je graficky znázorněn na obrázku 9. Globální radiace byla měřena pyranometrem CM6B (Kipp & Zonen B.V., NL) a její hodnoty během vegetačního období v letech 2009 až 2011 jsou zaznamenány v tabulce 8.



Obr. 9 Průběh průměrných měsíčních teplot a měsíčních úhrnů srážek v letech 2009 až 2011 a v normálovém období 1961–1990 na lokalitě Žabčice (na způsob klimadiagramu dle Waltera-Lietha)

Tab. 8 Hodnoty globální radiace ve vegetačním období v letech 2009 až 2011 na lokalitě Žabčice [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$]

Měsíc	Ročník		
	2009	2010	2011
březen	25146,3	37180,0	39323,0
duben	60752,1	53042,2	51894,6
květen	59832,8	44530,2	71438,7
červen	58059,5	63500,2	66209,3
červenec	68063,5	66809,2	57307,7

4.2.2.1 Pokusný rok 2009

Rok 2009 byl z hlediska vývoje počasí velmi proměnlivý a může být charakterizován jako rok s opožděným nástupem jara, které bylo krátké a suché. Měsíce červen

a červenec byly srážkově bohaté. U většiny porostů však tyto srážky vytvořily podmínky pro rozvoj plísní, z nichž především houby rodu *Fusarium* mohly způsobit „skrytou“ kontaminaci zrn ječmene, která se může projevit až po vytvoření optimálních podmínek (po namočení ječmene). Dalším negativním důsledkem těchto pozdních srážek byl vyšší výskyt zahnědlých špiček, které jsou ročníkovou záležitostí, neboť se vyskytují ve všech oblastech a u všech odrůd ječmene. V poslední dekádě měsíce července nastalo suché letní počasí, které umožnilo bezproblémovou sklizeň (Hartman *et al.*, 2010). Průměrný hektarový výnos ječmene v České republice dosáhl hodnoty 4,4 t.ha⁻¹, přičemž u ječmene ozimého činil 4,82 t.ha⁻¹ a u jarního 4,23 t.ha⁻¹ (Kůst, Potměšilová, 2013). Na snížení hektarového výnosu u ječmene jarního mělo vliv především suché a slunečné počasí v rozhodujícím vegetačním období (duben a květen), kdy došlo ke zkrácení důležitých fenofází ječmene (Kůst, Potměšilová, 2009). Přehled agrotechnického ošetření pokusu je uveden v tabulce 9.

Tab. 9 Agrotechnické ošetření pokusu v roce 2009

Datum	Ošetření	Dávka
11. 5. 2009	Aplikace herbicidu LOGRAN 20 WG	30 g.ha ⁻¹
11. 5. 2009	Aplikace herbicidu BANVEL 480 S	0,2 l.ha ⁻¹
26. 5. 2009	Aplikace insekticidu KARATE 5 CS	0,15 l.ha ⁻¹
26. 5. 2009	Aplikace herbicidu PUMA EXTRA	0,9 l.ha ⁻¹
26. 5. 2009	Aplikace fungicidu ARCHER TOP	1 l.ha ⁻¹

4.2.2.2 Pokusný rok 2010

V roce 2010 bylo pro vzcházení ječmene dostatečné množství vláhy a od poloviny dubna se vyskytovaly časté a vydatné srážky. Měsíc květen byl srážkově výrazně nadnormální (měsíční srážkové úhrny i přes 200 mm), chladný a s nedostatkem slunečního svitu. V dlouhodobě přemokřené půdě byl nedostatek půdního vzduchu a následkem toho porosty ječmene žloutly, měly zbrzděný růst a vývoj. Časté srážky rovněž znemožňovaly účinnou chemickou ochranu. Také průběh žní byl narušován častými a intenzivními srážkami, což způsobilo biologické a fyziologické poškození a výskyt zahnědlých špiček. U sladu byla rovněž stanovena vyšší úroveň gushingu (Hartman, 2011). Průměrný hektarový výnos ječmene v České republice dosáhl hodnoty 4,07 t.ha⁻¹, přičemž u ječmene ozimého činil 4,5 t.ha⁻¹ a u jarního 3,91 t.ha⁻¹ (Kůst, Potměšilová, 2013). Na snížení hektarového výnosu u ječmene jarního mělo vliv

především vlhké a deštivé počasí v rozhodujícím vegetačním období (květen), kdy došlo k podmáčení či zatopení celých ploch jarního ječmene a dále také při samotné sklizni, která byla přerušována častým a vytrvalým deštěm (Kůst, Potměšilová, 2010). Přehled agrotechnického ošetření pokusu je uveden v tabulce 10.

Tab. 10 Agrotechnické ošetření pokusu v roce 2010

Datum	Ošetření	Dávka
29. 3. 2010	Hnojení N (LAV)	40 kg.ha ⁻¹
28. 4. 2010	Aplikace herbicidu MUSTANG FORTE	0,8 l.ha ⁻¹
12. 6. 2010	Aplikace fungicidu ARCHER TOP	1 l.ha ⁻¹
15. 6. 2010	Aplikace insekticidu NURELLE D	0,6 l.ha ⁻¹

4.2.2.3 Pokusný rok 2011

V roce 2011 panovalo v závěru měsíce dubna proměnlivé počasí, střídaly se polojasné a oblačné dny doprovázené přeháňkami a místy i bouřkami s vydatnějšími dešti. Na začátku května došlo k prudkému ochlazení a na mnoha místech se vyskytly i srážky sněhové. V nižších polohách ochlazení porostům ječmene jarního spíše prospělo, jelikož tím bylo prodlouženo období odnožování. Od druhé poloviny května a v červnu již převládalo teplé a slunečné počasí s teplotami až 30 °C, které bylo přerušováno přeháňkami a bouřkami. Na počátku července došlo k výraznému ochlazení a výskytu srážek. Poté nastalo období s letními teplotami a byla zahájena sklizeň, která však byla přerušena ochlazením s přeháňkami, bouřkami a následně deštěm trvalejšího charakteru, což mělo nepříznivý vliv na vzhled a mikrobiologickou kontaminaci obilek. U některých partií došlo následkem vyšší vlhkosti k porůstání obilek (Hartman, 2012). Průměrný hektarový výnos ječmene v České republice dosáhl hodnoty 4,87 t.ha⁻¹, přičemž u ječmene ozimého činil 4,64 t.ha⁻¹ a u jarního 4,95 t.ha⁻¹ (Kůst, Potměšilová, 2013). Na rekordním zvýšení hektarového výnosu u ječmene jarního mělo vliv především jeho včasné zasetí a také chladné počasí v rozhodujícím vegetačním období (květen), kdy došlo k dostatečnému formování generativních orgánů, které mají rozhodující vliv na výnos (Kůst, Potměšilová, 2011). Přehled agrotechnického ošetření pokusu je uveden v tabulce 11.

Tab. 11 Agrotechnické ošetření pokusu v roce 2011

Datum	Ošetření	Dávka
15. 9. 2010	Hnojení P (superfosfát)	200 kg.ha ⁻¹
15. 9. 2010	Hnojení K (draselná sůl)	200 kg.ha ⁻¹
24. 3. 2011	Hnojení N (LAV)	30 kg.ha ⁻¹
30. 4. 2011	Aplikace herbicidu LINTUR 70 WG	0,15 kg.ha ⁻¹
20. 5. 2011	Aplikace herbicidu PUMA EXTRA	0,8 l.ha ⁻¹
24. 5. 2011	Aplikace fungicidu ARCHER TOP	1 l.ha ⁻¹

4.3 Charakteristika použitých odrůd ječmene jarního

Aksamit

Polopozdní sladovnická odrůda se středním výnosem, která byla registrována v roce 2007, je doporučena Výzkumným ústavem pivovarským a sladařským pro výrobu Českého piva. Rostliny jsou středně vysoké, méně až středně odolné proti poléhání a lámání stébla. Zrno je malé až středně velké a podíl předního zrna je středně vysoký. Odrůda je odolná proti padlí travnímu a proti rhynchosporiové skvrnitosti. Udržovatelem této odrůdy je akciová společnost Selgen (Psota, 2012).

USJ (2008–2011) = 3,0

Bojos

Polopozdní sladovnická odrůda, registrovaná v roce 2005, doporučena pro výrobu Českého piva. Je preferována některými sladovnicemi a pivovary. Rostliny jsou středně vysoké až vysoké se střední odolností proti poléhání a lámání stébla. Zrno je středně velké a podíl středního zrna je středně vysoký. Odrůda je odolná proti padlí travnímu, středně odolná vůči rzi ječné a hnědé skvrnitosti, ale méně odolná proti napadení rhynchosporiovou skvrnitostí. Udržovatelem odrůdy je Limagrain Central Europe Cereals, s. r. o. (Psota, 2012; Ehrenbergerová *et al.*, 2010).

USJ (2008–2011) = 5,1

Jersey

Polopozdní sladovnická odrůda, registrovaná v roce 2000 byla několik let nejpěstovanější odrůdou v ČR. Rostliny jsou středně vysoké až vysoké, méně odolné proti poléhání. Zrno je středně velké, podíl předního zrna je středně vysoký. Odrůda je odolná proti padlí travnímu, ale citlivější na hnědou skvrnitost a rez ječnou. Udržovatel

odřůdy je Limagrain Central Europe Cereals, s. r. o. (Psota, 2009; Ehrenbergerová *et al.*, 2010).

USJ (2006–2009) = 4,9

Prestige

Polopozdní sladovnická odrůda, registrovaná v roce 2002. Rostliny jsou středně vysoké, středně odolné proti poléhání. Zrno je velké, podíl předního zrna je velmi vysoký. Odrůda je odolná vůči padlí travnímu, ale náchylná k napadení hnědou skvrnitostí a rzi ječnou. Udržovatelem odrůdy je RAGT Czech s. r. o. (Psota, 2009; Ehrenbergerová *et al.*, 2010).

USJ (2005–2008) = 5,2

Radegast

Polopozdní sladovnická odrůda, registrovaná v roce 2005, doporučena pro výrobu Českého piva. Je preferován některými sladovny a pivovary. Rostliny jsou středně vysoké, středně odolné proti poléhání a lámání stébla. Zrno je velké, podíl předního zrna středně vysoký. Odrůda je odolná vůči padlí travnímu, středně odolná proti rhynchosporiové a hnědé skvrnitosti, ale citlivější na rez ječnou. Udržovatelem odrůdy je Limagrain Central Europe Cereals, s. r. o. (Psota, 20012).

USJ (2008–2011) = 5,0

Sebastian

Polopozdní odrůda s výběrovou sladovnickou jakostí, registrovaná v roce 2005. Rostliny jsou nízké, středně odolné proti poléhání a lámání stébla. Zrno je středně velké, podíl předního zrna je středně vysoký. Odrůda je středně odolná vůči rzi ječné a hnědé skvrnitosti, ale méně odolná proti padlí travnímu a rhynchosporiové skvrnitosti. Udržovatelem odrůdy je společnost Sejet Planteforaedling (Psota, 2012; Ehrenbergerová *et al.*, 2010).

USJ (2008–2011) = 7,6

4.4 Sladování

Před vlastním procesem sladování bylo provedeno čištění a velikostní třídění vzorků ječmene. Pro výrobu sladu bylo použito zrno 1. jakostní třídy (přepad nad sítem s otvory 2,5 mm). Sladování probíhalo v laboratorní mikrosladovně Výzkumného

ústavu pivovarského a sladařského, a.s. (VÚPS), Sladařském ústavu Brno, kde byl standardním postupem (Tab. 12) připraven světlý slad plzeňského typu.

Tab. 12 Technologie laboratorního sladování (Cerkal *et al.*, 2010)

Proces		Doba trvání; podmínky
Máčení	1. den 2. den 3. den	4 h pod vodou, 20 h bez vody 6 h pod vodou, 18 h bez vody Namočení nebo dokropení pro dosažení 45% vlhkosti; Teplota vody a vzduchu byla vždy 14 °C
Klíčení	Máčení a klíčení celkem 6 dní	Při 14 °C, nepřetržité větrání, vzorky byly jedenkrát denně obráceny a kypřeny, ale nebyly dokrápěny
Hvozdění	22 h	Předsušení 12 h při 55 °C Vyhřátí 6 h z 55 °C na 80 °C Dotahování 4 h při 80 °C
Čištění		Odklíčení

4.5 Rozbory ječmene a sladu

U vytríděného zrna ječmene byly provedeny základní analýzy – hmotnost tisíce zrn, obsah škrobu, obsah dusíkatých látek a klíčivost. Kvalita sladu byla charakterizována obsahem extraktu v moučce, relativním extraktem při 45 °C, diastatickou mohutností, stupněm prokvašení po 72hodinách, obsahem dusíkatých látek, rozpustnými dusíkatými látkami, Kolbachovým číslem, friabilitou a obsahem β -glukanů ve sladině. Rozbory byly provedeny metodami podle Analytiky EBC (EBC Analysis Committee, 2009). Ukazatel sladovnické jakosti (USJ) byl vypočten z vybraných parametrů dle (Psota, Kosar 2002).

4.6 Stanovení antioxidační kapacity

Antioxidační kapacita jednotlivých vzorků byla stanovena metodami ABTS a DPPH v laboratořích Ústavu kvasné chemie a bioinženýrství Vysoké školy chemicko-technologické v Praze a Ústavu technologie potravin Mendelovy univerzity v Brně.

4.6.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků byla prováděna v laboratoři Ústavu pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství Mendelovy univerzity v Brně, kde byly odebrané vzorky zrna a sladu (30 g) každé ze šesti sladovnických odrůd (Aksamit, Bojos, Jersey, Prestige, Radegast

a Sebastian) rozemlety na laboratorním mlýnku QC 124 (Mezos, ČR) s velikostí síta 0,8 mm. Ve snaze o přiblížení se pivovarskému procesu byla jako extrakční činidlo použita pouze horká voda. V laboratoři Ústavu technologie potravin Mendelovy univerzity v Brně, bylo do rmutovací nádoby naváženo 25 g homogenizovaného meliva a přidáno 225 ml deionizované vody a následně řádně promícháno. Vzorky byly rmutovány ve 12místné rmutovací lázni (Bender a Hobein, SRN) 15 minut při teplotě 45 °C a poté byly vyjmuty a ponechány při pokojové teplotě 30 minut chladnout až na teplotu 25 °C. Takto ochlazené vzorky byly jednu hodinu filtrovány přes skládaný filtr (červená páska), přelity do uzavíratelných plastových vzorkovnic a do doby analýzy skladovány při teplotě -20 °C.

4.6.2 Metoda ABTS

4.6.2.1 Princip

Metoda je založena na schopnosti látek s antioxidačním účinkem zhaset tmavě zelený kation-radikál $ABTS^{+}$, který se chová jako akceptor vodíku a vzniká oxidací diamonné soli kyseliny 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonové). Míra úbytku zabarvení je sledována spektrofotometricky a je úměrná antioxidační kapacitě vzorku (Fidler, Kolářová, 2009).

4.6.2.2 Použité roztoky

Zásobní roztoky na přípravu acetátového pufru

Roztok A ($0,2 \text{ mol.l}^{-1}$ kyselina octová): 11,55 ml ledové kyseliny octové (CH_3COOH) bylo odměřeno do 1000 ml odměrné baňky, doplněno po rysku deionizovanou vodou a promícháno.

Roztok B ($0,2 \text{ mol.l}^{-1}$ acetát sodný): bylo naváženo 27,2 g trihydrátu acetátu sodného ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kvantitativně převedeno do 1000 ml odměrné baňky, doplněno po rysku deionizovanou vodou a promícháno.

Acetátový pufr ($0,1 \text{ mol.l}^{-1}$; pH 5)

V odměrné baňce o objemu 1000 ml bylo smícháno 148 ml zásobního roztoku A s 352 ml zásobního roztoku B, doplněno po rysku deionizovanou vodou a promícháno.

Roztok činidla ABTS (7 mmol.l⁻¹)

Bylo naváženo 19,2 mg ABTS (CAS 30931-67-0; Sigma-Aldrich, USA), kvantitativně převedeno do uzavíratelné plastové zkumavky a rozpuštěno v 5 ml deionizované vody a promícháno.

Roztok K₂S₂O₈ (140 mmol.l⁻¹)

Bylo naváženo 37,8 mg peroxidisíranu draselného (K₂S₂O₈), kvantitativně převedeno do mikrozkušavky, rozpuštěno v 1 ml deionizované vody a promícháno.

Pracovní roztok činidla ABTS⁺⁺

Bylo smícháno 88 µl roztoku K₂S₂O₈ (140 mmol.l⁻¹) s 5 ml roztoku ABTS (7 mmol.l⁻¹). Roztok byl skladován v temnu při laboratorní teplotě po dobu 12 až 16 hodin. V den použití byl zředěn acetátovým pufrem tak, aby měl při 734 nm hodnotu absorbance 0,700 ± 0,02. Této hodnotě odpovídalo přibližně 50 až 80 ml acetátového pufru na 1 ml roztoku činidla ABTS⁺⁺.

Zásobní roztok Troloxu (5 mmol.l⁻¹)

Bylo naváženo 12,5 mg Troloxu (CAS 53188-07-1; Sigma-Aldrich, USA), kvantitativně převedeno do odměrné baňky o objemu 10 ml, doplněno po rysku methanolem a promícháno.

Kalibrační roztoky Troloxu

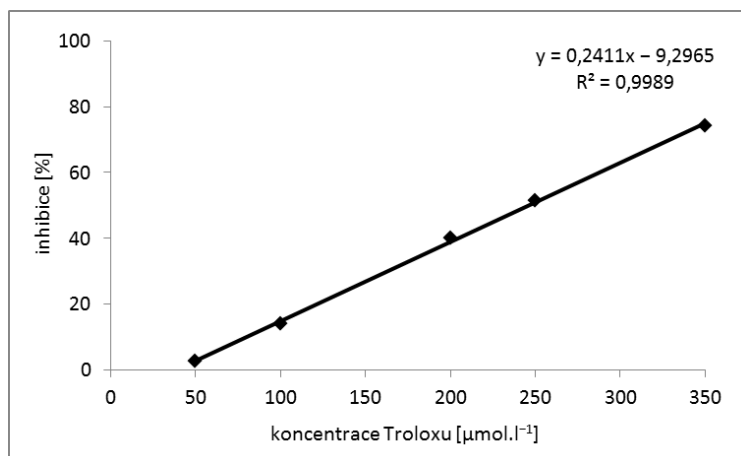
Ředěním zásobního roztoku Troloxu acetátovým pufrem byla připravena kalibrační řada o koncentracích 50, 100, 200, 250 a 350 µmol.l⁻¹. Rozmezí těchto koncentrací bylo určeno experimentálně.

4.6.2.3 Pracovní postup

Absorbance (A) byla měřena v polystyrenových kyvetách (Brand, SRN) při vlnové délce 734 nm a teplotě 20 °C na přístroji DU 730 (Beckman Coulter, USA; VŠCHT) nebo Helios Gamma 9423 UVG 1000E (Thermo Electron Corporation, USA; MENDELU). Slepý vzorek byl připraven odpipetováním 1000 µl roztoku činidla ABTS⁺⁺ a 100 µl acetátového pufru. Po důkladném promíchání byla změřena absorbance, která byla využita k výpočtu procenta inhibice radikálu ABTS⁺⁺ všech vzorků, které odpovídá intenzitě odbarvení roztoku činidla ABTS⁺⁺, dle vztahu:

$$\% \text{ inhibice} = \frac{A_{\text{slepého vzorku}} - A_{\text{vzorku}}}{A_{\text{slepého vzorku}}} \times 100$$

Z každého kalibračního roztoku standardu Troloxu bylo do kyvety odpipetováno 100 μl , 1000 μl roztoku činidla ABTS^{*+} a důkladně promícháno. Absorbance byla měřena po 10 minutách. Z vypočítané inhibice zbarvení a koncentrace byla sestavena kalibrační křivka (Obr. 10).



Obr. 10 Příklad kalibrační křivky Troloxu pro metodu ABTS

Pro vlastní analýzu bylo do kyvety odpipetováno 1000 μl roztoku činidla ABTS^{*+} , 100 μl vzorku a důkladně promícháno. Absorbance byla měřena po 10 minutách od začátku reakce. Původní modrozelené zbarvení roztoku bylo působením látek s antioxidačními účinky odbarveno. Míra úbytku zbarvení byla vyjádřena v procentech. Antioxidační kapacita vzorku byla vypočtena lineární regresí z kalibrační křivky a byla vyjádřena jako TEAC jednoho gramu sušiny vzorku.

4.6.3 Metoda DPPH

4.6.3.1 Princip

Metoda je založena na schopnosti látek s antioxidačním účinkem zhaset tmavě fialově zbarvený stabilní volný radikál DPPH (1,1-difenyl-2-(2,4,6-trinitrofenyl)hydrazyl), který může být díky své struktuře akceptorem atomu vodíku a přejít do formy stabilní diamagnetické molekuly. Intenzivní fialové zbarvení je způsobeno nepárovým elektronem na dusíku hydrazylu. Míra úbytku zbarvení je sledována spektrofotometricky a je úměrná antioxidační kapacitě vzorku (Karabín *et al.*, 2006).

4.6.3.2 Použité roztoky

Zásobní roztoky na přípravu acetátového pufru

Roztok A ($0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ kyselina octová): 5,775 ml ledové kyseliny octové (CH_3COOH) bylo odměřeno do 1000 ml odměrné baňky, doplněno po rysku deionizovanou vodou a promícháno.

Roztok B ($0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ acetát sodný): bylo naváženo 13,6 g trihydrátu acetátu sodného ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kvantitativně převedeno do 1000 ml odměrné baňky, doplněno po rysku deionizovanou vodou a promícháno.

Acetátový pufr ($0,1 \text{ mol.l}^{-1}$; pH 4,3)

Acetátový pufr byl připraven pomocí titrace za stálého míchání na magnetické míchačce a měření pH. Roztok A (200 ml) byl titrován roztokem B do hodnoty pH 4,3.

Methanol-acetátový pufr

Do baňky o objemu 500 ml bylo přidáno 200 ml methanolu (CH_3OH) a 100 ml acetátového pufru. Vzniklý roztok byl promíchán.

Pracovní roztok činidla DPPH ($186 \mu\text{mol.l}^{-1}$)

Bylo naváženo 18,3 mg DPPH (CAS 1898-66-4; Sigma-Aldrich, USA), kvantitativně převedeno do odměrné baňky o objemu 250 ml, doplněno po rysku směsí methanol-acetátového pufru a důkladně promícháno. Roztok byl skladován v temnu při teplotě $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Zásobní roztok Troloxu (5 mmol.l^{-1})

Viz kapitola 4.6.2.2.

Kalibrační roztoky Troloxu

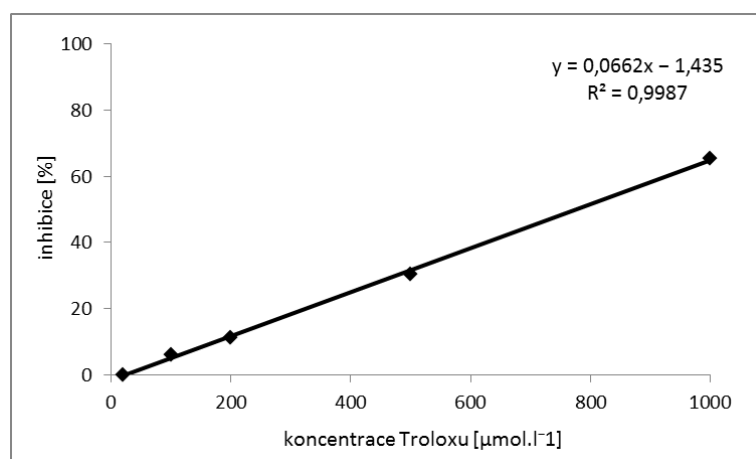
Ředěním zásobního roztoku Troloxu acetátovým pufrem byla připravena kalibrační řada o koncentracích 20, 100, 200, 500 a $1000 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Rozmezí těchto koncentrací bylo určeno experimentálně.

4.6.3.3 Pracovní postup

Absorbance byla měřena v polystyrenových kyvetách (Brand, SRN) při vlnové délce 515 nm a teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ na přístroji DU 730 (Beckman Coulter, USA; VŠCHT) nebo Helios Gamma 9423 UVG 1000E (Thermo Electron Corporation, USA; MENDELU). Slepý vzorek byl připraven odpipetováním $1900 \mu\text{l}$ pracovního roztoku činidla DPPH

a 100 μl acetátového pufru. Po důkladném promíchání byla změřena absorbance, která byla využita k výpočtu procenta inhibice radikálu DPPH všech vzorků, které odpovídá intenzitě odbarvení roztoku činidla DPPH, dle vztahu uvedeném v kapitole 4.6.2.3.

Z každého kalibračního roztoku standardu Troloxu bylo do kyvety odpipetováno 100 μl , 1900 μl roztoku činidla DPPH a důkladně promícháno. Absorbance byla měřena po 10 minutách. Z vypočítané inhibice zabarvení a koncentrace byla sestavena kalibrační křivka (Obr. 11).



Obr. 11 Příklad kalibrační křivky Troloxu pro metodu DPPH

Pro vlastní analýzu bylo do kyvety odpipetováno 1900 μl roztoku činidla DPPH, 100 μl vzorku a důkladně promícháno. Absorbance byla měřena po 10 minutách od začátku reakce. Původní fialové zbarvení roztoku bylo působením látek s antioxidačními účinky odbarveno. Míra úbytku zabarvení byla vyjádřena v procentech. Antioxidační kapacita vzorku byla vypočtena lineární regresí z kalibrační křivky a byla vyjádřena jako TEAC jednoho gramu sušiny vzorku.

4.7 Zpracování výsledků

Výsledky antioxidační kapacity (TEAC) zrna ječmene jarního a sladu byly zpracovány v programu Excel 2010 (Microsoft, USA), statistické zpracování bylo provedeno v programech GenStat 16 (VSN International, UK) a STATISTICA 12 (StatSoft, Inc., USA). Statistické zpracování bylo provedeno pomocí obecného lineárního modelu, analýzy variance, shlukové analýzy a analýzy hlavních komponent. Statistická významnost rozdílů mezi úrovněmi jednotlivých faktorů byla testována pomocí metody

nejmenších významných rozdílů (LSD) na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Těsnost lineární závislosti mezi jednotlivými znaky byla vyjádřena korelačními koeficienty dle Pearsona (r). V této práci jsou veškeré korelační koeficienty označeny symbolem * statisticky významné při $\alpha = 0,05$; ** při $\alpha = 0,01$ a *** při $\alpha = 0,001$.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Antioxidační kapacita zrna ječmene a sladu

Stanovená antioxidační kapacita vodných výluhů souboru vzorků ječmene a sladu (Tab. 17 v příloze) se u metody ABTS pohybovala v rozmezí 1,601 až 2,993 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, v průměru 2,272 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, respektive 2,205 až 3,342 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, v průměru 2,811 $\mu\text{mol.g}^{-1}$. Hodnoty TEAC byly metodou DPPH stanoveny v intervalu 0,908 až 2,037 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, v průměru 1,435 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u zrna ječmene, u sladu v rozmezí 1,183 až 3,185 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, v průměru 2,279 $\mu\text{mol.g}^{-1}$.

Autoři Zhao *et al.* (2008) stanovili hodnoty TEAC zrna 14 odrůd sladovnického ječmene v intervalu 11,39 až 13,58 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ sušiny metodou ABTS a 9,33 až 11,78 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ sušiny metodou DPPH. Vzorky rozemletého zrna byly extrahovány v ultrazvukové lázni po dobu jedné hodiny při teplotě 20 °C, přičemž jako extrakční činidlo byl použit 80% roztok acetonu. Madhujith, Shahidi (2006) stanovili TEAC vzorků zrna šesti odrůd ječmene pomocí metody ABTS v rozmezí 3,74 až 6,82 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ materiálu prostého tuku. Extrakce vzorků byla provedena 80% roztokem methanolu při 60 °C po dobu 30 minut. Lahouar *et al.* (2014) uvádějí, že výsledné hodnoty TEAC stanovené metodou ABTS vzorků zrna čtyř odrůd ječmene byly stanoveny v intervalu 313,21 až 372,97 $\mu\text{mol Troloxu}$ na 100 g čerstvé hmoty, přičemž extrakce vzorků byla provedena okyseleným methanolem při pokojové teplotě po dobu dvou hodin. Madhujith *et al.* (2006) ve svém experimentu stanovili hodnoty TEAC dvou odrůd ječmene pomocí metody ABTS v rozmezí 0,45 až 59,71 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ materiálu prostého tuku, kdy extrakce vzorků byla provedena pomocí 80% roztoku methanolu při 60 °C po dobu 30 minut. Zároveň uvádějí, že většina látek s antioxidačními účinky je soustředěna v obalových vrstvách zrna ječmene, jelikož hodnoty TEAC vzorků se snižovaly se zvyšujícím se podílem odstraněných obalových vrstev. Bonoli *et al.* (2004) stanovili TEAC zrna ječmene metodou DPPH v intervalu 25,01 až 426,74 $\mu\text{mol Troloxu}$ na 100 g vzorku, přičemž nejvyšších hodnot bylo dosaženo při užití acetonu jako extrakčního činidla a u vzorků kysele hydrolyzovaných, u kterých docházelo k vyššímu uvolnění vázaných fenolových sloučenin. Autoři Lu *et al.* (2007) stanovili hodnoty TEAC vzorků sladu dvou odrůd ječmene pomocí metody ABTS v rozmezí 14,22 až 14,79 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ sušiny a pomocí metody DPPH v intervalu 12,56 až

13,42 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ sušiny. Extrakce rozemletých vzorků byla provedena 80% roztokem acetonu v ultrazvukové lázni po dobu jedné hodiny při 20 °C. Autoři Zhao, Zhao (2012) stanovili TEAC sladu vyrobeného z 20 odrůd sladovnického ječmene v rozmezí 11,6 až 18,8 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ sušiny metodou ABTS a 9,0 až 13,4 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ sušiny metodou DPPH, přičemž vzorky byly připraveny extrakcí rozemletého sladu v ultrazvukové lázni po dobu jedné hodiny při teplotě 20 °C a jako extrakční činidlo byl použit 80% roztok acetonu.

Hodnoty antioxidační kapacity sladu byly o 23,7 % vyšší než u zrna ječmene u metody ABTS, u metody DPPH o 58,8 %. Mezi hodnotami TEAC zrna ječmene a sladu byly zjištěny statisticky významné vztahy, kdy silnější korelace byla nalezena u výsledků metody ABTS ($r = 0,704^{***}$) a slabší vztah ($r = 0,563^{***}$) byl zjištěn u výsledků metody DPPH. Rozdílné výsledky TEAC zrna ječmene a sladu mohou být vysvětleny změnami v obsahu látek s antioxidačními účinky během procesu sladování, zejména klíčení a hvozdění, kdy dochází k uvolnění vázaných fenolových sloučenin z buněčných struktur a snadnější extrakci fenolových kyselin díky křehčímu charakteru sladu. Na antioxidačních vlastnostech sladu se podílejí také cukerné reduktony, melanoidiny a další látky, které vznikají při hvozdění jako produkty Maillardových reakcí a tepelného rozkladu sacharidů (Maillard, Berset, 1995; Maillard *et al.*, 1996; Goupy *et al.*, 1999; Selecký, Šmogrovičová, 2006; Lu *et al.*, 2007; Dvořáková *et al.*, 2008a; Dvořáková *et al.*, 2008b; Mikulíková *et al.*, 2008; Omwamba, Hu, 2009; Běláková *et al.*, 2010; Qingming *et al.*, 2010; Benkovská *et al.*, 2011; Mazzeo *et al.*, 2011; Míkyška *et al.*, 2011; Čechovská *et al.*, 2012; Leitao *et al.*, 2012; Šavel *et al.*, 2012; Inns *et al.*, 2011; Wunderlich *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2014; Cejpek, 2014).

Rozdílné výsledky antioxidační kapacity zrna ječmene a sladu v porovnání s ostatními autory mohou být vysvětleny především použitím odlišných extrakčních činidel a postupů při přípravě vzorků. Významný vliv zvoleného extrakčního činidla na hodnocení antioxidačních vlastností popisují autoři Zhao *et al.* (2006), kteří u vzorků zrna tří odrůd ječmene zkoumali čtyři druhy použitého extrakčního činidla (80% aceton, 80% methanol, 80% ethanol a vodu). U stanovení metodou ABTS vykazovaly nejvyšší výsledky vzorky extrahované pomocí acetonu, které se statisticky průkazně ($\alpha = 0,05$) lišily od výsledků vzorků extrahovaných methanolem. Nejnižší hodnoty antioxidační kapacity vykazovaly vzorky připravené extrakcí ethanolem nebo vodou, mezi kterými nebyl zjištěn významný rozdíl, avšak statisticky průkazně se lišily od vzorků

extrahovaných methanolem i acetonem. U metody DPPH byly nalezeny statisticky průkazné rozdíly mezi všemi použitými extrakčními činidly v sestupném pořadí aceton, methanol, ethanol a voda. Vliv použitého extrakčního činidla na rozdílné hodnoty antioxidačních účinků popisují ve svých publikacích také autoři Bonoli *et al.* (2004), Liu, Yao (2007), Serpen *et al.* (2008), Gökmen *et al.* (2009).

Výsledky antioxidační kapacity zrna ječmene jarního a sladu byly statisticky zpracovány pomocí obecného lineárního modelu. Z výsledků analýzy variance (Tab. 13) je zřejmé, že na variabilitě TEAC se podílejí všechny sledované faktory. Lze tedy konstatovat, že v realizovaném pokusu byla antioxidační kapacita zrna ječmene a sladu ovlivněna všemi sledovanými faktory, přičemž nejvýznamnější ($\alpha = 0,001$) byl v sestupném pořadí vliv ročníku, odrůdy a varianty ošetření (aplikace zinečnatého hnojiva; Tab. 14).

Tab. 13 Výsledky analýzy variance antioxidační kapacity zrna ječmene jarního a sladu

Zdroj proměnlivosti	d.f.	M.S.			
		Zrno		Slad	
		ABTS	DPPH	ABTS	DPPH
Odrůda	5	0,9228***	0,3177***	0,4574***	1,6712***
Varianta	2	0,8534***	0,3215***	0,2523***	0,2727***
Rok	2	2,7359***	2,6442***	1,4238***	9,8166***
Reziduum	152	0,0123	0,0063	0,0148	0,0243

Pozn.: d.f. – degrees of freedom (stupně volnosti); M.S. – mean square (průměrný čtverec); *** – $p < 0,001$.

Tab. 14 Podíl vlivu sledovaných faktorů na variabilitě TEAC zrna ječmene a sladu

Faktor	Podíl vlivu [%]			
	Zrno		Slad	
	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH
Odrůda	33,79	18,75	29,01	25,93
Varianta	12,50	7,59	6,40	1,69
Rok	40,07	62,41	36,12	60,92
Nevysvětleno	13,64	11,25	28,47	11,46

5.1.1 Vliv ročníku na antioxidační kapacitu zrna ječmene jarního a sladu

Průběh povětrnostních podmínek může do značné míry ovlivnit prakticky všechny parametry produkce většiny kulturních plodin. Také antioxidační kapacita zrna ječmene jarního a sladu, byla statisticky průkazně ovlivněna především tímto faktorem. Ve

sledovaných letech byly průměrné hodnoty antioxidační kapacity vzorků zrna ječmene jarního (TEAC) napříč odrůdami a variantami ošetření nalezeny v rozmezí 2,126 až 2,531 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u metody ABTS a 1,223 až 1,664 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u metody DPPH, přičemž rozdíl u jednotlivých metod představoval více než 19, respektive 36 %. Statisticky nejvyšší hodnoty vykazovaly u obou metod vzorky z roku 2010 a nejnižší z roku 2009 (Tab. 15).

Výsledky potvrzují poznatky o vlivu slunečního záření (Stratil *et al.*, 2006; Vanbeneden *et al.*, 2007) a obsahu bílkovin (Kosař *et al.*, 2000) na obsah látek s antioxidačními účinky v zrně ječmene. Nejvyšší hodnoty TEAC byly naměřeny u vzorků zrna ječmene jarního z roku 2010. V tomto roce byla zároveň zaznamenána nejvyšší hodnota globální radiace v součtu dvou posledních měsíců vegetačního období ječmene, ve kterých dochází k tvorbě a dozrávání zrna (Tab. 8). Nejnižší průměrné hodnoty antioxidační kapacity vykazovaly vzorky zrna ječmene z roku 2009, u kterých byl zároveň stanoven nejvyšší průměrný obsah dusíkatých látek (12,04 %, Tab. 16).

Statisticky významný vliv ročníku sklizně na obsah látek s antioxidačními účinky v zrně ječmene publikovali také autoři Březinová Belcredi *et al.* (2010a; 2010b), Mikyška *et al.* (2010b), Ehrenbergerová *et al.* (2011; 2012). Autoři Ehrenbergerová *et al.* (2009) popisují významný vliv ročníku na obsah antioxidačních enzymů v zelených částech rostlin ječmene jarního.

Ve sledovaném období byly průměrné hodnoty TEAC sladu napříč odrůdami a variantami ošetření nalezeny v intervalu 2,708 až 2,998 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u metody ABTS a 1,805 až 2,632 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u metody DPPH. Rozdíl v naměřených hodnotách u jednotlivých metod představoval téměř 11, respektive 46 %. Také u sladu byla v průměru ročníků zjištěna metodou ABTS nejvyšší antioxidační kapacita v roce 2010, přičemž jak u zrna ječmene jarního, tak u sladu se rok 2010 statisticky lišil od ostatních ročníků. Metodou DPPH byla u vzorků sladu zjištěna nejvyšší průměrná hodnota v roce 2011, přičemž mezi všemi sledovanými ročníky byly podobně jako u zrna ječmene nalezeny statisticky průkazné rozdíly (Tab. 15).

Dominantní vliv ročníku na antioxidační kapacitu vzorků zrna ječmene jarního a sladu je zřejmý u výsledků stanovených metodou DPPH, zatímco výsledky metody ABTS vykazují ve vyšší míře závislost odrůdovou (Tab. 14). Převládající vliv ročníku na sladovnickou kvalitu zrna ječmene a současně jeho antioxidační kapacitu je zjevný z výsledků klastrové analýzy (Obr. 17 v příloze). Fyziologické a biochemické změny

během procesu sladování vedly k rozmělnění sledovaného souboru, přičemž jednoznačně se vydělil pouze rok 2009 (Obr. 18 v příloze).

Tab. 15 Průměrné hodnoty TEAC zrna ječmene jarního a sladu a výsledky testování rozdílů mezi úrovněmi faktorů LSD testem

Faktor		TEAC [$\mu\text{mol.g}^{-1}$]			
		Zrno		Slad	
		ABTS	DPPH	ABTS	DPPH
Odrůda	Aksamit	2,500 ^a	1,574 ^a	2,869 ^b	2,254 ^b
	Bojos	2,136 ^c	1,414 ^c	2,727 ^c	2,110 ^c
	Jersey	2,416 ^b	1,496 ^b	2,967 ^a	2,610 ^a
	Prestige	2,391 ^b	1,493 ^b	2,927 ^{ab}	2,539 ^a
	Radegast	2,068 ^d	1,275 ^e	2,632 ^d	1,970 ^d
	Sebastian	2,118 ^{cd}	1,356 ^d	2,743 ^c	2,188 ^{bc}
	LSD (0,05)	0,060	0,043	0,065	0,084
Varianta	K	2,392 ^a	1,512 ^a	2,861 ^a	2,348 ^a
	Zn1	2,281 ^b	1,434 ^b	2,839 ^a	2,282 ^b
	Zn2	2,141 ^c	1,358 ^c	2,733 ^b	2,206 ^c
	LSD (0,05)	0,042	0,030	0,046	0,059
Rok	2009	2,126 ^b	1,223 ^c	2,726 ^b	1,805 ^c
	2010	2,531 ^a	1,664 ^a	2,998 ^a	2,398 ^b
	2011	2,158 ^b	1,416 ^b	2,708 ^b	2,632 ^a
	LSD (0,05)	0,042	0,030	0,046	0,059

Pozn.: Hodnoty označené různými písmeny ve stejných sloupcích jsou od sebe statisticky významně odlišné při $\alpha = 0,05$; LSD – least significant difference (nejmenší významný rozdíl); K – kontrola; Zn1 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 31; Zn2 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 55.

Tab. 16 Průměrné hodnoty vybraných parametrů u analyzovaných vzorků zrna ječmene jarního a sladu v letech 2009 až 2011 (v průměru odrůd a variant ošetření)

Rok	HTZ [g]	OŠK [%]	OBZ [%]	EVM [%]	RE45 [%]	DM [j.WK]	SP72 [%]	OBS [%]	KČ [%]	FRI [%]	B-GL [mg/l]	USJ
2009	48,32	63,34	12,04	81,18	39,40	377,22	80,11	11,44	43,37	81,20	206,37	3,59
2010	43,80	64,80	9,28	83,69	40,02	318,83	80,40	8,74	46,00	90,99	183,52	6,09
2011	49,02	64,92	9,57	83,57	36,66	336,48	80,56	9,08	44,26	82,93	309,70	4,15

Pozn.: HTZ – hmotnost tisíce zrn; OŠK – obsah škrobu; OBZ – obsah bílkovin v zrně; EVM – extrakt v moučce; RE 45 – relativní extrakt při 45 °C; DM – diastatická mohutnost; jWK – jednotky Windish-Kolbacha; SP 72 – stupeň prokvašení po 72hodinách; OBS – obsah bílkovin ve sladu; KČ – Kolbachovo číslo; FRI – friabilita; B-GL – obsah β -glukanů ve sladině; USJ – ukazatel sladovnické jakosti.

5.1.2 Vliv odrůdy na antioxidační kapacitu zrna ječmene a sladu

Druhým nejvýznamnějším faktorem, který se ve sledovaném pokusu statisticky průkazně ($\alpha = 0,001$) podílel na variabilitě antioxidační kapacity vzorků zrna ječmene jarního a sladu, byla odrůda (Tab. 13).

Průměrné hodnoty TEAC zrna jednotlivých odrůd ječmene jarního napříč ročníky a variantami ošetření byly u metody ABTS stanoveny v rozmezí 2,068 až 2,500 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, přičemž rozdíl představoval téměř 21 %. Nejvyšší průměrná hodnota antioxidační kapacity byla zjištěna u odrůdy Aksamit, která statisticky významně lišila od odrůd Jersey (2,416 $\mu\text{mol.g}^{-1}$) a Prestige (2,39 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Nejnižší hodnota byla zjištěna u odrůdy Radegast, která se statisticky nelišila od odrůdy Sebastian (2,118 $\mu\text{mol.g}^{-1}$), ale byla statisticky odlišná od odrůdy Bojos (2,136 $\mu\text{mol.g}^{-1}$; Tab. 15).

Metodou DPPH byla antioxidační kapacita zrna souboru odrůd ječmene v průměru ročníků a variant zjištěna v intervalu 1,275 až 1,574 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ a rozdíl zde představoval téměř 24 %. Nejvyšší hodnota TEAC byla zjištěna u odrůdy Aksamit, která se opět statisticky významně lišila od odrůd Jersey (1,496 $\mu\text{mol.g}^{-1}$) a Prestige (1,493 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Statisticky průkazně nižší hodnotu antioxidační kapacity než tyto dvě odrůdy poskytla odrůda Bojos (1,414 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Nejnižší hodnotu TEAC měla z celého souboru odrůda Radegast, která byla statisticky významně nižší než u odrůdy Sebastian (1,358 $\mu\text{mol.g}^{-1}$; Tab. 15). Ve výsledcích stanovení antioxidační kapacity zrna ječmene je u obou použitých metod patrný stejný trend, přičemž nejvyšší hodnoty vykazovala odrůda Aksamit a nejnižší odrůda Radegast. Významný vliv odrůdy na obsah antioxidačních látek v zrně ječmene uvádějí také autoři Zhao *et al.* (2008), Běláková *et al.* (2010), Březinová Belcredi *et al.* (2010a; 2010b), Mikyška *et al.* (2010b), Ehrenbergerová *et al.* (2011; 2012), Karabín *et al.* (2013), Lahouar *et al.* (2014).

Výsledky antioxidační kapacity sladu stanovené metodou ABTS, se v průměru ročníků a variant ošetření pohybovaly v rozmezí 2,632 až 2,967 $\mu\text{mol.g}^{-1}$. Rozdíl v naměřených hodnotách zde představoval téměř 13 %. Nejvyšší hodnotu TEAC poskytla z celého souboru odrůda Jersey, která se statisticky nelišila od výsledků odrůdy Prestige (2,927 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Odrůda Aksamit (2,869 $\mu\text{mol.g}^{-1}$) vykazovala průkazně nižší hodnotu ve srovnání s odrůdou Jersey, avšak od odrůdy Prestige se nelišila. Nejnižší hodnota antioxidační kapacity byla zjištěna u sladu připraveného z odrůdy Radegast, která se statisticky významně lišila od hodnot odrůd Bojos (2,727 $\mu\text{mol.g}^{-1}$) a Sebastian

(2,743 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Odrůdy Bojos a Sebastian se také statisticky průkazně lišily od odrůdy Aksamit (Tab. 15).

Průměrné hodnoty TEAC sladu v rámci jednotlivých odrůd, napříč ročníky a variantami ošetření zinečnatým hnojivem, byly metodou DPPH stanoveny v intervalu 1,970 až 2,610 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, což představuje rozdíl téměř 33 %. Nejvyšší hodnotu antioxidační kapacity sladu vykazovala odrůda Jersey, která se statisticky nelišila od odrůdy Prestige (2,539 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Od těchto dvou odrůd byly statisticky významně odlišeny slady odrůd Aksamit (2,254 $\mu\text{mol.g}^{-1}$) a Sebastian (2,188 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Nejnižší hodnoty poskytla odrůda Radegast, která byla statisticky průkazně odlišná od odrůdy Bojos (2,110 $\mu\text{mol.g}^{-1}$). Mezi odrůdami Bojos a Sebastian nebyl nalezen statisticky významný rozdíl (Tab. 15). Stejně jako u analýz zrna ječmene jarního, byl mezi výsledky obou použitých metod pro stanovení antioxidační kapacity sladu nalezen stejný trend. Nejvyšší hodnoty TEAC byly stanoveny u odrůdy Jersey následované odrůdami Prestige a Aksamit. Nejnižší hodnoty byly opět nalezeny u odrůdy Radegast. U sladů vyrobených z odrůd Jersey a Prestige byla zároveň zjištěna nejvyšší míra sacharolytické a proteolytické modifikace (hodnota relativního extraktu při 45 °C). V obdobných studiích popisují autoři Dvořáková *et al.* (2008a), Zhao, Zhao (2012) významný vliv odrůdy na antioxidační vlastnosti, přičemž průkazné rozdíly mezi jednotlivými genotypy přisuzují především různému obsahu fenolických látek. Ty jsou uvolňovány z vazby na proteiny a sacharidy působením hydrolytických enzymů v průběhu klíčení. V souladu s prezentovanými výsledky jsou také výsledky studie autorů Míkyška *et al.* (2011) na částečně shodném spektru odrůd, kde byly nejnižší obsah polyfenolových látek i nejnižší hodnoty redukčního potenciálu sladin, zjištěny u odrůdy Radegast.

5.1.3 Vliv varianty ošetření zinkem na antioxidační kapacitu zrna ječmene a sladu

Výsledky analýzy variance prokázaly také nezanedbatelný vliv foliární aplikace zinečnatého hnojiva na TEAC vzorků zrna ječmene jarního a sladu (Tab. 13), i když tento byl ze všech sledovaných faktorů nejmenší (Tab. 14).

Průměrné hodnoty antioxidační kapacity zrna ječmene v rámci variant pokusu, napříč ročníky a odrůdami, se pohybovaly v rozmezí 2,141 až 2,392 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u metody ABTS a 1,358 až 1,512 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u metody DPPH, přičemž rozdíl v naměřených

hodnotách představoval u obou použitých metod téměř 12 %. Nejvyšší hodnoty TEAC zrna, stanovené pomocí obou metod, byly zaznamenány u kontrolních variant, přičemž mezi všemi variantami ošetření byly nalezeny statisticky významné rozdíly (Tab. 15).

Průměrné hodnoty TEAC sladu napříč ročníky a odrůdami byly metodou ABTS zjištěny v intervalu 2,733 až 2,861 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ a metodou DPPH v rozmezí 2,206 až 2,348 $\mu\text{mol.g}^{-1}$. Rozdíl v naměřených hodnotách představoval u jednotlivých metod téměř 5, respektive 7 %. U metody ABTS byly nejvyšší hodnoty antioxidační kapacity zjištěny u kontrolní varianty, která se společně s variantou Zn1 statisticky průkazně lišila od varianty Zn2. Také metodou DPPH byly nalezeny nejvyšší hodnoty TEAC sladu u kontrolní varianty, přičemž stejně jako u zrna ječmene, byly mezi všemi variantami ošetření zjištěny statisticky významné rozdíly (Tab. 15).

Z těchto výsledků tedy lze konstatovat, že foliární aplikace zinečnatého hnojiva se ve srovnání s kontrolní neošetřenou variantou projevila průkazným snížením antioxidační kapacity zrna ječmene i sladu. Tento jev by mohl být vysvětlen zvýšenou produkcí fenolových látek rostlinami v reakci na stresové podmínky. Cakmak (2008) uvádí, že nedostatek zinku se u rostlin projevuje nadměrným hromaděním fosforu, které může na listech vyvolat toxické symptomy. Nedostatečná výživa zinkem může být přitom způsobena kromě jeho nízkého obsahu v půdě také jeho nedostupností pro rostliny, vzhledem k fyzikálním a chemickým vlastnostem půdy. Zároveň také uvádí, že pro příjem zinku rostlinami je rozhodující také termín jeho foliární aplikace, přičemž vyšší obsah zinku v zrnu pšenice byl zjištěn po aplikaci hnojiva v pozdních fázích růstu. Účinky foliární aplikace zinečnatého hnojiva na rostliny ječmene jarního sledovali autoři Cerkal *et al.* (2010). Došli k závěru, že aplikace zinečnatého hnojiva pozitivně ovlivnila mechanické vlastnosti zrna ječmene, tedy HTZ (zvýšení o 1,7 %) a přepad zrna na síť 2,5 mm (zvýšení o téměř 9 %). Naproti tomu ale hodnoty nejsledovanějších ukazatelů jakosti zrna – dusíkatých látek a škrobu ovlivněny nebyly. Autoři Dvořáková *et al.* (2010) studovali vliv hnojení (20 kg.ha^{-1} N) na antioxidační kapacitu ječmene. Jejich výsledky dokazují, že vliv hnojení dusíkem na antioxidační vlastnosti zrna není zřejmý a že závisí především na odrůdě.

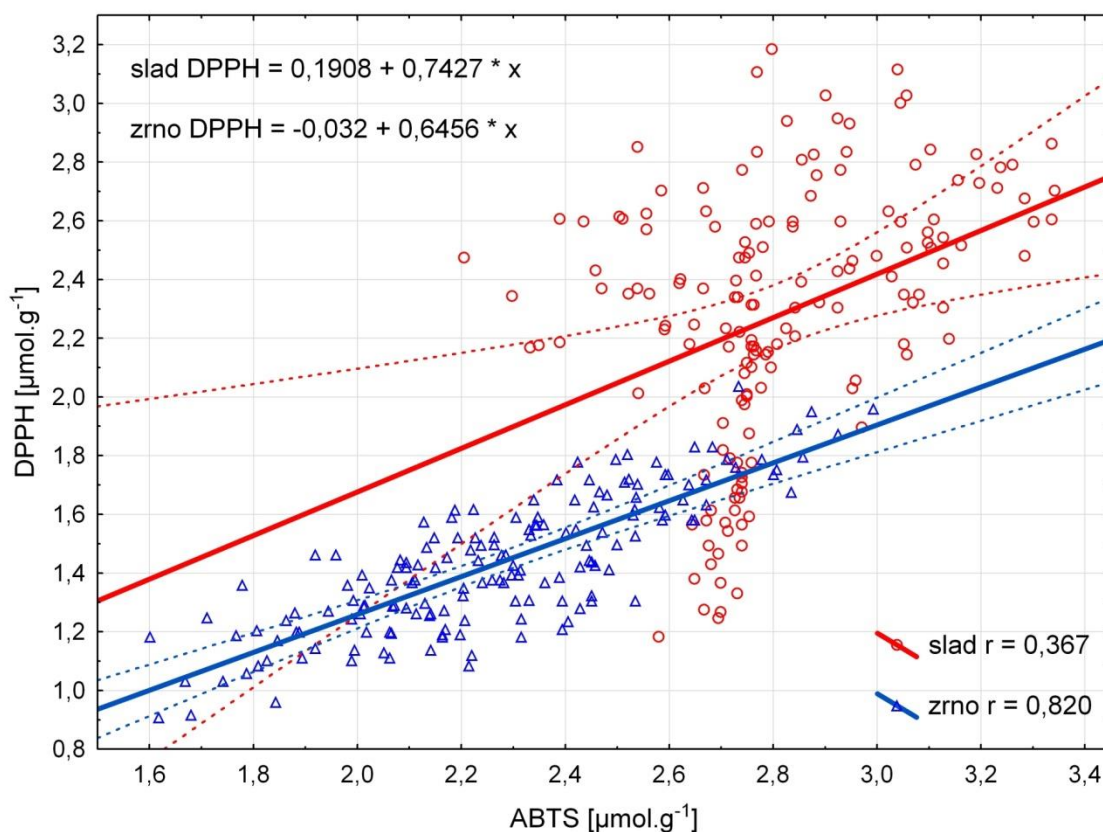
5.2 Porovnání použitých metod

Metody pro stanovení antioxidačních účinků mohou být založeny na různém reakčním mechanismu a často proto poskytují rozdílné výsledky. Kromě toho je odezva fenolových látek u rozdílných metod závislá také na jejich chemické struktuře (Zhao *et al.*, 2008). Ve srovnání s metodou ABTS poskytuje metoda DPPH, při obdobném trendu výsledků, nižší hodnoty vztažené na Trolox. To lze vysvětlit vyšší stabilitou DPPH radikálu, která je příčinou nižší reaktivity (Stratil *et al.*, 2007). Redukční potenciál DPPH radikálu je $-1,2$ V, zatímco redukční potenciál radikálu ABTS je $-0,67$ V a je shodný s dalším, v pivovarské analytice běžně používaným radikálem DCPI (2,6-dichlorophenolindophenol). Reaktivita DPPH s antioxidanty, je kromě jejich struktury závislá také na počtu hydroxylových skupin (Brand-Williams *et al.*, 1995). Radikál DPPH dobře reaguje s polyfenoly (katechiny, proanthokyanidiny), ale s některými fenolovými kyselinami a cukry reagují pomalu, případně vůbec (Kaneda *et al.*, 1995; Villaño *et al.*, 2007). Výhodou radikálu ABTS je jeho vysoká reaktivita, díky čemuž metoda pravděpodobně detekuje i další skupiny antioxidantů. Na druhou stranu je příprava činidla ABTS náročnější a činidlo je poměrně nestabilní, což může ovlivňovat výsledky analýz (Stratil *et al.*, 2007).

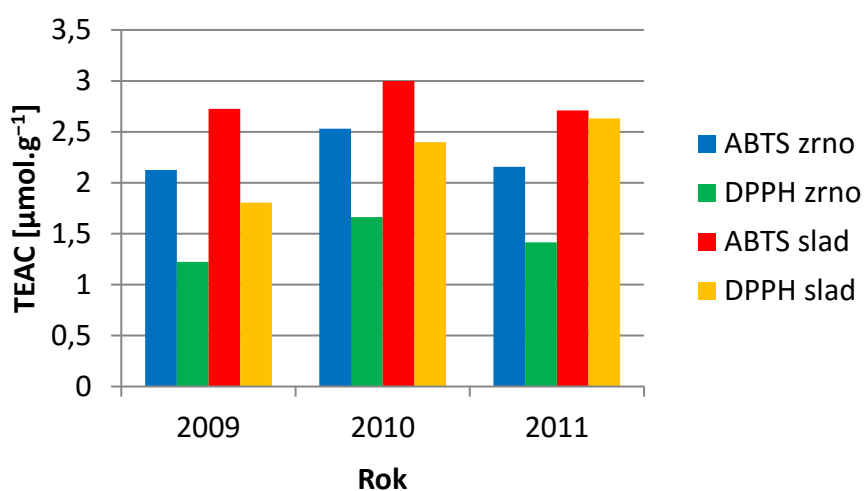
Mezi výsledky antioxidační kapacity vzorků zrna ječmene jarního stanovené metodami ABTS a DPPH byl zjištěn statisticky průkazný vztah ($r = 0,820^{***}$), přičemž výsledky metody ABTS byly v průměru o 58,4 % vyšší než výsledky metody DPPH. Výpovědní hodnota obou použitých metod pro porovnání vzorků zrna ječmene z hlediska antioxidační kapacity je obdobná.

Mezi výsledky stanovení TEAC vzorků sladu pomocí metod ABTS a DPPH byla nalezena výrazně nižší korelace ($r = 0,367^{***}$) a z obr. 12 je patrné, že zde došlo k většímu rozptylu výsledků použitých metod. Tato skutečnost by mohla být vysvětlena změnami ve složení obilky během procesu sladování a také ročníkem sklizně. V jednotlivých ročnících totiž byly zjištěny poměrně silné korelace hodnot antioxidační kapacity sladu stanovené metodami ABTS a DPPH ($r = 0,724^{***}$, $r = 0,717^{***}$ a $r = 0,682^{***}$). Výsledky TEAC sladu stanovené metodou ABTS byly ve srovnání s metodou DPPH v průměru celého souboru vyšší o 23,3 %, ale v jednotlivých ročnících se rozdíl hodnot ABTS a DPPH zásadně měnil (51 %, 25 % a 3 %). U metody ABTS byl ve sledovaných letech zjištěn průměrný nárůst hodnot TEAC mezi zrnem

ječmene a sladem 28 %, 19 % a 25 % a u metody DPPH 48 %, 45 % a 82 % (Obr. 13). Na základě těchto výsledků tedy lze konstatovat, že ve zřejmé závislosti na ročníku je ve sladu přítomno rozdílné množství vodou extrahovatelných látek s antioxidačními účinky, schopných reakce jak s ABTS, tak s DPPH.



Obr. 12 Grafické znázornění lineární závislosti výsledků metod ABTS a DPPH



Obr. 13 Porovnání TEAC zrna ječmene a sladu ve sledovaných letech

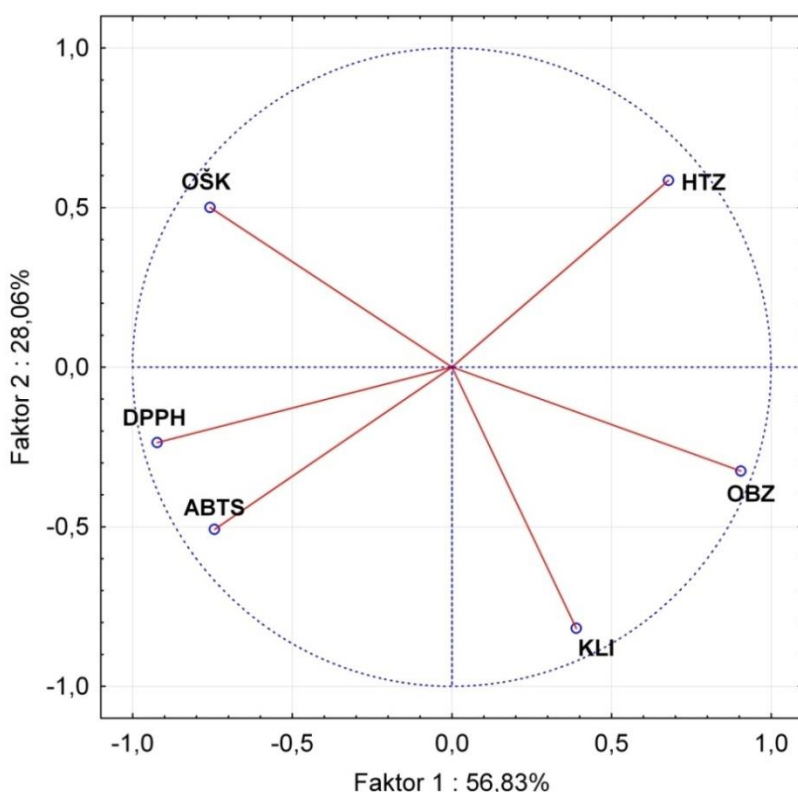
5.3 Vztah antioxidační kapacity a kvality zrna ječmene a sladu

5.3.1 Vliv kvalitativních parametrů zrna na TEAC zrna ječmene

Výsledky antioxidační kapacity zrna ječmene jarního stanovené metodami ABTS a DPPH byly korelovány se základními kvalitativními parametry zrna (Tab. 18 v příloze). Pro snadnější pochopení vzájemných vztahů mezi naměřenými hodnotami antioxidační kapacity a kvalitativními parametry zrna ječmene, byla použita analýza hlavních komponent (PCA), která znázorňuje relace mezi charakteristikami graficky. Tato metoda umožňuje projekci vícerozměrného prostoru charakteristik do prostoru daného dvěma hlavními komponentami. Blízkost vykreslené charakteristiky hranici jednotkového kruhu znamená kvalitní reprezentaci této charakteristiky pomocí hlavních komponent. Úhel mezi přímkami, které jsou definovány pomocí počátku souřadnic a souřadnic jednotlivých charakteristik, má vztah ke korelaci těchto charakteristik. Přibližně lze říci, že úhel mezi přímkami blízký 0° vyjadřuje korelaci blízkou $r = 1$, úhel 90° , případně 270° znázorňuje nezávislost charakteristik a úhel 180° vyjadřuje korelaci blízkou $r = -1$.

Do PCA analýzy byly zahrnuty parametry TEAC (ABTS a DPPH), hmotnost tisíce zrn (HTZ), obsah bílkovin v zru ječmene (OBZ), obsah škrobu (OŠK) a klíčivost (KLI). Pomocí dvou hlavních vypočítaných komponent (faktorů) se podařilo vysvětlit 84,89 % z původní variability parametrů (Obr. 14). Z výsledků analýzy hlavních komponent tedy lze konstatovat, že velká zrna s vyšším podílem endospermu obsahují nižší množství antioxidantů. Toto zjištění je zároveň v souladu s publikovanými účinky zinečnatého hnojiva na parametr hmotnost tisíce zrn (Cerkal *et al.*, 2010).

Těsnost lineární závislosti mezi antioxidační kapacitou zrna ječmene jarního a jednotlivými technologickými parametry zahrnutými do PCA analýzy, byla vyjádřena také korelačními koeficienty dle Pearsona (r). Statisticky významné negativní vztahy byly nalezeny mezi výsledky TEAC stanovené metodou ABTS a parametry HTZ ($r = -0,588^{***}$) a obsahem bílkovin v zru ječmene ($r = -0,368^{***}$). Mezi výsledky metody DPPH a parametry HTZ a obsahem bílkovin v zru ječmene byly také zjištěny statisticky významné negativní vztahy ($r = -0,578^{***}$, respektive $r = -0,611^{***}$). Významný kladný vztah byl zjištěn u výsledků získaných metodou DPPH a obsahem škrobu ($r = 0,355^{***}$).



Pozn.: ABTS – antioxidační kapacita zrna stanovená metodou ABTS; DPPH – antioxidační kapacita zrna stanovená metodou DPPH; HTZ – hmotnost tisíce zrn; KLI – klíčivost; OBZ – obsah bílkovin v zrna ječmene; OŠK – obsah škrobu.

Obr. 14 Grafické znázornění vztahů mezi sledovanými parametry zrna ječmene na základě analýzy hlavních komponent

5.3.2 Statistické modely pro odhad TEAC zrna ječmene

Pomocí obecného lineárního modelu, byly dále zjišťovány významnosti vybraných kvantitativních proměnných zrna ječmene a sladu (Tab. 17 v příloze) a na tomto základě byly sestaveny modely vhodné k odhadu antioxidační kapacity zrna ječmene. Do výsledného modelu byly zahrnuty pouze kvalitativní parametry ječmene a sladu (proměnné), které se na antioxidační kapacitě podílejí statisticky průkazně. Těsnost lineární závislosti mezi antioxidační kapacitou a jednotlivými technologickými parametry zahrnutými do modelu, byla vyjádřena také korelačními koeficienty dle Pearsona (r) (Tab. 18 v příloze).

Finální model odhadu závislosti antioxidační kapacity zrna ječmene jarního, která byla stanovena metodou ABTS, na vybraných technologických parametrech napříč odrůdami, variantami a ročníky, lze vyjádřit jako:

$$TEAC_{zrno\ ABTS} = 13,63 + (-0,1033) \times \text{extrakt v moučce}^{***} + (-0,04791) \times HTZ^{***} + 0,02605 \times \text{relativní extrakt při 45 °C}^{***} + (-0,0202) \times \text{rozpuštný dusík}^{***}$$

Pozn.: Hodnoty označené *** představují statisticky významný vliv na sledovaný znak při $\alpha = 0,001$.

Mezi všemi technologickými parametry, které byly zahrnuty do tohoto modelu, a hodnotami TEAC zrna ječmene jarního stanovené metodou ABTS, byly nalezeny statisticky významné vztahy. Velmi slabé pozitivní korelace byly nalezeny mezi TEAC a relativním extraktem při 45 °C ($r = 0,170^*$) a extraktem v moučce ($r = 0,182^*$). Slabé negativní vztahy byly zjištěny mezi TEAC a rozpuštným dusíkem ($r = -0,421^{***}$) a HTZ ($r = -0,588^{***}$).

Výsledný model odhadu závislosti antioxidační kapacity zrna ječmene jarního, která byla stanovena metodou DPPH, na vybraných technologických parametrech napříč odrůdami, variantami a ročníky, lze vyjádřit jako:

$$TEAC_{zrno\ DPPH} = 8,92 + (-0,0659) \times \text{extrakt v moučce}^{***} + (-0,02198) \times HTZ^{***} + (-0,0164) \times \text{rozpuštný dusík}^{***} + 0,0581 \times USJ^{***}$$

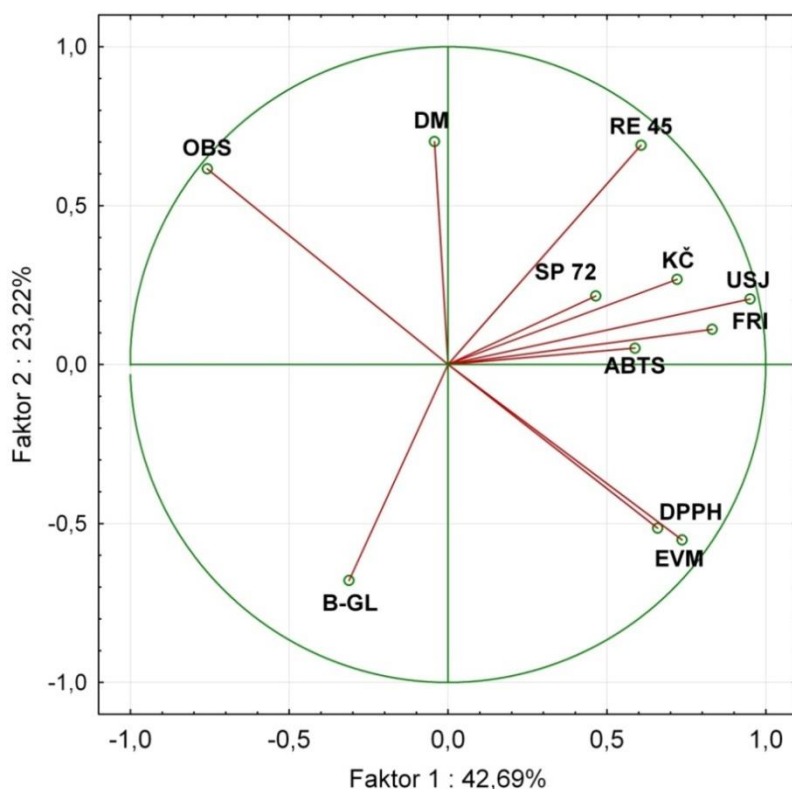
Pozn.: Hodnoty označené *** představují statisticky významný vliv na sledovaný znak při $\alpha = 0,001$.

Také v tomto případě byly mezi všemi technologickými parametry zahrnutými do modelu a TEAC zrna ječmene jarního stanovené metodou DPPH, nalezeny statisticky významné vztahy. Slabou pozitivní závislostí se vyznačovaly vztahy mezi TEAC a USJ ($r = 0,434^{***}$) a extraktem v moučce ($r = 0,448^{***}$). Slabý negativní vztah byl zjištěn u HTZ ($r = -0,578^{***}$). Mezi parametry TEAC a rozpuštným dusíkem pak byla nalezena středně silná záporná korelace ($r = -0,652^{***}$).

5.3.3 Vliv kvalitativních parametrů sladu na TEAC sladu

Obdobně jako u zrna ječmene, byly korelovány výsledky antioxidační kapacity sladu s vybranými parametry sladovnické kvality (Tab. 18 v příloze) a byla také použita analýza hlavních komponent. Do PCA analýzy byly zahrnuty parametry TEAC (ABTS a DPPH), extrakt v moučce (EVM), relativní extrakt při 45 °C (RE 45), obsah bílkovin ve sladu (OBS), Kolbachovo číslo (KČ), diastatická mohutnost (DM), friabilita (FRI), obsah β -glukanů ve sladině (B-GL), stupeň prokvašení po 72hodinách (SP 72) a indexový ukazatel sladovnické jakosti (USJ). V tomto případě se pomocí dvou

hlavních vypočítaných komponent (faktorů) podařilo vysvětlit 66,02 % z původní variability parametrů (Obr. 15). Z výsledků analýzy hlavních komponent je patrné, že hodnoty antioxidační kapacity sladu stanovené metodou ABTS rostou ve směru parametrů sacharolytické, proteolytické a cytolytické modifikace (relativní extrakt při 45 °C, Kolbachovo číslo, stupeň prokvašení po 72hodinách a friabilita). Souvislost hodnot antioxidační kapacity stanovené metodou DPPH a kvalitativních parametrů je menší, přičemž zjevný je pozitivní vztah k extraktu sladu a negativní vztah k obsahu bílkovin ve sladu. Obecně je tedy možno konstatovat, že slady s vyšší sladovnickou kvalitou, tedy vyšší modifikací mají vyšší hodnoty TEAC měřené oběma metodami.



Pozn.: ABTS – antioxidační kapacita sladu stanovená metodou ABTS; DPPH – antioxidační kapacita sladu stanovená metodou DPPH B-GL – obsah β -glukanů ve sladině; DM – diastatická mohutnost; EVM – extrakt v moučce; FRI – friabilita; KČ – Kolbachovo číslo; OBS – obsah bílkovin ve sladu; RE 45 – relativní extrakt při 45 °C; SP 72 – stupeň prokvašení po 72hodinách; USJ – ukazatel sladovnické jakosti.

Obr. 15 Grafické znázornění vztahů mezi sledovanými parametry sladu na základě analýzy hlavních komponent

Těsnost lineární závislosti mezi antioxidační kapacitou sladu a jednotlivými technologickými parametry zahrnutými do PCA analýzy, byla vyjádřena také

korelačními koeficienty dle Pearsona (r). Statisticky významné vztahy byly nalezeny mezi hodnotami TEAC stanovené metodou ABTS a ukazatelem sladovnické jakosti ($r = 0,536^{***}$), stupněm prokvašení po 72hodinách ($r = 0,443^{***}$), friabilitou ($r = 0,375^{***}$) a relativním extraktem při 45 °C ($r = 0,336^{***}$). Mezi výsledky metody ABTS a obsahem bílkovin ve sladu byl nalezen negativní vztah ($r = -0,353^{***}$). Statisticky významné vztahy byly zjištěny mezi hodnotami antioxidační kapacity sladu stanovené metodou DPPH a extraktem v moučce ($r = 0,620^{***}$), stupněm prokvašení po 72hodinách ($r = 0,474^{***}$), ukazatelem sladovnické jakosti ($r = 0,410^{***}$), obsahem obsah β -glukanů ve sladině ($r = 0,335^{***}$) a friabilitou ($r = 0,262^{***}$). Významný negativní vztah byl zjištěn u výsledků získaných metodou DPPH a obsahem bílkovin ve sladu ($r = -0,700^{***}$).

5.3.4 Statistické modely pro odhad TEAC sladu

Obdobně jako u zrna ječmene, byly pomocí obecného lineárního modelu zjišťovány významnosti vybraných kvalitativních proměnných zrna ječmene a sladu (Tab. 17 v příloze) a na tomto základě byly sestaveny modely vhodné k odhadu antioxidační kapacity sladu.

Finální model odhadu závislosti antioxidační kapacity sladu, která byla stanovena metodou ABTS napříč odrůdami, variantami a ročníky, na vybraných technologických parametrech, lze vyjádřit jako:

$$TEAC_{slad\ ABTS} = 20,74 + (-0,1869) \times \text{extrakt v moučce}^{***} + (-0,01907) \times \\ \text{Kolbachovo číslo}^{***} + (-0,1573) \times \text{obsah bílkovin ve sladu}^{***} + \\ 0,1096 \times \text{USJ}^{***} + (-0,01229) \times \text{HTZ}^{**}$$

Pozn.: Hodnoty označené *** představují statisticky významný vliv na sledovaný znak při $\alpha = 0,001$; ** při $\alpha = 0,01$.

Hodnocení souboru dat korelační analýzou v tomto případě neprokázalo u všech technologických parametrů zahrnutých do výsledného modelu odhadu TEAC sladu statisticky průkazné vztahy. Neprůkazný vztah byl nalezen mezi antioxidační kapacitou a parametry Kolbachovo číslo ($r = 0,118$) a extrakt v moučce ($r = 0,153$). Mezi TEAC a obsahem bílkovin ve sladu byla zjištěna velmi slabá negativní korelace ($r = -0,353^{***}$). Slabá negativní korelace byla nalezena u HTZ ($r = -0,525^{***}$) a slabý pozitivní vztah byl stanoven mezi TEAC a USJ ($r = 0,536^{***}$).

Výsledný model odhadu závislosti antioxidační kapacity sladu, která byla stanovena metodou DPPH, na vybraných technologických parametrech napříč odrůdami, variantami a ročníky, lze vyjádřit jako:

$$TEAC_{slad\ DPPH} = -9,58 + 0,0982 \times \text{extrakt v moučce}^* + 0,02235 \times \text{friabilita}^{***} + 0,02625 \times \text{HTZ}^{***} + (-0,01561) \times \text{Kolbachovo číslo}^* + 0,003084 \times \text{obsah } \beta\text{-glukanů ve sladině}^{***} + (-0,0992) \times \text{obsah bílkovin ve sladu}^* + 0,03974 \times \text{relativní extrakt při 45 } ^\circ\text{C}^{***}$$

Pozn.: Hodnoty označené *** představují statisticky významný vliv na sledovaný znak při $\alpha = 0,001$; * při $\alpha = 0,05$.

Tak jako v případě modelu pro odhad TEAC stanovené metodou ABTS, nebyly ani u modelu pro metodu DPPH ve všech případech nalezeny statisticky významné korelační vztahy mezi antioxidační kapacitou a technologickými parametry zahrnutými do finálního modelu pro její odhad. Statisticky neprůkazný vztah byl nalezen mezi TEAC a HTZ ($r = -0,130$). Velmi slabé korelační závislosti antioxidační kapacity byly zjištěny u parametrů relativní extrakt při 45 °C ($r = 0,166^*$), Kolbachovo číslo ($r = 0,212^{**}$), friabilita ($r = 0,262^{***}$) a obsah β -glukanů ve sladině ($r = 0,335^{***}$). Středně silný vztah byl nalezen mezi TEAC a extraktem v moučce ($r = 0,620^{***}$). Mezi antioxidační kapacitou a obsahem bílkovin ve sladu pak byla stanovena středně silná negativní korelační závislost ($r = -0,700^{***}$).

6 ZÁVĚR

Látky s antioxidačními účinky obsažené v potravinách a nápojích mají příznivý vliv na lidské zdraví, v pivovarském průmyslu navíc hraje jejich obsah ve vstupních surovinách důležitou roli v senzoričské stabilitě finálních výrobků. Celková antioxidační kapacita vodných extraktů zrna a korespondujících sladů šesti sladovnických odrůd ječmene jarního, vypěstovaných v letech 2009 až 2011 na území České republiky, byla stanovena metodami ABTS a DPPH. Použité metody pro stanovení antioxidační kapacity zrna ječmene a sladu založené na užití stabilních volných radikálů ABTS a DPPH standardizované na Trolox, prokázaly aplikovatelnost na hodnocení rozdílů v antioxidační kapacitě těchto surovin.

Výsledky TEAC zrna ječmene a sladu se u metody ABTS pohybovaly v rozmezí 1,601 až 2,993 $\mu\text{mol.g}^{-1}$, respektive 2,205 až 3,342 $\mu\text{mol.g}^{-1}$. Hodnoty TEAC byly metodou DPPH stanoveny v intervalu 0,908 až 2,037 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u zrna ječmene a 1,183 až 3,185 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ u sladu. Antioxidační kapacita zrna ječmene a sladu byla v pokusu ovlivněna všemi sledovanými faktory, přičemž nejvýznamnější ($\alpha = 0,001$) byl v sestupném pořadí vliv ročníku, odrůdy a varianty ošetření (aplikace zinečnatého hnojiva).

Pro hodnocení zrna ječmene mají obě metody srovnatelnou výpovědní hodnotu. Metoda ABTS reflektuje ve vyšší míře odrůdovou specifitu a metoda DPPH jeví vyšší závislost na povětrnostních podmínkách v průběhu vegetace. Sledované faktory (rok, odrůda a aplikace zinečnatého hnojiva) pokryly 86 %, respektive 89 % variability výsledků antioxidační kapacity zrna ječmene stanovené metodami ABTS a DPPH. Z výše uvedených výsledků lze konstatovat, že větší zrna, která jsou lepší z pohledu sladovnické jakosti, vykazují nižší hodnoty antioxidační kapacity.

Antioxidační kapacita sladu stanovená metodami ABTS a DPPH závisela na odrůdě zhruba stejnou měrou, 29 %, respektive 26 % variability. Pro metodu ABTS byly u sladu zjištěny vyšší reziduální vlivy, sledované faktory pokryly pouze 72 % variability výsledků. Tyto hodnoty rostou ve směru parametrů sacharolytické, proteolytické a cytolýtické modifikace (relativní extrakt při 45 °C, Kolbachovo číslo, stupeň prokvašení po 72hodinách a friabilita). Výsledky TEAC sladu stanovené metodou DPPH silně závisí na ročníku (61 % variability). Souvislost těchto hodnot a kvalitativních parametrů je menší, přičemž zjevný je pozitivní vztah k extraktu sladu

a negativní vztah k obsahu bílkovin ve sladu. Hodnoty antioxidační kapacity sladu stanovené oběma metodami tedy závisí na kvalitativních parametrech sladu a narůstají se zvyšující se modifikací zrna.

Navržené predikční modely pro výpočet odhadu antioxidační kapacity zrna ječmene a sladu z kvalitativních parametrů ječmene a sladu poskytují pouze orientační výsledky, verifikace by si vyžádala práci s dalším, nezávislým souborem vzorků.

6.1 Praktické uplatnění výsledků

Získané výsledky by mohly prakticky pomoci odborníkům několika odvětví potravinářského průmyslu. Vzhledem k nezanedbatelnému množství biologicky aktivních látek v zrně ječmene a sladu, by mohl výběr a preference konkrétních odrůd ječmene jarního přispět k řešení problémů sensorické stability finálních výrobků pivovarského průmyslu. Díky pozitivnímu vlivu látek s antioxidačním účinkem na lidské zdraví, by také mohla být část produkce ječmene, která nevyhovuje požadavkům sladařského průmyslu, snáze uplatnitelná jako surovina pro výrobu funkčních potravin.

7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

Aberoumand A., Deokule S. S., 2010: Comparative study on polyphenol content in some food plants. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3 (2), s. 212-216, ISSN 1906-3040.

Ahmed S., Shakeel F., 2012: Antioxidant Activity Coefficient, Mechanism, and Kinetics of Different Derivatives of Flavones and Flavanones Towards Superoxide Radical. *Czech Journal of Food Sciences*, 30 (2), s. 153-163, ISSN 1805-9317.

Andersson A. A. M., Lampi A. M., Nyström L., Piironen V., Li L., Ward J. L., Gebruers K., Courtin Ch. M., Delcour J. A., Boros D., Fraš A., Dynkowska W., Rakszegi M., Bedő Z., Shewry P. R., Aman P., 2008: Phytochemical and Dietary Fiber Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (21), s. 9767-9776, ISSN 1520-5118.

Apak R., Güçlü K., Demirata B., Özyürek M., Çelik S. E., Bektaşoğlu B., Berker K. I., Özyurt D., 2007: Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay. *Molecules*, 12 (7), s. 1496-1547, ISSN 1420-3049.

Apak R., Gorinstein S., Böhm V., Schaich K. M., Özyürek M., Güçlü K., 2013: Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 85 (5), s. 957-998, ISSN 0033-4545.

Arnao M. B., Cano A., Alcolea J. F., Acosta M., 2001: Estimation of Free Radical-quenching Activity of Leaf Pigment Extracts. *Phytochemical Analysis*, 12 (2), s. 138-143, ISSN 0958-0344.

Baert J. J., De Clippeleer J., Hughes P. S., De Cooman L., Aerts G., 2012: On the Origin of Free and Bound Staling Aldehydes in Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (46), s. 11449-11472, ISSN 1520-5118.

Baik B. K., Ullrich S. E., 2008: Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48 (2), s. 233-242, ISSN 0733-5210.

Baik B. K., Newman C. W., Newman R. K., 2011: Food Uses of Barley, s. 532-562. In: Ullrich S. E., (ed.): *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell, 640 s., ISBN 978-0-8138-0123-0.

Bamdad F., Wu J., Chen L., 2011: Effects of enzymatic hydrolysis on molecular structure and antioxidant activity of barley hordein. *Journal of Cereal Science*, 54 (1), s. 20-28, ISSN 0733-5210.

Bamdad F., Chen L., 2013: Antioxidant capacities of fractionated barley hordein hydrolysates in relation to peptide structures. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57 (3), s. 493-503, ISSN 1613-4125.

Barros L., Cabrita L., Boas M. V., Carvalho A. M., Ferreira, I. C. F. R., 2011: Chemical, biochemical and electrochemical assays to evaluate phytochemicals and antioxidant activity of wild plants. *Food Chemistry*, 127 (4), s. 1600-1608, ISSN 0308-8146.

Basařová G., 2010: Suroviny pro výrobu piva, s. 3-102. In: Basařová G., Šavel J., Basař P., Lejsek T., (eds): *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 863 s., ISBN 978-7080-734-7.

Baskol G., Korkmaz S., Erdem F., Caniklioglu A., Kocyigit M., Aksu M., 2012: Assessment of nitric oxide, advanced oxidation protein products, malondialdehyde, and thiol levels in patients with restless legs syndrome. *Sleep Medicine*, 13 (4), s. 414-418, ISSN 1878-5506.

Bathaie S. Z., Kermani F. M. Z., Shams A., 2011: Crocin Bleaching Assay Using Purified Di-gentiobiosyl Crocin (α -crocin) from Iranian Saffron. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 14 (5), s. 399-406, ISSN 2008-3866.

Beckman J. S., Koppenol W. H., 1996: Nitric oxide, superoxide, and peroxynitrite: the good, the bad, and ugly. *The American Journal of Physiology*, 271 (5), 1424-1437, ISSN 0002-9513.

Bellavia L., DuMond J. F., Perlegas A., King S. B., Kim-Shapiro D. B., 2013: Nitroxyl accelerates the oxidation of oxyhemoglobin by nitrite. *Nitric Oxide: Biology and Chemistry*, 31, 38-47, ISSN 1089-8611.

Běláková S., Benešová K., Mikulíková R., Svoboda Z., 2010: Sledování změn obsahu ferulové kyseliny v pivovarských surovinách metodou UPLC s PDA detekcí. *Kvasný průmysl*, 56 (6), s. 266-269, ISSN 0023-5830.

Benešová K., Psota V., Mikulíková R., Běláková S., Svoboda Z., 2011: Patogenní metabolity v obilkách ječmene a jejich vliv na kvalitu sladovnického ječmene a sladu. *Kvasný průmysl*, 57 (7-8), s. 215-218, ISSN 0023-5830.

Benešová K., Pluháčková H., Běláková S., Vaculová K., Mikulíková R., Ehrenbergerová J., Březinová Belcredi N., 2012: Využití moderní separační techniky UPLC ke stanovení vitamínu E v zrně ječmene. *Chemické Listy*, 106 (7), s. 672-676, ISSN 1213-7103.

Benkovská D., Flodrová D., Psota V., Bobál'ová J., 2011: Vliv pivovarského procesu na profil proteinů ječmene. *Kvasný průmysl*, 57 (7-8), s. 260-265, ISSN 0023-5830.

Benzie I. F. F., 2000: Evolution of antioxidant defence mechanisms. *European Journal of Nutrition*, 39 (2), s. 53-61, ISSN 1436-6207.

Benzie I. F. F., 2003: Evolution of dietary antioxidants. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 136 (1), s. 113-126, ISSN 10956433.

Bienert G. P., Chaumont F., 2014: Aquaporin-facilitated transmembrane diffusion of hydrogen peroxide. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects*, 1840 (5), s. 1596-1604, ISSN 0304-4165.

Bjelakovic G., Glud C., 2007: Surviving Antioxidant Supplements. *Journal of the National Cancer Institute*, 99 (10), s. 742-743, ISSN 1460-2105.

Bonoli M., Verardo V., Marconi E., Caboni M. F., 2004: Antioxidant Phenols in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Flour: Comparative Spectrophotometric Study among Extraction Methods of Free and Bound Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (16), s. 5195-5200, ISSN 0021-8561.

Botero-Cadavid J. F., Wild P., Djilali N., 2014: Temperature response and durability characterization of an optical fiber sensor for the detection of hydrogen peroxide. *Electrochimica Acta*, 129, s. 416-424, ISSN 0013-4686.

Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset C., 1995: Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28 (1), s. 25-30, ISSN 0023-6438.

Bretón-Romero R., Lamas S., 2014: Hydrogen peroxide signaling in vascular endothelial cells. *Redox Biology*, 2, s. 529-534, ISSN 2213-2317.

Březinová Belcredi N., Ehrenbergerová J., Benešová K., Vaculová K., 2010a: Variabilita aktivity vitamínu E a jeho izomerů v zrně ječmene. *Kvasný průmysl*, 56 (2), s. 88-92, ISSN 0023-5830.

Březinová Belcredi N., Ehrenbergerová J., Vaculová K., 2010b: Antioxidační aktivita enzymu superoxidodismutasy v zrně ječmene jarního. *Kvasný průmysl*, 56 (3), s. 127-130, ISSN 0023-5830.

Buiatti S., 2009: Beer Composition: An Overview, s. 213-226. In: Preedy V. R., (ed.): *Beer in Health and Disease Prevention*. Burlington: Academic Press, 1248 s., ISBN 978-0-12-373891-2.

Buonocore G., Perrone S., Tataranno M. L., 2010: Oxygen toxicity: chemistry and biology of reactive oxygen species. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, 15 (4), s. 186-190, ISSN 1878-0946.

Cadenas E., Davies K. J. A., 2000: Mitochondrial free radical generation, oxidative stress, and aging. *Free Radical Biology and Medicine*, 29 (3-4), s. 222-230, ISSN 0891-5849.

Cakmak I., 2008: Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302 (1-2), s. 1-17, ISSN 0032-079X.

Cao G., Sofic E., Prior R. L., 1997: Antioxidant and Prooxidant Behavior of Flavonoids: Structure-Activity Relationships. *Free Radical Biology and Medicine*, 22 (5), s. 749-760, ISSN 0891-5849.

Carvalho D. O., Correia E., Lopes L., Guido L. F., 2014: Further insights into the role of melanoidins on the antioxidant potential of barley malt. *Food Chemistry*, 160, s. 127-133, ISSN 0308-8146.

Cejpek K., 2014: Vonné a chuťové složky sladů. *Chemické Listy*, 108 (5), s. 426-435, ISSN 1213-7103.

Cerkal R., Hřivna L., Ryant P., Prokeš J., Belcredi N. B., Vejražka K., Michnová M., Gregor, T., 2010: Zinek - vliv na růst rostlin a kořenů ječmene, technologickou kvalitu a kvašení sladin. *Kvasný průmysl*, 56 (3), s. 152-159, ISSN 0023-5830.

Coghe S., Gheeraert B., Michiels A., Delvaux F. R., 2006: Development of Maillard Reaction Related Characteristics During Malt Roasting. *Journal of the Institute of Brewing*, 112 (2), s. 148-156, ISSN 0046-9750.

Čechovská L., Konečný M., Velíšek J., Cejpek K., 2012: Effect of Maillard Reaction on Reducing Power of Malts and Beers. *Czech Journal of Food Sciences*, 30 (6), s. 548-556, ISSN 1805-9317.

Čepička J., Karabín M., 2002: Polyfenolové látky piva - přirozené antioxidanty. *Chemické Listy*, 96 (2), s. 90-95, ISSN 1213-7103.

Černohorský V., Cuřín J., Vernerová J., 1986: Výroba nealkoholického piva se zvýšeným obsahem vitamínu B1. *Kvasný průmysl*, 32 (7-8), s. 145-147, ISSN 0023-5830.

Číž M., Čížová H., Denev P., Kratchanova M., Slavov A., Lojek A., 2010: Different methods for control and comparison of the antioxidant properties of vegetables. *Food Control*, 21 (4), s. 518-523, ISSN 0956-7135.

Darley-USmar V., Halliwell B., 1996: Blood Radicals: Reactive Nitrogen Species, Reactive Oxygen Species, Transition Metal Ions, and the Vascular System. *Pharmaceutical Research*, 13 (5), s. 649-662, ISSN 1573-904X.

Diaz-Urbe C. E., Daza M. C., Martínez F., Páez-Mozo E. A., Guedes C. L. B., Di Mauro E., 2010: Visible light superoxide radical anion generation by tetra (4-carboxyphenyl)porphyrin/TiO₂: EPR characterization. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 215 (2-3), s. 172-178, ISSN 1010-6030.

Dienstbier M., Janková L., Sladký P., Dostálek P., 2010: Metody předpovědi koloidní stability piva. *Chemické Listy*, 104 (2), s. 86-92, ISSN 1213-7103.

Dostálek P., Kotlíková B., Fiala J., Jelínek L., Černý Z., Čásenský B., Mikulka J., 2011: Stabilizační prostředky pro zvýšení koloidní stability piva. *Kvasný průmysl*, 57 (7-8), s. 290-295, ISSN 0023-5830.

Dudonné S., Vitrac X., Coutière P., Woillez M., Mérillon J. M., 2009: Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (5), s. 1768-1774, ISSN 1520-5118.

Dvořáková M., Dostálek P., Hulín P., 2006: Analytické metody stanovení polyfenolů ve sladkách, mladkách a pivech. *Kvasný průmysl*, 52 (4), s. 111-114, ISSN 0023-5830.

Dvořáková M., Hulín P., Karabín M., Dostálek P., 2007: Determination of Polyphenols in Beer by an Effective Method Based on Solid-Phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography with Diode-Array Detection. *Czech Journal of Food Sciences*, 25 (4), s. 182-188, ISSN 1805-9317.

Dvořáková M., Douanier M., Jurková M., Kellner V., Dostálek P., 2008a: Comparison of Antioxidant Activity of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Malt Extracts with the Content of Free Phenolic Compounds Measured by High Performance Liquid Chromatography Coupled with CoulArray Detector. *Journal of the Institute of Brewing*, 114 (2), s. 150-159, ISSN 0046-9750.

Dvořáková M., Guido L. F., Dostálek P., Skulilová Z., Moreira M. M., Barros A. A., 2008b: Antioxidant Properties of Free, Soluble Ester and Insoluble-Bound Phenolic Compounds in Different Barley Varieties and Corresponding Malts. *Journal of the Institute of Brewing*, 114 (1), s. 27-33, ISSN 0046-9750.

Dvořáková M., Dostálek P., Skulilová Z., Jurková M., Kellner V., Guido L. F., 2010: Polyfenoly ječmene a sladu a jejich antioxidační vlastnosti. *Kvasný průmysl*, 56 (3), s. 160-163, ISSN 0023-5830.

EBC Analysis committee, 2009: *Analytica EBC*, European Brewery Convention, Nürnberg: Verlag Hans Carl Getränke-Fachverlag, ISBN 3-418-00759-7.

Ebisch I. M. W., Thomas C. M. G., Peters W. H. M., Braat D. D. M., Steegers Theunissen R. P. M., 2007: The importance of folate, zinc and antioxidants in the pathogenesis and prevention of subfertility. *Human Reproduction Update*, 13 (2), s. 163-174, ISSN 1355-4786.

Ehrenbergerová J., Březinová Belcredi N., Kopáček J., Melišová L., Hrstková P., Macuchová S., Vaculová K., Paulíčková I., 2009: Antioxidant Enzymes in Barley Green Biomass. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64 (2), s. 122-128, ISSN 1573-9104.

Ehrenbergerová J., Cerkal R., Hrstková P., Elzner P., Marková J., Vaculová K., 2010: Popis lokalit a metodika polních pokusů projektu 1M0570 (v letech 2005 a 2007–2008). *Kvasný průmysl*, 56 (2), s. 54-59, ISSN 0023-5830.

Ehrenbergerová J., Pluháčková H., Bradáčová M., Březinová Belcredi N., Benešová K., Vaculová K., 2011: Změny v obsahu a aktivitě vitamínu E jako reakce na abiotický stres odrůd ječmene jarního. *Kvasný průmysl*, 57 (7-8), s. 196-202, ISSN 0023-5830.

Ehrenbergerová J., Prokopcová Z., Běláková S., Cerkal R., Pluháčková H., Vaculová K., Smutná P., 2012: Variabilita obsahu volné a celkové ferulové kyseliny v obilkách ječmene jarního. *Kvasný průmysl*, 58 (7-8), s. 201-208, ISSN 0023-5830.

El Assar M., Angulo J., Rodríguez-Mañas L., 2013: Oxidative stress and vascular inflammation in aging. *Free Radical Biology and Medicine*, 65, s. 380-401, ISSN 1873-4596.

Elia P., Azoulay A., Zeiri Y., 2012: On the efficiency of water soluble antioxidants. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19 (2), s. 314-324, ISSN 1873-2828.

Everett S. A., Patel K. B., Dennis M. F., Smith K. A., Stratford M. R. L., Wardman P., 1998: Oxidative Denitrication of the Antitumour Drug Hydroxyguanidine. *Free Radical Biology and Medicine*, 24 (1), s. 1-10, ISSN 0891-5849.

Fahey J. W., Kensler T. W., 2007: Role of Dietary Supplements/Nutraceuticals in Chemoprevention through Induction of Cytoprotective enzymes. *Chemical Research in Toxicology*, 20 (4), s. 572-576, ISSN 0893-228X.

Fang Y. Z., Yang S., Wu G., 2002: Free Radicals, Antioxidants, and Nutrition. *Nutrition*, 18 (10), s. 872-879, ISSN 0899-9007.

Fidler M., Kolářová L., 2009: Analýzy antioxidantů v chmelu a pivu. *Chemické Listy*, 103, s. 232-235, ISSN 1213-7103.

Gazdik Z., Krska B., Adam V., Saloun J., Pokorna T., Reznicek V., Horna A., Kizek, R., 2008: Electrochemical Determination of the Antioxidant Potential of Some Less Common Fruit Species. *Sensors*, 8 (12), s. 7564-7570, ISSN 1424-8220.

Ghibu S., Delemasure S., Richard C., Guillard J. C., Martin L., Gambert S., Rochette L., Vergely C., 2012: General oxidative stress during doxorubicin-induced cardiotoxicity in rats: Absence of cardioprotection and low antioxidant efficiency of alpha-lipoic acid. *Biochimie*, 94 (4), s. 932-939, ISSN 0300-9084.

Ghiselli A., Serafini M., Natella F., Scaccini C., 2000: Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data. *Free Radical Biology and Medicine*, 29 (11), s. 1106-1114, ISSN 0891-5849.

Gobbo-Neto L., Lopes N. P., 2007: Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. *Química Nova*, 30, s. 374-381, ISSN 0100-4042.

Gökmen V., Serpen A., Fogliano V., 2009: Direct measurement of the total antioxidant capacity of foods: the "QUENCHER" approach. *Trends in Food Science & Technology*, 20 (6-7), s. 278-288, ISSN 0924-2244.

Gorjanović S. Ž., Novaković M. M., Potkonjak N. I., Leskošek-Čukalović I., Suznjević D. Ž., 2010: Application of a Novel Antioxidative Assay in Beer Analysis and Brewing Process Monitoring. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (2), s. 744-751, ISSN 1520-5118.

- Goupy P., Hugues M., Boivin P., Amiot M. J., 1999: Antioxidant composition and activity of barley (*Hordeum vulgare*) and malt extracts and of isolated phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 (12), s. 1625-1634, ISSN 1097-0010.
- Gracanin M., Hawkins C. L., Pattison D. I., Davies M. J., 2009: Singlet-oxygen-mediated amino acid and protein oxidation: Formation of tryptophan peroxides and decomposition products. *Free Radical Biology and Medicine*, 47 (1), s. 92-102, ISSN 1873-4596.
- Gray D. A., Auerbach R. H., Hill S., Wang R., Campbell G. M., Webb C., South J. B., 2000: Enrichment of Oat Antioxidant Activity by Dry Milling and Sieving. *Journal of Cereal Science*, 32 (1), s. 89-98, ISSN 0733-5210.
- Gordon M. H., 2001: The development of oxidative rancidity in foods. s. 7-21. In: Pokorný J., Yanishlieva N., Gordon M., (eds): *Antioxidants in Food: Practical applications*. Sawston (UK): Woodhead Publishing, 400 s., ISBN 978-1-85573-463-0.
- Grune T., Reinheckel T., Davies K. J., 1997: Degradation of oxidized proteins in mammalian cells. *The FASEB Journal*, 11 (7), s. 526-534, ISSN 0892-6638.
- Guido L. F., Curto A. F., Boivin P., Benismail N., Gonçalves C. R., Barros A. A., 2007: Correlation of Malt Quality Parameters and Beer Flavor Stability: Multivariate Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (3), s. 728-733, ISSN 0021-8561.
- Gülçin İ., 2012: Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86 (3), s. 345-391, ISSN 1432-0738.
- Hall C., 2001: Sources of natural antioxidants: oilseed, nuts, cereals, legumes, animal products and microbial sources, s. 159-209. In: Pokorný J., Yanishlieva N., Gordon M., (eds): *Antioxidants in Food: Practical applications*. Sawston (UK): Woodhead Publishing, 400 s., ISBN 978-1-85573-463-0.
- Halliwell B., 1991: Drug antioxidant effects. A basic for drug selection? *Drugs*, 42 (4), s. 569-605, ISSN 1179-1950.
- Halliwell B., Aruoma O. I., 1991: DNA damage by oxygen-derived species Its mechanism and measurement in mammalian systems. *FEBS Letters*, 281 (1-2), s. 9-19, ISSN 0014-5793.
- Halliwell B., Gutteridge J. M. C., 1992: Biologically relevant metal ion-dependent hydroxyl radical generation An update. *FEBS Letters*, 307 (1), s. 108-112, ISSN 0014-5793.
- Halliwell B., Aeschbach R., Löliger J., Aruoma O. I., 1995: The characterization of antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*, 33 (7), s. 601-617, ISSN 0278-6915.

Halliwell B., 1999: Vitamin C: poison, prophylactic or panacea? *Trends in Biochemical Sciences*, 24 (7), s. 255-259, ISSN 0968-0004.

Halliwell B., 2006: Reactive Species and Antioxidants. Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life. *Plant Physiology*, 141 (2), s. 312-322, ISSN 1532-2548.

Halliwell B., 2008: Are polyphenols antioxidants or pro-oxidants? What do we learn from cell culture and in vivo studies? *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 476 (2), s. 107-112, ISSN 1096-0384.

Halliwell B., 2009: The wanderings of a free radical. *Free Radical Biology and Medicine*, 46 (5), s. 531-542, ISSN 1873-4596.

Halliwell B., 2011: Free radicals and antioxidants – *quo vadis?* *Trends in Pharmacological Sciences*, 32 (3), s. 125-130, ISSN 1873-3735.

Halliwell B., 2012: Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutrition Reviews*, 70 (5), s. 257-265, ISSN 1753-4887.

Hartman I., Prokeš J., Helánová A., 2010: Jakost sladovnického ječmene sklizně 2009 v České republice. *Kvasný průmysl*, 56 (1), s. 10-17, ISSN 0023-5830.

Hartman I., 2011: Jakost sladovnického ječmene sklizně 2010 v České republice. *Kvasný průmysl*, 57 (10), s. 371-376, ISSN 0023-5830.

Hartman I., 2012: Jakost sladovnického ječmene sklizně 2011 v České republice. *Kvasný průmysl*, 58 (10), s. 303-308, ISSN 0023-5830.

Havlová P., 1999: *Hydrolytické a oxidoredukční enzymy ječného sladu: (studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 43 s., ISBN 80-7271-040-0.

He G., Du J., Zhang K., Wei G., Wang W., 2012: Antioxidant capability and potableness of fresh cloudy wheat beer stored at different temperatures. *Journal of the Institute of Brewing*, 118 (4), s. 386-392, ISSN 0046-9750.

Hlúbik P., Strítecká H., Fajfrová, J., 2006: Antioxidanty v klinické praxi. *Interní medicína pro praxi*, 2, s. 79-81, ISSN 1803-5256.

Hoff S., Lund M. N., Petersen M. A., Frank W., Andersen M. L., 2013: Storage stability of pasteurized non-filtered beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 119 (3), s. 172-181, ISSN 0046-9750.

Hofta P., Dostálek P., Basařová G., 2004: Xanthohumol – chmelová pryskyřice nebo polyfenol? *Chemické Listy*, 98 (9), s. 825-830, ISSN 1213-7103.

Holasová M., Fiedlerová V., 2011: Porovnání metod stanovení antioxidační aktivity v ovocných a zeleninových šťávách. *Chemické Listy*, 105 (10), s. 766-772, ISSN 1213-7103.

Holeček V., 2006: Volné radikály, antioxidanty a jak dále? *Klinická Biochemie a Metabolismus*, 14 (3), s. 140-145, ISSN 1210-7921.

Holeček V., 2010: Oxidační stres u nádorových onemocnění. *Klinická Biochemie a Metabolismus*, 18 (4), s. 225-230, ISSN 1210-7921.

Hollman P. C. H., Cassidy A., Comte B., Heinonen M., Richelle M., Richling E., Serafini M., Scalbert A., Sies H., Vidry S., 2011: The Biological Relevance of Direct Antioxidant Effects of Polyphenols for Cardiovascular Health in Humans Is Not Established. *The Journal of Nutrition*, 141 (5), s. 9895-10095, ISSN 1541-6100.

Holtekjølen A. K., Kinitz C., Knutsen S. H., 2006: Flavanol and Bound Phenolic Acid Contents in Different Barley Varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (6), s. 2253-2260, ISSN 0021-8561.

Hosmanová R., Douša M., 2007: HPLC stanovení obsahu vitamínu E v krmných surovinách, krmivech a potravinách. *Chemické Listy*, 101 (7), s. 578-583, ISSN 1213-7103.

Hřebíčková Š., 2009: Antioxidanty a volné radikály: rozdělení, jejich kapacita a aktivita. *Výživa a potraviny*, 64 (2), s. 30-32, ISSN 1211-846X.

Huang D., Ou B., Prior R. L., 2005: The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (6), s. 1841-1856, ISSN 0021-8561.

Hussain S., Ali S. F., 1999: Manganese scavenges superoxide and hydroxyl radicals: an in vitro study in rats. *Neuroscience Letters*, 261 (1-2), s. 21-24, ISSN 0304-3940.

Chanput W., Theerakulkait C., Nakai S., 2009: Antioxidative properties of partially purified barley hordein, rice bran protein fractions and their hydrolysates. *Journal of Cereal Science*, 49 (3), s. 422-428, ISSN 0733-5210.

Chen H. Y., Yen G. C., 2007: Antioxidant activity and free radical-scavenging capacity of extracts from guava (*Psidium guajava* L.) leaves. *Food Chemistry*, 101 (2), s. 686-694, ISSN 0308-8146.

Cheng A. X., Han X. J., Wu Y. F., Lou H. X., 2014: The Function and Catalysis of 2-Oxoglutarate-Dependent Oxygenases Involved in Plant Flavonoid Biosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 15 (1), s. 1080-1095, ISSN 1422-0067.

Chiarelli-Neto O., Pavani C., Ferreira A. S., Uchoa A. F., Severino D., Baptista M. S., 2011: Generation and suppression of singlet oxygen in hair by photosensitization of melanin. *Free Radical Biology and Medicine*, 51 (6), s. 1195-1202, ISSN 1873-4596.

Chloupek O., 2011: Historie šlechtění sladového ječmene na území České republiky. *Kvasný průmysl*, 57 (7-8), s. 180-181, ISSN 0023-5830.

Choe E., Min D. B., 2005: Chemistry and Reactions of Reactive Oxygen Species in Foods. *Journal of Food Science*, 70 (9), s. 142-159, ISSN 1040-8398.

Chromá L., Macková M., Macek T., Martínek V., Stiborová M., 2001: Rostlinné cytochromy P450 a peroxidasy a jejich úloha při degradaci kontaminantů životního prostředí. *Chemické Listy*, 95 (4), s. 212-222, ISSN 1213-7103.

Ignat I., Volf I., Popa V. I., 2011: A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126 (4), s. 1821-1835, ISSN 0308-8146.

Inns E. L., Buggey L. A., Booer C., Nursten H. E., Ames J. M., 2011: Effect of Modification of the Kilning Regimen on Levels of Free Ferulic Acid and Antioxidant Activity in Malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (17), s. 9335-9343, ISSN 1520-5118.

Imlay J. A., 2008: Cellular defenses against superoxide and hydrogen peroxide. *Annual Review of Biochemistry*, 77, s. 755-776, ISSN 0066-4154.

Jelínek L., Karachevtsev A., Karabín M., Kotlíková B., Dostálek P., 2013: Vliv kyselého máčení na technologické parametry sladu. *Kvasný průmysl*, 59 (10-11), s. 288-291, ISSN 0023-5830.

Jensen S. J. K., 2003: Oxidative stress and free radicals. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 666-667, s. 387-392, ISSN 0166-1280.

Jurková M., Horák T., Hašková D., Čulík J., Čejka P., Kellner V., 2012: Control of antioxidant beer activity by the mashing process. *Journal of the Institute of Brewing*, 118 (2), s. 230-235, ISSN 0046-9750.

Kähkönen M. P., Hopia A. I., Vuorela H. J., Rauha J. P., Pihlaja K., Kujala T. S., Heinonen M., 1999: Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (10), s. 3954-3962, ISSN 0021-8561.

Kamat J. P., 2006: Peroxynitrite: A potent oxidizing and nitrating agent. *Indian Journal of Experimental Biology*, 44 (6), s. 436-447, ISSN 0019-5189.

Kaneda H., Kobayashi N., Furusho S., Sahara H., Koshino S., 1995: Reducing activity and flavor stability of beer. *Technical Quarterly of the Master Brewers Association of the Americas*, 32 (2), s. 90-94, ISSN 0743-9407.

Karabín M., Dostálek P., Hofta P., 2006: Přehled metod stanovení antioxidační aktivity v pivovarství. *Chemické Listy*, 100 (3), s. 184-189, ISSN 1213-7103.

Karabín M., Dostálek P., Šindelářová J., 2007: HPLC – nová cesta pro stanovení karbonylů v pivu. *Kvasný průmysl*, 53 (2), s. 35-37, ISSN 0023-5830.

Karabín M., Halama Š., Jelínek L., Wang D., Dostálek P., 2013: Porovnání českých a čínských odrůd ječmene s ohledem na technologicky významné polyfenolové látky. *Kvasný průmysl*, 59 (12), s. 346-351, ISSN 0023-5830.

Karadag A., Ozcelik B., Saner S., 2009: Review of Methods to Determine Antioxidant Capacities. *Food Analytical Methods*, 2 (1), s. 41-60, ISSN 1936-9751.

Kehrer J. P., 2000: The Haber-Weiss reaction and mechanisms of toxicity. *Toxicology*, 149 (1), s. 43-50, ISSN 0300-483X.

Kellner V., Čejka P., Marinova G., Bačvarov V., Jurková M., Čulík J., Horák T., Dvořák J., Hašková D., 2010: Studium jednoduchých polyfenolových látek v pivech různé provenience. *Kvasný průmysl*, 56 (5), s. 234-238, ISSN 0023-5830.

Kim J., Rodriguez M. E., Guo M., Kenney M. E., Oleinick N. L., Anderson V. E., 2008: Oxidative modification of cytochrome c by singlet oxygen. *Free Radical Biology and Medicine*, 44 (9), s. 1700-1711, ISSN 0891-5849.

Ko H. J., Song A., Lai M. N., Ng L. T., 2009: Antioxidant and antiradical activities of Wu Ling Shen in a cell free system. *The American Journal of Chinese Medicine*, 37 (4), s. 815-828, ISSN 0192-415X.

Kocha T., Yamaguchi M., Ohtaki H., Fukuda T., Aoyagi T., 1997: Hydrogen peroxide-mediated degradation of protein: different oxidation modes of copper- and iron-dependent hydroxyl radicals on the degradation of albumin. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1337 (2), s. 319-326, ISSN 0167-4838.

Kolečkář V., Řeháková Z., Brojerová E., Kuča K., Jun D., Macáková K., Opletal L., Drašar P., Jahodář L., Chlebek J., Cahlíková L., 2012: Proanthocyanidiny a jejich antioxidační aktivita. *Chemické Listy*, 106 (2), 113-121, ISSN 1213-7103.

Kosař K., Psota V., Havlová P., Šusta J., 2000: Sladovnický ječmen, s. 30-63. In: Kosař K., Procházka S., (eds): *Technologie výroby sladu a piva*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 398 s., ISBN 80-902658-6-3.

Kosař M., Holková L., Březinová Belcredi N., Ehrenbergerová J., 2010: Vliv exprese vybraných genů zapojených v biosyntetické dráze vitamínu E na celkový obsah a složení vitamínu E v zrna ječmene jarního. *Kvasný průmysl*, 56 (3), s. 123-126, ISSN 0023-5830.

Kotlíková B., Jelínek L., Karabín M., Dostálek P., 2013a: Prekurzory a vznik koloidního zákalu piva. *Chemické Listy*, 107 (5), s. 362-368, ISSN 1213-7103.

Kotlíková B., Jelínek L., Karabín M., Dostálek P., 2013b: Předpověď vzniku koloidního zákalu piva. *Kvasný průmysl*, 59 (4), s. 100-104, ISSN 0023-5830.

Kotlíková B., Gabriel P., Fiala J., Jelínek L., Karabín M., Sladký P., Dostálek P., 2014: Praktické zkušenosti se zavedením stabilizace piva v provozu. *Kvasný průmysl*, 60 (3), s. 46-51, ISSN 0023-5830.

Kračmarová A., Pohanka M., 2014: Elektrochemické stanovení nízkomolekulárních antioxidantů v séru. *Chemické Listy*, 108 (1), s. 64-69, ISSN 1213-7103.

Kristinová V., Mozuraityte R., Storrø I., Rustad T., 2009: Antioxidant Activity of Phenolic Acids in Lipid Oxidation Catalyzed by Different Prooxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (21), s. 10377-10385, ISSN 1520-5118.

Krofta K., Mikyška A., Hašková D., 2007: Změny antioxidačních vlastností chmele při sušení, mletí, granulaci a skladování. *Kvasný průmysl*, 53 (9), s. 266-272, ISSN 0023-5830.

Krych J., Gebicka L., 2013: Catalase is inhibited by flavonoids. *International Journal of Biological Macromolecules*, 58, s. 148-153, ISSN 1879-0003.

Kupková Z., Beneš L., 2004: Chemické vlastnosti, biologické účinky a metody detekce biologického oxidu dusnatého. *Chemické Listy*, 95 (3), s. 116-122, ISSN 1213-7103.

Kůst F., Potměšilová J., 2009: *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 101 s., ISBN 978-80-7084-801-2.

Kůst F., Potměšilová J., 2010: *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 92 s., ISBN 978-80-7084-907-1.

Kůst F., Potměšilová J., 2011: *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 90 s., ISBN 978-80-7084-989-7.

Kůst F., Potměšilová J., 2013: *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 106 s., ISBN 978-80-7434-134-2.

Lahouar L., El Arem A., Ghrairi F., Chahdoura H., Ben Salem H., El Felah M., Achour L., 2014: Phytochemical content and antioxidant properties of diverse varieties of whole barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in Tunisia. *Food Chemistry*, 145, s. 578-583, ISSN 0308-8146.

Lachman J., Hamouz K., Orsák M., 2005: Červeně a modře zbarvené brambory - významný zdroj antioxidantů v lidské výživě. *Chemické Listy*, 99 (7), s. 474-482, ISSN 1213-7103.

Lachman J., Hamouz K., Čepl J., Pivec V., Šulc M., Dvořák P., 2006: Vliv vybraných faktorů na obsah polyfenolů a antioxidační aktivitu hlíz brambor. *Chemické Listy*, 100 (7), s. 522-527, ISSN 1213-7103.

Lachman J., Šulc M., Schilla M., 2007: Comparison of the total antioxidant status of Bohemian wines during the wine-making process. *Food Chemistry*, 103 (3), s. 802-807, ISSN 0308-8146.

Lachman J., Kalač P., Kučerová J., 2008: Žádoucí látky v rostlinných produktech, s. 33-44. In: Prugar J., (ed.): *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s. ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČZV, 327 s., ISBN 978-80-86576-28-2.

Lachman J., Hamouz K., Šulc M., Orsák M., Pivec V., Hejtmánková A., Dvořák P., Čepl, J., 2009: Cultivar differences of total anthocyanins and anthocyanidins in red and purple-fleshed potatoes and their relation to antioxidant activity. *Food Chemistry*, 114 (3), s. 836-843, ISSN 0308-8146.

Lang K., Mosinger J., Wagnerová D. M., 2006: Singletový kyslík v praxi - současnost a perspektiva. *Chemické Listy*, 177 (3), s. 169-177, ISSN 1213-7103.

Leitao C., Marchioni E., Bergaentzlé M., Zhao M., Didierjean L., Miesch L., Holder E., Miesch M., Ennahar S., 2012: Fate of polyphenols and antioxidant activity of barley throughout malting and brewing. *Journal of Cereal Science*, 55 (3), s. 318-322, ISSN 0733-5210.

Lim C. S. H., Lim S. L., 2013: Ferric Reducing Capacity Versus Ferric Reducing Antioxidant Power for Measuring Total Antioxidant Capacity. *Laboratory Medicine*, 44 (1), s. 51-55, ISSN 0007-5027.

Limón-Pacheco J., Gonsebatt M. E., 2009: The role of antioxidants and antioxidant-related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress. *Mutation Research*, 674 (1-2), s. 137-147, ISSN 0027-5107.

Lin J., Rexrode K. M., Hu F., Albert C. M., Chae C. U., Rimm E. B., Stampfer M. J., Manson J. E., 2007: Dietary Intakes of Flavonols and Flavones and Coronary Heart Disease in US Women. *American Journal of Epidemiology*, 165 (11), s. 1305-1313, ISSN 0002-9262.

Liu Q., Yao H., 2007: Antioxidant activities of barley seeds extracts. *Food Chemistry*, 102 (3), s. 732-737, ISSN 0308-8146.

Liu Q., Cai W., Shao X., 2008: Determination of seven polyphenols in water by high performance liquid chromatography combined with preconcentration. *Talanta*, 77 (2), s. 679-683, ISSN 0039-9140.

Lu J., Zhao H., Chen J., Fan W., Dong J., Kong W., Sun J., Cao Y., Cai G., 2007: Evolution of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity during Malting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (26), s. 10994-11001, ISSN 0021-8561.

MacDonald-Wicks L. K., Wood L. G., Garg M. L., 2006: Methodology for the determination of biological antioxidant capacity *in vitro*: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 (13), s. 2046-2056, ISSN 0022-5142.

MacGregor A. W., Fincher G. B., 1993: Carbohydrates of the barley grain, s. 73-130. In: MacGregor A. W., Bhatti R. S., (eds): *Barley: Chemistry and Technology*. Saint

Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 486 s., ISBN 978-0913250808.

Madhujith T., Izydorczyk M., Shahidi F., 2006: Antioxidant Properties of Pearled Barley Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (9), s. 3283-3289, ISSN 0021-8561.

Madhujith T., Shahidi F., 2006: Optimization of the Extraction of Antioxidative Constituents of Six Barley Cultivars and Their Antioxidant Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (21), s. 8048-8057, ISSN 0021-8561.

Maillard M. N., Berset C., 1995: Evolution of Antioxidant Activity during Kilning: Role of Insoluble Bound Phenolic Acids of Barley and Malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43 (7), s. 1789-1793, ISSN 0021-8561.

Maillard M. N., Soum M. H., Boivin P., Berset C., 1996: Antioxidant Activity of Barley and Malt: Relationship with Phenolic Content. *LWT - Food Science and Technology*, 29 (3), s. 238-244, ISSN 0023-6438.

Malliaraki N., Mpliamplias D., Kampa M., Perakis K., Margioris A. N., Castanas E., 2003: Total and corrected antioxidant capacity in hemodialyzed patients. *BMC Nephrology*, 4 (4), s. 1-8, ISSN 1471-2369.

Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C., Jiménez L., 2004: Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79 (5), s. 727-747, ISSN 0002-9165.

Manjusha Ashitha G., Krupa Mary J., Priya C. L., Bhaskara Rao K. V., 2013: Phytochemical analysis *in vitro* antioxidant and antidiabetic activities of methanolic leaf extracts of *Solanum surratense* linn. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5 (3), s. 645-647, ISSN 0975-1491.

Maret W., Li Y., 2009: Coordination dynamics of zinc in proteins. *Chemical Reviews*, 109 (10), s. 4682-4707, ISSN 1520-6890.

Marinova E., Georgiev L., Totseva I., Seizova K., 2013: Antioxidant Activity and Mechanism of Action of Some Synthesised Phenolic Acid Amides of Aromatic Amines. *Czech Journal of Food Sciences*, 31 (1), s. 5-13, ISSN 1805-9317.

Marova I., Parilova K., Friedl Z., Obruca S., Duronova K., 2011: Analysis of Phenolic Compounds in Lager Beers of Different Origin: A Contribution to Potential Determination of the Authenticity of Czech Beer. *Chromatographia*, 73 (1), s., 83-95, ISSN 0009-5893.

Magalhães L. M., Segundo M. A., Reis S., Lima J. L. F. C., 2008: Methodological aspects about *in vitro* evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*, 613 (1), s. 1-19, ISSN 1873-4324.

Mahdi G. S., Abdal M., Behera B. C., Verma N., Sonone A., Makhija U., 2008: Barley is a Healthful Food: A Review. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 7 (13), s. 2686-2694, ISSN 1579-4377.

Martin J. H., Waldren R. P., Stamp D. L., 2006: *Principles of Field Crop Production (4th Edition)*. New Jersey: Pearson Education, 976 s., ISBN 978-0130259677.

Mazzeo T., N'Dri D., Chiavaro E., Visconti A., Fogliano V., Pellegrini N., 2011: Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*, 128 (3), s. 627-633, ISSN 0308-8146.

McMurrough I., Madigan D., Smyth M. R., 1996: Semipreparative Chromatographic Procedure for the Isolation of Dimeric and Trimeric Proanthocyanidins from Barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (7), s. 1731-1735, ISSN 0021-8561.

Mena S., Ortega A., Estrela J. M., 2009: Oxidative stress in environmental-induced carcinogenesis. *Mutation Research*, 674 (1-2), s. 36-44, ISSN 0027-5107.

Méndez-Álvarez E., Soto-Otero R., Hermida-Ameijeiras Á., López-Martín M. E., Labandeira-García J. L., 2001: Effect of iron and manganese on hydroxyl radical production by 6-hydroxydopamine: mediation of antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 31 (8), s. 986-998, ISSN 0891-5849.

Miguel M. G., 2010: Antioxidant activity of medicinal and aromatic plants. A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 25 (5), s. 291-312, ISSN 0882-5734.

Mikulíková R., Svoboda Z., Běláková S., Macuchová S., 2008: Sledování akrylamidu v průběhu sladování a v pivu. *Kvasný průmysl*, 54 (6), s. 181-185, ISSN 0023-5830.

Mikyška A., Prokeš J., 2009: Systém skladování ječmene a jeho vliv na kvalitu sladu a piva. *Kvasný průmysl*, 55 (3), s. 73-81, ISSN 0023-5830.

Mikyška A., Hašková D., Horák T., Jurková M., 2010a: Vliv typu chmelové suroviny na antioxidační vlastnosti piva. *Kvasný průmysl*, 56 (7-8), s. 294-302, ISSN 0023-5830.

Mikyška A., Prokeš J., Běláková S., Škach J., Hašková D., 2010b: Vliv původu ječmene a technologie sladování na obsah ferulové kyseliny v ječmeni a sladu. *Kvasný průmysl*, 56 (3), s. 145-151, ISSN 0023-5830.

Mikyška A., Hartman I., Hašková D., 2011: Polyfenolové látky a antioxidační vlastnosti odrůd ječmene doporučených pro České pivo. *Kvasný průmysl*, 57 (7-8), s. 182-189, ISSN 0023-5830.

Miller A. F., 2012: Superoxide dismutases: Ancient enzymes and new insights. *FEBS Letters*, 586 (5), s. 585-595, ISSN 1873-3468.

Moreira M. M., Morais S., Carvalho D. O., Barros A. A., Delerue-Matos C., Guido L. F., 2013: Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the

antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds. *Food Research International*, 54 (1), s. 382-388, ISSN 0963-9969.

Nadel D., Weiss E., Simchoni O., Tsatskin A., Danin A., Kislev, M., 2004: Stone Age hut in Israel yields world's oldest evidence of bedding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (17), s. 6821-6826, ISSN 0027-8424.

Nardini M., Natella F., Scaccini C., Ghiselli A., 2006: Phenolic acids from beer are absorbed and extensively metabolized in humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 17 (1), s. 14-22, ISSN 0955-2863.

Nesbitt M., 2005: The Migration of Plants – Grains, s. 45-60. In: Prance G., Nesbitt M., (eds): *The Cultural History of Plants*. London/New York: Routledge, 464 s., ISBN 978-0-203-02090-6.

Newman R. K., Newman C. W., 2008: *Barley for Food and Health: Science, Technology, and Products*. New Jersey: Wiley, 245 s., ISBN 978-0-470-10249-7.

Niki E., Omata Y., Fukuhara A., Saito Y., Yoshida Y., 2008: Assessment of Radical Scavenging Capacity and Lipid Peroxidation Inhibiting Capacity of Antioxidant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (18), s. 8255-8260, ISSN 1520-5118.

Niki E., 2010: Assessment of antioxidant capacity *in vitro* and *in vivo*. *Free Radical Biology and Medicine*, 49 (4), s. 503-515, ISSN 1873-4596.

Nordberg J., Arnér E. S. J., 2001: Reactive oxygen species, antioxidants, and the mammalian thioredoxin system. *Free Radical Biology and Medicine*, 31 (11), s. 1287-1312, ISSN 0891-5849.

Notas G., Miliaraki N., Kampa M., Dimoulios F., Matrella E., Hatzidakis A., Castanas E., Kouroumalis E., 2005: Patients with primary biliary cirrhosis have increased serum total antioxidant capacity measured with the crocin bleaching assay. *World Journal of Gastroenterology*, 11 (27), s. 4194-4198, ISSN 1007-9327.

Obšil T., Pavlíček Z., 1997: Glykace proteinů a fosfolipidů: Maillardova reakce *in vivo*. *Chemické Listy*, 91 (8), s. 558-569, ISSN 1213-7103.

Omwamba M., Hu Q., 2009: Antioxidant capacity and antioxidative compounds in barley (*Hordeum vulgare* L.) grain optimized using response surface methodology in hot air roasting. *European Food Research and Technology*, 229 (6), s. 907-914, ISSN 1438-2377.

Ondrejovič M., Maliar T., Polívka L., Šilhár S., 2009: Polyfenoly jablk. *Chemické Listy*, 103 (5), s. 394-400, ISSN 1213-7103.

Öztürk T., Esen B., 2008: Physical and mechanical properties of barley. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 41 (3), s. 117-121, ISSN 1801-0571.

Packer L., Weber S. U., Rimbach G., 2001: Molecular Aspects of α -Tocotrienol Antioxidant Action and Cell Signalling. *The Journal of Nutrition*, 131 (2), s. 369-373, ISSN 1541-6100.

Patel R. P., McAndrew J., Sellak H., White C. R., Jo H., Freeman B. A., Darley-Usmar, V. M., 1999: Biological aspects of reactive nitrogen species. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1411 (2-3), s. 385-400, ISSN 0005-2728.

Paravicini T. M., Touyz R. M., 2008: NADPH Oxidases, Reactive Oxygen Species, and Hypertension: Clinical implications and therapeutic possibilities. *Diabetes Care*, 31 (2), s. 170-180, ISSN 1935-5548.

Paulíčková I., Ehrenbergerová J., Fiedlerová V., Gabrovská D., Havlová P., Holasová M., Kopáček J., Ouhračková J., Pinkrtová J., Rysová J., Vaculová K., Winterová R., 2007: Evaluation of Barley Grass as a Potential Source of Some Nutritional Substances. *Czech Journal of Food Sciences*, 25 (2), s. 65-72, ISSN 1805-9317.

Paulová H., Bochořáková H., Táborská E., 2004: Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek *in vitro*. *Chemické Listy*, 98 (4), s. 174-179, ISSN 1213-7103.

Pellegrini N., Serafini M., Colombi B., Del Rio D., Salvatore S., Bianchi M., Brighenti F., 2003: Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different *In Vitro* Assays. *The Journal of Nutrition*, 133 (9), s. 2812-2819, ISSN 0022-3166.

Peterson D. M., 2001: Oat Antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 33 (2), s. 115-129, ISSN 0733-5210.

Pheifer H. J., Briggs D. E., 1995: Thiols and disulphides in quiescent and germinating barley grains, both dormant and mature. *Journal of the Institute of Brewing*, 101 (2), s. 85-93, ISSN 0046-9750.

Pietta P. G., 2000: Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63 (7), s. 1035-1042, ISSN 0163-3864.

Piterková J., Tománková K., Luhová L., Petřivalský M., Peč P., 2005: Oxidativní stres: Lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické Listy*, 99 (7), s. 455-466, ISSN 1213-7103.

Pláteník J., 2009: Volné radikály, antioxidanty a stárnutí. *Interní medicína pro praxi*, 11 (1), s. 30-33, ISSN 1803-5256.

Pokorný J., 2007: Are Natural Antioxidants Better and Safer than Synthetic Antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109 (6), s. 629-642, ISSN 1438-9312.

Pouřová J., Kottová M., Voprsalová M., Pour M., 2010: Reactive oxygen and nitrogen species in normal physiological processes. *Acta Physiologica*, 198 (1), s. 15-35, ISSN 1748-1716.

- Prior R. L., Wu X., Schaich K., 2005: Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (10), s. 4290-4302, ISSN 0021-8561.
- Procházková D., Wilhelmová N., 2011: Nitric oxide, reactive nitrogen species and associated enzymes during plant senescence. *Nitric Oxide: Biology and Chemistry*, 24 (2), s. 61-65, ISSN 1089-8611.
- Prokeš J., 2000: Klíčení ječmene, s. 84-97. In: Kosař K., Procházka S., (eds): *Technologie výroby sladu a piva*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 398 s., ISBN 80-902658-6-3.
- Prýma J., Havlová P., Šusta J., Mikulíková R., Ehrenbergerová J., Němejc R., 2000: Zdravotně významné látky v ječmeni a pivu. *Kvasný průmysl*, 46 (12), s. 350-353, ISSN 0023-5830.
- Psota, V., Kosař, K., 2002: Ukazatel sladovnické jakosti. *Kvasný průmysl*, 48 (6), s. 142-148, ISSN 0023-5830.
- Psota V., Vejražka K., 2006: Fyzikální vlastnosti obilok ječmene a sladu. *Kvasný průmysl*, 52 (6), s. 185-189, ISSN 0023-5830.
- Psota V., 2008: Historické a současné odrůdy jarního ječmene, odrůdy vhodné pro „České pivo“. *Kvasný průmysl*, 54 (11-12), s. 326-331, ISSN 0023-5830.
- Psota V., 2009: *Ječmenářská ročenka 2009*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 261 s., ISBN 978-80-86576-34-3.
- Psota V., 2012: *Ječmenářská ročenka 2012*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 346 s., ISBN 978-80-86576-55-8.
- Psota V., 2013: *Ječmenářská ročenka 2013*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 218 s., ISBN 978-80-86576-58-9.
- Psota V., Ehrenbergerová J., 2008: Ječmen, s. 116-133. In: Prugar J., (ed.): *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s. ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, 327 s., ISBN 978-80-86576-28-2.
- Psota V., Benešová K., Sachambula L., Havlová P., 2010: Vztah mezi β -glukanasou, chitinasou a galaktomananem a vybranými technologickými znaky obilok jarního ječmene (*Hordeum vulgare* L.) a sladu. *Kvasný průmysl*, 56 (2), s. 74-78, ISSN 0023-5830.
- Psota V., Sachambula L., 2010: Sladovnická kvalita starých odrůd ječmene. *Kvasný průmysl*, 56 (5), s. 240-246, ISSN 0023-5830.

Pulido R., Bravo L., Saura-Calixto F., 2000: Antioxidant Activity of Dietary Polyphenols As Determined by a Modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (8), s. 3396-3402, ISSN 0021-8561.

Qingming Y., Xianhui P., Weibao K., Hong Y., Yidan S., Li Z., Yanan Z., Yuling Y., Lan D., Guoan L., 2010: Antioxidant activities of malt extract from barley (*Hordeum vulgare* L.) toward various oxidative stress *in vitro* and *in vivo*. *Food Chemistry*, 118 (1), s. 84-89, ISSN 0308-8146.

Racek J., Holeček V., 1999: Enzymy a volné radikály. *Chemické Listy*, 93 (12), s. 774-780, ISSN 1213-7103.

Rahman K., 2007: Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors. *Clinical Interventions in Aging*, 2 (2), 219-236, ISSN 1176-9092.

Ramalingam M., Kim S. J., 2012: Reactive oxygen/nitrogen species and their functional correlations in neurodegenerative diseases. *Journal of Neural Transmission*, 119 (8), s. 891-910, ISSN 1435-1463.

Réblová Z., 2011: Vliv vnějších faktorů na aktivitu antioxidantů. *Chemické Listy*, 105 (9), s. 667-673, ISSN 1213-7103.

Reiter R. J., 1998: Oxidative damage in the central nervous system: protection by melatonin. *Progress in Neurobiology*, 56 (3), s. 359-384, ISSN 0301-0082.

Rice-Evans C. A., Miller N. J., Paganga G., 1996: Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20 (7), s. 933-956, ISSN 0891-5849.

Richter C., Gogvadze V., Laffranchi R., Schlapbach R., Schweizer M., Suter M., Walter P., Yaffee M., 1995: Oxidants in mitochondria: from physiology to diseases. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1271 (1), s. 67-74, ISSN 0925-4439.

Roberts R. A., Smith R. A., Safe S., Szabo C., Tjalkens R. B., Robertson F. M., 2010: Toxicological and pathophysiological roles of reactive oxygen and nitrogen species. *Toxicology*, 276 (2), s. 85-94, ISSN 1879-3185.

Roginsky V., Lissi E., 2005: Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92 (2), s. 235-254, ISSN 0308-8146.

Rokyta R., Holeček V., Stopka P., 2006: Volné radikály: nemoci, které nelze ovlivnit antioxidanty. *Vesmír*, 85 (10), s. 617-619, ISSN 0042-4544.

Rop O., Jurikova T., Sochor J., Mlcek J., Kramarova D., 2011: Antioxidant Capacity, Scavenging Radical Activity and Selected Chemical Composition of Native Apple Cultivars From Central Europe. *Journal of Food Quality*, 34 (3), s. 187-194, ISSN 0146-9428.

Ruder E. H., Hartman T. J., Blumberg J., Goldman M. B., 2008: Oxidative stress and antioxidants: exposure and impact on female fertility. *Human Reproduction Update*, 14 (4), s. 345-357, ISSN 1460-2369.

Ruttkay-Nedecky B., Nejdil L., Gumulec J., Zitka O., Masarik M., Eckschlager T., Stiborova M., Adam V., Kizek R., 2013: The Role of Metallothionein in Oxidative Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (3), s. 6044-6066, ISSN 1422-0067.

Růžička F., 2004: Historie šlechtění ječmene na území České republiky. I. část. *Kvasný průmysl*, 50 (6), s. 182-183, ISSN 00023-5830.

Salmon A. B., Richardson A., Pérez V. I., 2010: Update on the oxidative stress theory of aging: Does oxidative stress play a role in aging or healthy aging? *Free Radical Biology & Medicine*, 48 (5), s. 642-655, ISSN 1873-4596.

Samaniego-Sánchez C., Inurreta-Salinas Y., Quesada-Granados J. J., Blanca-Herrera R., Villalón-Mir M., López-García de la Serrana H., López Martínez M. C., 2011: The influence of domestic culinary processes on the Trolox Equivalent Antioxidant Capacity of green tea infusions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24 (1), s. 79-86, ISSN 0889-1575.

Sasaki Y. F., Kawaguchi S., Kamaya A., Ohshita M., Kabasawa K., Iwama K., Taniguchi K., Tsuda S., 2002: The comet assay with 8 mouse organs: results with 39 currently used food additives. *Mutation Research*, 519 (1-2), s. 103-119, ISSN 0027-5107.

Scalbert A., Williamson G., 2000: Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130, s. 2073-2085, ISSN 1541-6100.

Selecký R., Šmogrovičová D., 2006: Antioxidačná aktivita medziproduktov pri výrobe piva. *Kvasný průmysl*, 52 (7-8), s. 226-227, ISSN 00023-5830.

Serafini M., Villano D., Spera G., Pellegrini N., 2006: Redox Molecules and Cancer Prevention: The Importance of Understanding the Role of the Antioxidant Network. *Nutrition and Cancer*, 56 (2), s. 232-240, ISSN 0163-5581.

Serpen A., Gökmen V., Pellegrini N., Fogliano V., 2008: Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products. *Journal of Cereal Science*, 48 (3), s. 816-820, ISSN 0733-5210.

Sharma P., Singh R. P., 2013: Evaluation of Antioxidant Activity in Foods with Special Reference to TEAC Method. *American Journal of Food Technology*, 8 (2), s. 83-101, ISSN 1557-4571.

Sies H., 1993: Strategies of antioxidant defense. *European Journal of Biochemistry*, 215 (2), s. 213-219, ISSN 0014-2956.

Silvn J. M., Assar S. H., Srey C., Dolores del Castillo M., Ames J. M., 2011: Control of the Maillard reaction by ferulic acid. *Food Chemistry*, 128 (1), s. 208-213, ISSN 0308-8146.

Slanina J., Táborská E., 2004: Prjem, biologické dostupnost a metabolismus rostlinnch polyfenol u lovka. *Chemick Listy*, 98 (5), s. 239-245, ISSN 1213-7103.

Sochor J., Ryvolova M., Krystofova O., Salas P., Hubalek J., Adam V., Trnkova L., Havel L., Beklova M., Zehnalek J., Provaznik I., Kizek R., 2010: Fully Automated Spectrometric Protocols for Determination of Antioxidant Activity: Advantages and Disadvantages. *Molecules*, 15 (12), s. 8618-8640, ISSN 1420-3049.

Son S., Lewis B. A., 2002: Free Radical Scavenging and Antioxidative Activity of Caffeic Acid Amide and Ester Analogues: Structure-Activity Relationship. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (3), s. 468-472, ISSN 0021-8561.

Srkalov S., Kalkov K., Tesařov E., 2008: Vskyt a vznam enantiomer v potravinách. *Chemick Listy*, 102 (7), s. 480-486, ISSN 1213-7103.

Sroka Z., Cisowski W., 2003: Hydrogen peroxide scavenging, antioxidant and anti-radical activity of some phenolic acids. *Food and Chemical Toxicology*, 41 (6), s. 753-758, ISSN 0278-6915.

Stiborová M., Hudeek J., Pca J. Jr., Martnek V., Pca J., 2004: Enzymy metabolizujc kontaminanty ivotnho prostředí. *Chemick Listy*, 98 (10), s. 876-890, ISSN 1213-7103.

Stratil P., Klejdus B., Kubn V., 2006: Determination of Total Content of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Vegetables-Evaluation of Spectrophotometric Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (3), s. 607-616, ISSN 0021-8561.

Stratil P., Klejdus B., Kubn V., 2007: Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. *Talanta*, 71 (4), s. 1741-1751, ISSN 0039-9140.

Středa T., Středov H., Rořnovsk J., 2011: Vlhkostn reřim pdy na pokusn ploře v abcch. s. 112-116. In: Cerkal R., Hrstková P., (eds): *MendelAgro 2011. Sborník odborných prspěvk a sdělen*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 143 s., ISBN 978-80-7375-516-4.

řavel J., 2010: Stárnutí piva, s. 645-688. In: Basařová G., řavel J., Basař P., Lejsek T., (eds): *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VřCHT, 863 s., ISBN 978-7080-734-7.

řavel J., Kořin P., Broř A., 2012: Vliv redukujících látek na rychlost redukce vzdušnho kyslíku v modelových roztocích. *Kvasný průmysl*, 58 (3), s. 73-81, ISSN 0023-5830.

Šivel M., Klejdus B., Kráčmar S., Kubáň V., 2013: Lutein – významný karotenoid ve výživě člověka. *Chemické Listy*, 107 (6), s. 456-463, ISSN 1213-7103.

Šulc M., Lachman J., Hamouz K., Orsák M., Dvořák P., Horáčková V., 2007: Výběr a zhodnocení vhodných metod pro stanovení antioxidační aktivity fialových a červených odrůd brambor. *Chemické Listy*, 101 (7), s. 584-591, ISSN 1213-7103.

Tafulo P. A. R., Queirós R. B., Delerue-Matos C. M., Sales M. G. F., 2010: Control and comparison of the antioxidant capacity of beers. *Food Research International*, 43 (6), s. 1702-1709, ISSN 0963-9969.

Takashima M., Shichiri M., Hagihara Y., Yoshida Y., Niki E., 2012: Reactivity toward oxygen radicals and antioxidant action of thiol compounds. *BioFactors*, 38 (3), s. 240-248, ISSN 1872-8081.

Tapiero H., Tew K., Ba N. G., Mathé G., 2002: Polyphenols: do they play a role in the prevention of human pathologies? *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56 (4), s. 200-207, ISSN 0753-3322.

Terashima M., Nakatani I., Harima A., Nakamura S., Shiiba M., 2007: New Method To Evaluate Water-Soluble Antioxidant Activity Based on Protein Structural Change. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (1), s. 165-169, ISSN 0021-8561.

Thilakarathna S. H., Rupasinghe H. P. V., 2013: Flavonoid Bioavailability and Attempts for Bioavailability Enhancement. *Nutrients*, 5 (9), s. 3367-3387, ISSN 2072-6643.

Tiveron A. P., Melo P. S., Bergamaschi K. B., Vieira T. M. F. S., Regitano-d'Arce M. A. B., Alencar S. M., 2012: Antioxidant Activity of Brazilian Vegetables and Its Relation with Phenolic Composition. *International Journal of Molecular Sciences*, 13 (7), s. 8943-8957, ISSN 1422-0067.

Torreilles F., Salman-Tabcheh S., Guérin M. C., Torreilles J., 1999: Neurodegenerative disorders: the role of peroxynitrite. *Brain Research Reviews*, 30 (2), 153-163, ISSN 0165-0173.

Vaculová K., Balounová M., Cerkal R., Ehrenbergerová J., 2010: Vliv lokality a ročníku na obsah minerálních látek v zrně ječmene jarního. *Kvasný průmysl*, 56 (2), s. 60-68, ISSN 0023-5830.

Valko M., Rhodes C. J., Moncol J., Izakovic M., Mazur M., 2006: Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160 (1), s. 1-40, ISSN 0009-2797.

Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin M. T. D., Mazur M., Telser J., 2007: Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39 (1), s. 44-84, ISSN 1357-2725.

Vanbeneden N., Gils F., Delvaux F., Delvaux F. R., 2007: Variability in the release of free and bound hydroxycinnamic acids from diverse malted barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars during wort production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (26), s. 11002-11010, ISSN 0021-8561.

Vejražka M., 2004: Signální funkce volných radikálů. *Vesmír*, 83 (3), s. 170-172, ISSN 0042-4544.

Velíšek J., 1999: *Chemie potravin* 2. Vyd. 1., Tábor: OSSIS, 304 s., ISBN 80-902391-4-5.

Velíšek J., 2002: *Chemie potravin* 3. Vyd. 2., Tábor: OSSIS, 343 s., ISBN 80-86659-02-X.

Vikram D. S., Rivera B. K., Kuppusamy P., 2009: *In Vivo* Imaging of Free Radicals and Oxygen, s. 3-28. In: Uppu R. M., Murthy S. N., Pryor W. A., Parinandi N. L., (eds): *Free Radicals and Antioxidant Protocols, Second Edition*. New York: Humana Press, 480 s., ISBN 978-1-58829-710-5.

Villaño D., Fernández-Pachón M. S., Moyá M. L., Troncoso A. M., García-Parrilla M. C., 2007: Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*, 71 (1), s. 230-235, ISSN 1873-3573.

Vinson J. A., Hao Y., Su X., Zubik L., 1998: Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (9), s. 3630-3634, ISSN 0021-8561.

Vogiatzi G., Tousoulis D., Stefanadis C., 2009: The Role of Oxidative Stress in Atherosclerosis. *Hellenic Journal of Cardiology*, 50 (5), s. 402-409, ISSN 2241-5955.

Wang H. Y., Qian H., Yao W. R., 2011: Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. *Food Chemistry*, 128 (3), s. 573-584, ISSN 0308-8146.

Wang Y., Yang M., Lee S. G., Davis C. G., Koo S. I., Chun, O. K., 2012: Dietary Total Antioxidant Capacity is Associated with Diet and Plasma Antioxidant Status in Healthy Young Adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112 (10), s. 1626-1635, ISSN 2212-2672.

Woffenden H. M., Ames J. M., Chandra S., 2001: Relationships between Antioxidant Activity, Color, and Flavor Compounds of Crystal Malt Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (11), s. 5524-5530, ISSN 0021-8561.

Woffenden H. M., Ames J. M., Chandra S., Anese M., Nicoli M. C., 2002: Effect of Kilning on the Antioxidant and Pro-oxidant Activities of Pale Malts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (17), s. 4925-4933, ISSN 0021-8561.

Wootton-Beard P. C., Ryan L., 2011: Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. *Food Research International*, 44 (10), s. 3135-3148, ISSN 0963-9969.

Wright J. S., Johnson E. R., DiLabio G. A., 2001: Predicting the Activity of Phenolic Antioxidants: Theoretical Method, Analysis of Substituent Effects, and Application to Major Families of Antioxidants. *Journal of the American Chemical Society*, 123 (6), s. 1173-1183, ISSN 0002-7863.

Wu G., Flynn N. E., Flynn S. P., Jolly C. A., Davis P. K., 1999: Dietary protein or arginine deficiency impairs constitutive and inducible nitric oxide synthesis by young rats. *The Journal of Nutrition*, 129 (7), s. 1347-1354, ISSN 0022-3166.

Wu W., Bromberg P. A., Samet J. M., 2013: Zinc ions as effectors of environmental oxidative lung injury. *Free Radical Biology and Medicine*, 65, s. 57-69, ISSN 1873-4596.

Wunderlich S., Back W., 2009: Overview of Manufacturing Beer: Ingredients, Processes, and Quality Criteria, s. 3-16. In: Preedy V. R., (ed.): *Beer in Health and Disease Prevention*. Burlington: Academic Press, 1248 s., ISBN 978-0-12-373891-2.

Wunderlich S., Wurzbacher M., Back W., 2013: Roasting of malt and xanthohumol enrichment in beer. *European Food Research and Technology*, 237 (2), s. 137-148, ISSN 1438-2377.

Xu X., Xie G., He L., Zhang J., Xu X., Qian R., Liang G., Liu, J. H., 2013: Differences in oxidative stress, antioxidant systems, and microscopic analysis between regenerating callus-derived protoplasts and recalcitrant leaf mesophyll-derived protoplasts of *Citrus reticulata* Blanco. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 114 (2), s. 161-169, ISSN 0167-6857.

Yan L. J., 2014: Positive oxidative stress in aging and aging-related disease tolerance. *Redox Biology*, 2, s. 165-169, ISSN 2213-2317.

Zavřelová M., 2014: Složení zrna ječmene z hlediska potravinářského využití. *Kvasný průmysl*, 60 (5), s. 127-130, ISSN 0023-5830.

Zhang K. Z., Deng K., Luo H. B., Zhou J., Wu Z. Y., Zhang W. X., 2013: Antioxidant properties and phenolic profiles of four Chinese Za wines produced from hull-less barley or maize. *Journal of the Institute of Brewing*, 119 (3), s. 182-190, ISSN 0046-9750.

Zhao H., Dong J., Lu J., Chen J., Li Y., Shan L., Lin Y., Fan W., Gu, G., 2006: Effects of extraction solvent mixtures on antioxidant activity evaluation and their extraction capacity and selectivity for free phenolic compounds in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (19), s. 7277-7286, ISSN 0021-8561.

Zhao H., Fan W., Dong J., Lu J., Chen J., Shan L., Lin Y., Kong W., 2008: Evaluation of antioxidant activities and total phenolic contents of typical malting barley varieties. *Food Chemistry*, 107, s. 296-304, ISSN 0308-8146.

Zhao J., Tian Z., Chen L., 2010: Effects of Deamidation on Structure and Functional Properties of Barley Hordein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (21), s. 11448-11455, ISSN 1520-5118.

Zhao H., Zhao M., 2012: Effects of mashing on total phenolic contents and antioxidant activities of malts and worts. *International Journal of Food Science and Technology*, 47 (2), s. 240-247, ISSN 0950-5423.

Zhao H., Li H., Sun G., Yang B., Zhao M., 2013: Assessment of endogenous antioxidative compounds and antioxidant activities of lager beers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (4), s. 910-917, ISSN 1097-0010.

Zimolka J. (ed.), 2006: *Ječmen – formy a užitkové směry v České republice*. Praha: Profi Press, 200 s., ISBN 80-86726-18-5.

Zipor G., Oren-Shamir M., 2013: Do vacuolar peroxidases act as plant caretakers? *Plant Science*, 199-200, s. 41-47, ISSN 1873-2259.

Zulueta A., Esteve M. J., Frígola A., 2009: ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, 114 (1), s. 310-316, ISSN 0308-8146.

Žanetić M., Cerretani L., Škevin D., Politeo O., Vitanović E., Špika M. J., Perica M., Ožić M., 2013: Influence of polyphenolic compounds on the oxidative stability of virgin olive oils from selected autochthonous varieties. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11 (1), s. 126-131, ISSN 1459-0263.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vývoj osevních ploch ječmene v České republice v letech 2002 až 2013 (Kůst, Potměšilová, 2013)	14
Obr. 2 Chemická struktura flavanu (Thilakarathna, Rupasinghe, 2013)	30
Obr. 3 Chemická struktura základních flavonoidů (Kotlíková <i>et al.</i> , 2013a).....	30
Obr. 4 Chemická struktura a deriváty kyseliny skořicové a kyseliny p-hydroxybenzoové (Čepička, Karabín, 2002; Marova <i>et al.</i> , 2011)	31
Obr. 5 Chemická struktura kyseliny ferulové (Son, Lewis, 2002)	33
Obr. 6 Chemická struktura tokoferolů (Velíšek, 1999)	34
Obr. 7 Chemická struktura tokotrienolů (Velíšek, 1999)	35
Obr. 8 Chemická struktura Troloxu (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chroman-2-karboxylová kyselina) (Apak <i>et al.</i> , 2007)	44
Obr. 9 Průběh průměrných měsíčních teplot a měsíčních úhrnů srážek v letech 2009 až 2011 a v normálovém období 1961–1990 na lokalitě Žabčice (na způsob klimadiagramu dle Waltera-Lietha).....	50
Obr. 10 Příklad kalibrační křivky Troloxu pro metodu ABTS.....	58
Obr. 11 Příklad kalibrační křivky Troloxu pro metodu DPPH.....	60
Obr. 12 Grafické znázornění lineární závislosti výsledků metod ABTS a DPPH.....	71
Obr. 13 Porovnání TEAC zrna ječmene a sladu ve sledovaných letech.....	71
Obr. 14 Grafické znázornění vztahů mezi sledovanými parametry zrna ječmene na základě analýzy hlavních komponent.....	73
Obr. 15 Grafické znázornění vztahů mezi sledovanými parametry sladu na základě analýzy hlavních komponent	75
Obr. 16 Graficky znázorněné rozdělení antioxidantů (Wootton-Beard, Ryan, 2011)..	110
Obr. 17 Grafické znázornění výsledků shlukové analýzy antioxidační kapacity zrna ječmene jarního.....	111
Obr. 18 Grafické znázornění výsledků shlukové analýzy antioxidační kapacity sladu	112

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Limitní hodnoty a váhy kvalitativních parametrů (Psota, Kosař, 2002)	16
Tab. 2 Požadované parametry odrůd ječmene vhodných pro výrobu Českého piva (Psota, 2013).....	17
Tab. 3 Chemické složení obilky ječmene (MacGregor, Fincher, 1993).....	18
Tab. 4 Přehled reaktivních forem kyslíku (Darley-Usmar, Halliwell, 1996)	19
Tab. 5 Přehled reaktivních forem dusíku (Darley-Usmar, Halliwell, 1996)	22
Tab. 6 Představitelé jednotlivých skupin enzymů (Kosař <i>et al.</i> , 2000)	37
Tab. 7 Termíny výsevu a sklizně ječmene jarního v letech 2009 až 2011 na lokalitě Žabčice.....	48
Tab. 8 Hodnoty globální radiace ve vegetačním období v letech 2009 až 2011 na lokalitě Žabčice [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$].....	50
Tab. 9 Agrotechnické ošetření pokusu v roce 2009.....	51
Tab. 10 Agrotechnické ošetření pokusu v roce 2010.....	52
Tab. 11 Agrotechnické ošetření pokusu v roce 2011.....	53
Tab. 12 Technologie laboratorního sladování (Cerkal <i>et al.</i> , 2010).....	55
Tab. 13 Výsledky analýzy variance antioxidační kapacity zrna ječmene jarního a sladu	64
Tab. 14 Podíl vlivu sledovaných faktorů na variabilitě TEAC zrna ječmene a sladu	64
Tab. 15 Průměrné hodnoty TEAC zrna ječmene jarního a sladu a výsledky testování rozdílů mezi úrovněmi faktorů LSD testem	66
Tab. 16 Průměrné hodnoty vybraných parametrů u analyzovaných vzorků zrna ječmene jarního a sladu v letech 2009 až 2011 (v průměru odrůd a variant ošetření) ...	66
Tab. 17 Souhrnné výsledky antioxidační kapacity a vybraných technologických parametrů zrna ječmene a sladu z let 2009 až 2011 z lokality Žabčice.....	113
Tab. 18 Hodnoty korelačních koeficientů dle Pearsona (r) vybraných proměnných (n = 160)	120

10 SEZNAM ZKRATEK

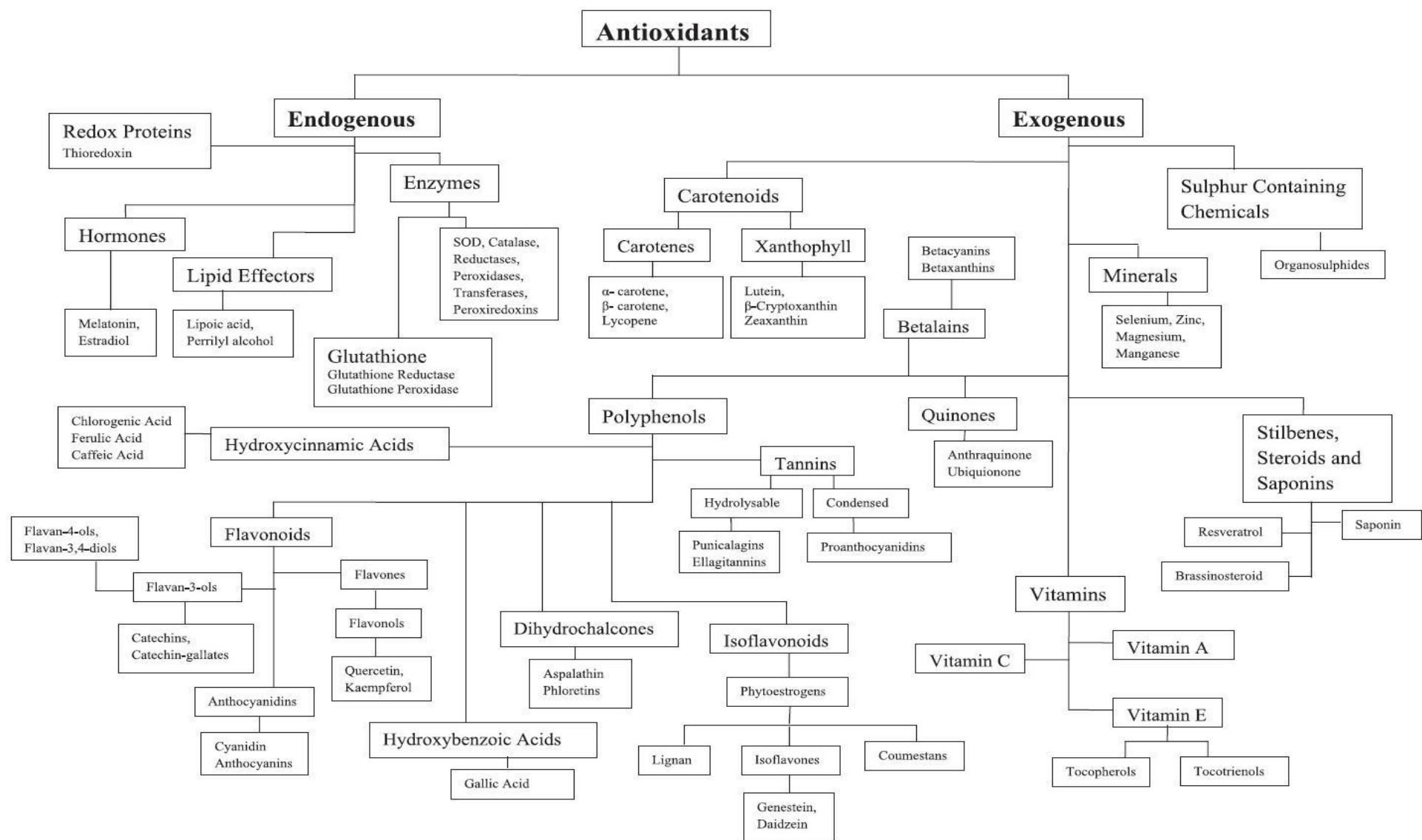
α	hladina významnosti
A	absorbance
ABTS	diamonná sůl kyseliny 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonové)
AGEs	Advanced Glycation End Products
BDE	Bond Dissociation Energy
BHA	butylhydroxyanisol
BHT	butylhydroxytoluen
CAS	Chemical Abstracts Service
CAT	enzym katalasa
CBA	Crocin Bleaching Assay
CUPRAC	Cupric Reducing Antioxidant Capacity
CV	Cyclic Voltammetry
ČSN	Česká technická norma
DC	dekadická makrofenologická stupnice dle Zadokse
DCPI	2,6-dichlorophenolindophenol
DMSO	dimethylsulfoxid
DMPD	N,N-dimethyl-p-phenylendiamin
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DPPH	1,1-difenyl-2-(2,4,6-trinitrofenyl)hydrazyl
EBC	European Brewery Convention
EC	Enzyme Commission
ESR	Electron Spin Resonance
ET	Electron Transfer
FCR	Folin–Ciocalteu Reagent
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
HAT	Hydrogen Atom Transfer
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
HTZ	hmotnost tisíce zrn
IP	Ionization Potential
ITT	Indicator Time Test
J	joule

kcal	kilokalorie
LAV	ledek amonný s vápencem
LSD	Least Significant Difference
MEBAK	Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
MENDELU	Mendelova univerzita v Brně
mV	milivolt
N _{min}	minerální dusík
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity
p	p-hodnota
PCA	Principal Component Analysis
PDMS	prekurzory dimethylsulfidu
PG	propylgallát
PVPP	polyvinylpolypyrrolidon
r	korelační koeficient
RNS	Reactive Nitrogen Species
ROS	Reactive Oxygen Species
RONS	Reactive Oxygen and Nitrogen Species
SET	Single Electron Transfer
SOD	enzym superoxiddimutasa
SRN	Spolková republika Německo
SWV	Square Wave Voltammetry
TAC	Total Antioxidant Capacity
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity
TPC	Total Phenolic Content
TOSC	Total Oxidant Scavenging Capacity
TRAP	Total Radical-Trapping Antioxidant Potential (Parameter)
USJ	Ukazatel sladovnické jakosti
U	enzymová jednotka
UK	United Kingdom
UV	ultrafialové záření
VŠCHT	Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
VÚPS	Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s.
WK	jednotky Windisch-Kolbacha

11 PŘÍLOHY

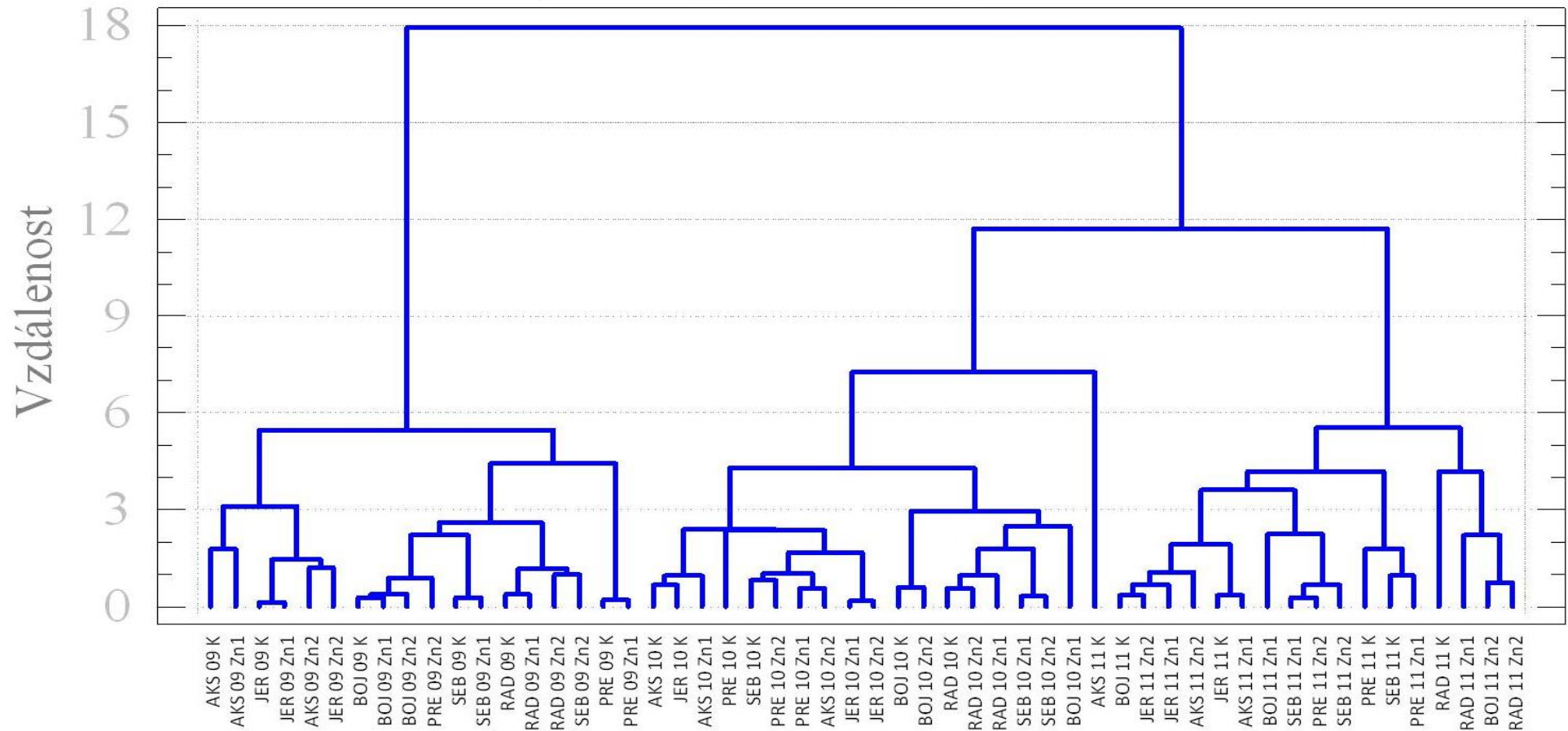
12 SEZNAM PŘÍLOH

Obr. 16 Graficky znázorněné rozdělení antioxidantů (Wootton-Beard, Ryan, 2011)..	110
Obr. 17 Grafické znázornění výsledků shlukové analýzy antioxidační kapacity zrna ječmene jarního.....	111
Obr. 18 Grafické znázornění výsledků shlukové analýzy antioxidační kapacity sladu	112
Tab. 17 Souhrnné výsledky antioxidační kapacity a vybraných technologických parametrů zrna ječmene a sladu z let 2009 až 2011 z lokality Žabčice.....	113
Tab. 18 Hodnoty korelačních koeficientů dle Pearsona (r) vybraných proměnných (n = 160)	120



Obr. 16 Graficky znázorněné rozdělení antioxidantů (Wootton-Beard, Ryan, 2011)

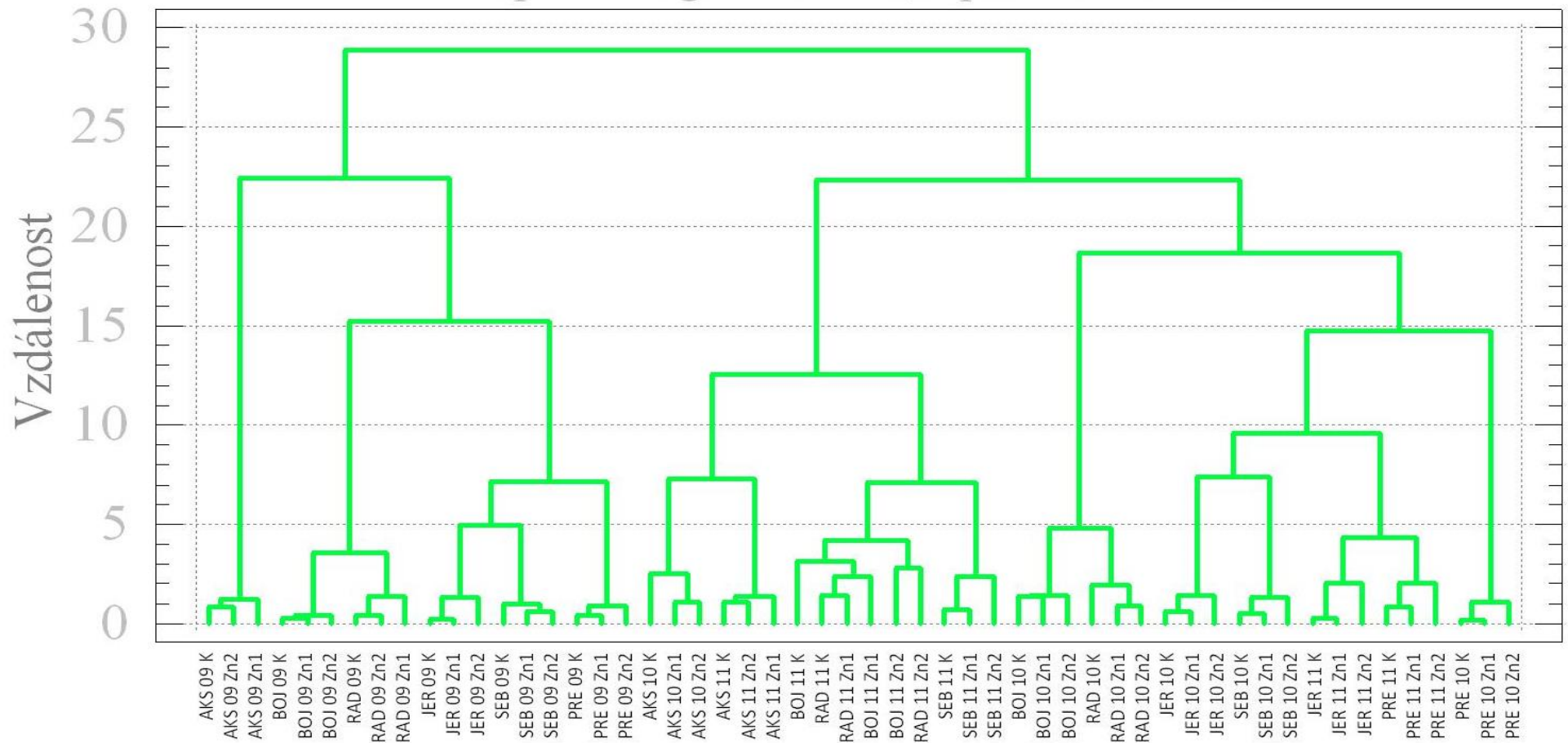
Group Average Method, Squared Euclidean



Pozn.: AKS – Aksamit; BOJ – Bojos; JER – Jersey; PRE – Prestige; RAD – Radegast; SEB – Sebastian; 09 – rok 2009; 10 – rok 2010; 11 – rok 2011; K – kontrola (neošetřená varianta); Zn1 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 31; Zn2 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 55.

Obr. 17 Grafické znázornění výsledků shlukové analýzy antioxidační kapacity zrna ječmene jarního

Group Average Method, Squared Euclidean



Pozn.: AKS – Aksamit; BOJ – Bojos; JER – Jersey; PRE – Prestige; RAD – Radegast; SEB – Sebastian; 09 – rok 2009; 10 – rok 2010; 11 – rok 2011; K – kontrola (neošetřená varianta); Zn1 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 31; Zn2 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 55.

Obr. 18 Grafické znázornění výsledků shlukové analýzy antioxidační kapacity sladu

Tab. 17 Souhrnné výsledky antioxidační kapacity a vybraných technologických parametrů zrna ječmene a sladu z let 2009 až 2011 z lokality Žabčice

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$]	DPPH zrno [$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$]	ABTS slad [$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$]	DPPH slad [$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v moučce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpustný dusík [$\text{mg}\cdot 100\text{ml}^{-1}$]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β -glukanů [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	USJ
Aksamit	K	A	2009	2,451	1,306	2,731	1,776	46,41	63,8	11,6	92	81,3	32,5	339	80,7	10,92	71	36,7	78,7	279	1,8
Bojos	K	A	2009	2,012	1,289	2,671	1,579	49,18	64	12	91,1	81,4	33,5	346	78,6	11,49	85	41,4	88,7	95	2,7
Jersey	K	A	2009	2,316	1,244	2,767	2,158	46,29	63,3	11,5	91	81,9	43	378	81,7	10,8	88	45,8	87,9	211	5,2
Prestige	K	A	2009	2,394	1,209	2,740	1,989	51,26	62,6	12,2	90,7	81,1	42,2	432	81,6	11,66	91	43,7	81,6	180	4,1
Radegast	K	A	2009	1,669	1,032	2,667	1,734	49,70	63,5	11,9	91,4	81,7	38,5	337	78	11,37	96	47,3	82,8	109	4,1
Sebastian	K	A	2009	2,051	1,129	2,735	2,222	46,16	63,6	11,1	91,1	82,6	41,5	355	81,5	10,29	88	48	84,2	163	7,2
Aksamit	K	B	2009	2,535	1,528	2,735	1,656	45,78	62,7	12,1	91,3	80,2	34,8	367	80,2	11,77	79	37,8	74,8	262	1,7
Bojos	K	B	2009	1,944	1,271	2,713	1,543	48,62	63,6	12	91,4	81	34,1	346	77,9	11,72	90	42,9	87,6	109	2,8
Jersey	K	B	2009	2,389	1,386	2,758	2,194	44,51	64,4	10,8	80,3	81,9	43,9	359	81,3	10,04	89	49,8	85,1	253	4,8
Prestige	K	B	2009	2,203	1,324	2,754	2,490	52,66	63,5	12,3	91,2	81,4	44,8	423	81,6	11,75	87	41,6	81,9	244	3,7
Radegast	K	B	2009	1,809	1,085	2,649	1,381	49,21	63,8	12,2	91,3	81,3	37,8	330	77,7	11,3	92	45,6	80,8	164	3,2
Sebastian	K	B	2009	2,141	1,262	2,740	1,727	46,66	63,1	11,7	90,7	81,7	42,4	365	81,2	10,92	95	48,6	82,2	168	4,7
Aksamit	K	C	2009	2,485	1,412	2,726	1,656	47,92	62,7	12,4	92,1	80,4	32,8	363	80,2	12,1	76	35,3	73,8	350	1,7
Bojos	K	C	2009	2,023	1,351	2,740	1,564	50,48	63,1	13	90,4	79,9	35,6	388	78,1	12,35	92	41,6	85	162	2,9
Jersey	K	C	2009	2,535	1,306	2,763	2,314	46,03	64,1	11,4	91	81,8	42,3	391	81,8	10,7	89	46,6	83,7	260	4,6
Prestige	K	C	2009	2,259	1,377	2,745	2,080	52,35	63,5	12,4	91,4	80,6	45	482	81,4	11,98	90	42,2	79,2	225	3,5
Radegast	K	C	2009	1,888	1,200	2,681	1,614	50,28	62,6	12,8	91,8	80,7	36,6	318	77,1	12,2	92	42,4	79,1	184	2,7
Sebastian	K	C	2009	2,130	1,297	2,740	1,741	47,15	62,4	12,7	90,9	81	42,4	420	80,5	11,93	102	48,2	79,7	163	3,8
Aksamit	Zn1	A	2009	2,451	1,439	2,726	1,614	48,17	63,2	12	91,2	81,2	33,7	361	80,9	11,47	77	37,6	74,7	332	1,8
Bojos	Zn1	A	2009	2,006	1,262	2,644	1,564	49,06	62,9	12,7	90,6	80,8	35	365	78,5	12,12	90	41,6	84,9	125	2,7
Jersey	Zn1	A	2009	2,304	1,306	2,763	2,172	46,48	64,5	11,4	90,8	81,9	43,3	388	81,2	10,74	90	46,8	86,4	261	4,9
Prestige	Zn1	A	2009	2,394	1,306	2,749	2,003	53,18	63,5	12,1	91,1	81,2	45	435	81,9	11,34	86	42,5	82,2	216	4,0
Radegast	Zn1	A	2009	2,062	1,200	2,580	1,183	50,22	63,3	12,7	91,1	81	37,6	329	77,2	12,03	93	43,2	78,4	207	2,8

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [μmol.g ⁻¹]	DPPH zrno [μmol.g ⁻¹]	ABTS slad [μmol.g ⁻¹]	DPPH slad [μmol.g ⁻¹]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v mouce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpustný dusík [mg.100ml ⁻¹]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β-glukanů [mg.l ⁻¹]	USJ
Sebastian	Zn1	A	2009	2,220	1,120	2,740	1,494	46,15	63,4	12,3	90,4	81,8	41,5	395	81,1	11,46	96	46,8	78,8	159	4,5
Aksamit	Zn1	B	2009	2,428	1,280	2,731	1,685	47,04	63,2	11,6	91,8	81	33,3	337	81	11,1	75	37,9	75,2	338	1,8
Bojos	Zn1	B	2009	1,989	1,244	2,740	1,741	47,58	64,7	11,5	90,1	81,6	36,4	340	79,4	10,85	87	44,7	89,9	89	3,7
Jersey	Zn1	B	2009	2,316	1,182	2,767	2,413	45,66	63,9	10,9	91,1	81,9	45,5	349	81,6	10,25	90	49,2	89,4	210	5,2
Prestige	Zn1	B	2009	2,164	1,191	2,758	2,102	49,18	62,7	11,9	91,3	80,9	46,8	448	82,4	11,26	85	42,2	83,1	163	4,3
Radegast	Zn1	B	2009	1,843	0,961	2,681	1,430	48,55	64,4	11,4	91,8	81,6	37,6	336	77,8	11,26	88	43,6	82,4	145	3,6
Sebastian	Zn1	B	2009	2,164	1,182	2,749	2,010	46,87	63,7	11,3	90,9	82	42,4	408	81,3	10,73	93	48,9	84,7	130	5,9
Aksamit	Zn1	C	2009	2,428	1,421	2,694	1,246	48,82	61,9	13	91,9	79,7	32,9	351	80	12,62	78	34,9	63,1	440	1,6
Bojos	Zn1	C	2009	2,017	1,200	2,731	1,331	49,45	63,2	13,7	90,8	79,7	35,4	390	78,1	13,24	94	39,4	81,2	177	2,1
Jersey	Zn1	C	2009	2,451	1,324	2,758	2,172	45,12	64	11,3	91,2	81,2	43,6	416	81,3	10,85	88	45,4	82,3	321	3,7
Prestige	Zn1	C	2009	2,310	1,395	2,786	2,144	52,97	62,3	12,8	91,2	80,2	45,1	436	81,4	12,35	88	39,9	76,9	217	3,0
Radegast	Zn1	C	2009	1,989	1,103	2,667	1,275	49,78	62,3	13	91,2	80,4	36,8	345	76,8	12,3	92	41,8	74,3	197	2,7
Sebastian	Zn1	C	2009	2,169	1,209	2,754	1,593	48,02	62,2	12,8	90,5	81,2	43,1	424	80,9	11,95	102	48	72,6	174	3,7
Aksamit	Zn2	A	2009	2,406	1,235	2,740	1,706	46,81	64,1	11,5	92	81	33,3	339	79,4	11,26	75	37,3	72	319	1,5
Bojos	Zn2	A	2009	1,882	1,200	2,703	1,819	49,62	64	12,5	91,6	81,1	36	366	78,6	11,99	95	44,3	88,9	112	3,2
Jersey	Zn2	A	2009	2,141	1,138	2,758	2,314	46,13	63,6	11,1	90,7	82	44	341	82	10,4	88	47,7	87,3	263	5,2
Prestige	Zn2	A	2009	2,113	1,262	2,749	2,116	52,63	63,1	11,7	91,3	81,2	45,2	465	82,2	11,02	85	43,3	84	174	4,3
Radegast	Zn2	A	2009	1,618	0,908	2,676	1,494	49,36	64,3	12	91,1	81,6	38,5	330	77,7	11,4	92	45,3	83,5	150	3,9
Sebastian	Zn2	A	2009	1,742	1,032	2,745	1,974	47,60	64,3	11,6	90,4	82,3	43,3	423	81,9	11	97	49,6	83,6	120	6,5
Aksamit	Zn2	B	2009	2,214	1,085	2,703	1,911	47,37	62,5	12	92,2	80,6	32,8	342	79,9	11,67	73	35,2	70,9	327	1,6
Bojos	Zn2	B	2009	2,068	1,289	2,694	1,465	49,26	63,4	12,6	90,7	81,1	34,8	354	78,5	11,96	92	42,9	86,8	139	2,7
Jersey	Zn2	B	2009	1,995	1,138	2,763	2,144	43,41	62,5	11,4	91,8	81,4	45,7	331	81,2	10,75	85	44,2	84,6	330	3,9
Prestige	Zn2	B	2009	2,062	1,112	2,758	1,776	53,04	62,5	12,3	91	80,6	44,7	456	81,9	11,63	89	42,8	80,7	158	4,1
Radegast	Zn2	B	2009	1,680	0,917	2,699	1,267	49,48	63,4	12,4	91,4	81,1	38,2	336	77,6	11,79	94	44,7	81,1	137	3,4

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [μmol.g ⁻¹]	DPPH zrno [μmol.g ⁻¹]	ABTS slad [μmol.g ⁻¹]	DPPH slad [μmol.g ⁻¹]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v mouce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpustný dusík [mg.100ml ⁻¹]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β-glukanů [mg.l ⁻¹]	USJ
Sebastian	Zn2	B	2009	1,601	1,182	2,740	1,677	47,87	63	11,9	91,1	82	41,3	403	81,4	11,05	95	47,9	78	216	4,6
Aksamit	Zn2	C	2009	2,361	1,368	2,708	1,571	48,30	63,4	11,9	92,5	80,8	32,3	338	79,9	11,46	71	34,8	73,9	336	1,6
Bojos	Zn2	C	2009	1,894	1,112	2,717	1,791	50,10	62,7	13,4	80,5	79,9	33,9	408	77,4	12,43	93	41,6	82,6	162	2,6
Jersey	Zn2	C	2009	2,282	1,368	2,767	2,589	47,16	64,4	11,1	90,9	81,9	41,5	350	81,6	10,37	86	46,5	88,3	230	5,1
Prestige	Zn2	C	2009	2,198	1,191	2,777	2,031	41,61	63,7	12,3	91,3	80,8	44,5	434	82,1	11,58	87	42,1	81,6	172	4,1
Radegast	Zn2	C	2009	1,787	1,058	2,699	1,366	48,95	62,9	12,5	91,2	81,1	38,6	333	77,2	11,79	93	44	81,3	123	3,5
Sebastian	Zn2	C	2009	1,826	1,103	2,754	1,875	47,71	63,2	11,4	91,2	81,9	40,1	429	81,3	10,86	93	47,8	78,4	194	4,6
Aksamit	K	A	2010	2,846	1,891	3,127	2,455	41,99	64,5	9,5	92,6	82,6	33,2	292	80	8,96	61	38,2	82	347	3,3
Bojos	K	A	2010	2,537	1,659	2,842	2,304	42,87	65,5	8,8	92	83,6	38,9	296	78,4	8,79	76	48	94,2	113	6,2
Jersey	K	A	2010	2,993	1,959	3,336	2,862	43,50	64,2	9,3	91,6	83,2	44,2	298	82,2	8,85	74	47	92,1	199	7,2
Prestige	K	A	2010	2,734	2,037	3,301	2,596	45,55	65,3	9,1	91,8	83,8	48,7	414	83	8,23	71	48,1	93,6	129	7,9
Radegast	K	A	2010	2,345	1,564	2,593	2,242	45,42	65,1	9,7	90,8	84,1	40,9	298	78,4	8,98	82	51,4	90,8	111	5,9
Sebastian	K	A	2010	2,446	1,719	3,069	2,322	44,63	64,4	9	92	83,6	37,9	324	81,3	8,71	67	43,5	90,2	182	6,7
Aksamit	K	B	2010	2,874	1,951	3,162	2,517	42,48	64,4	9,4	93	83	31,1	280	79	8,76	58	37,5	80,4	394	2,9
Bojos	K	B	2010	2,497	1,788	2,953	2,463	41,74	64,6	9,2	92,1	83,7	37,5	280	77,6	8,81	75	47,6	91,3	188	5,4
Jersey	K	B	2010	2,807	1,753	3,156	2,738	43,95	64,6	9,2	91,7	83,3	43,8	286	81,4	8,73	73	47,4	91,8	243	6,4
Prestige	K	B	2010	2,683	1,830	3,261	2,791	46,11	64,7	9,4	92,5	83,5	46,5	434	82,8	8,53	69	45,5	90,6	166	7,6
Radegast	K	B	2010	2,446	1,444	2,726	2,339	44,27	64,9	9,9	90,4	84,4	40,4	273	78,1	9,37	84	50,5	90,6	127	6,0
Sebastian	K	B	2010	2,424	1,779	3,051	2,180	44,89	64,7	9	91	84,5	36,7	374	82,1	8,41	66	44,4	94,2	113	6,5
Aksamit	K	C	2010	2,925	1,873	3,081	2,348	42,33	65,1	9,1	92,6	83	32,1	265	79,9	8,3	61	41,6	84,3	327	4,0
Bojos	K	C	2010	2,587	1,581	2,732	2,339	42,04	66	9,1	92,5	83,8	37,2	302	78,2	8,53	68	44,8	93,2	167	5,5
Jersey	K	C	2010	2,835	1,676	3,191	2,827	42,77	64,6	9	91,9	83,5	43,7	274	81,8	8,61	75	48,9	93,1	211	6,8
Prestige	K	C	2010	2,858	1,796	3,336	2,605	44,89	64,8	8,9	91,5	84	48,8	417	84,3	8,4	72	48,2	95,4	104	8,0
Radegast	K	C	2010	2,531	1,599	2,842	2,207	42,40	65,2	9,4	90,4	84,2	42,7	238	79	8,58	82	53,7	94,2	74	4,9

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [μmol.g ⁻¹]	DPPH zrno [μmol.g ⁻¹]	ABTS slad [μmol.g ⁻¹]	DPPH slad [μmol.g ⁻¹]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v mouce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpustný dusík [mg.100ml ⁻¹]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β-glukanů [mg.l ⁻¹]	USJ
Sebastian	K	C	2010	2,385	1,719	3,127	2,304	43,55	65,1	8,5	91,1	83,9	39,4	339	82,2	8,09	65	45,4	96,2	104	8,1
Aksamit	Zn1	A	2010	2,779	1,788	3,098	2,561	43,37	65,1	8,9	92,5	83,1	32,2	285	79,9	8,95	66	41,5	83,3	326	4,1
Bojos	Zn1	A	2010	2,418	1,650	3,028	2,410	44,70	64,9	9,9	92,4	83,7	37,1	315	77,2	9,64	74	43,2	90	181	5,5
Jersey	Zn1	A	2010	2,672	1,633	3,197	2,729	43,67	63,9	9,6	91,8	83	41,7	299	80,9	8,83	75	48,2	89,7	269	6,2
Prestige	Zn1	A	2010	2,649	1,830	3,284	2,481	46,27	64,7	9,6	92,1	83,6	45,9	447	83,3	8,7	71	45,8	98,3	167	7,7
Radegast	Zn1	A	2010	2,238	1,496	2,796	2,100	43,06	64,7	9,8	90,4	84,3	40,7	276	77,4	9,31	81	48,8	90,9	108	6,3
Sebastian	Zn1	A	2010	2,187	1,616	3,139	2,198	45,92	64,8	9,2	91,6	84,2	37,4	366	81,4	8,6	68	45	93,5	128	6,9
Aksamit	Zn1	B	2010	2,711	1,788	2,999	2,481	41,99	64,7	9,1	92,7	83,2	32,6	268	80,2	8,6	65	42,6	82,9	332	4,1
Bojos	Zn1	B	2010	2,441	1,496	2,889	2,322	42,84	65,3	9,6	92,1	84,2	37,8	292	77,5	9,22	74	45,2	93,8	148	5,8
Jersey	Zn1	B	2010	2,593	1,736	3,237	2,782	42,91	64,3	9	91,9	83,3	43,8	305	82,7	8,17	73	50,4	92,9	181	7,0
Prestige	Zn1	B	2010	2,520	1,805	3,284	2,676	43,75	65,2	9,1	92,5	84,2	49,8	401	83,9	8,32	71	48,1	93,1	147	7,3
Radegast	Zn1	B	2010	2,300	1,427	2,622	2,401	43,93	64,4	9,8	91,1	84,5	41,1	247	77,8	9,52	78	46,2	92	135	5,9
Sebastian	Zn1	B	2010	2,334	1,530	3,057	2,145	44,02	64,3	9	92,1	84	37,6	331	81,2	8,4	65	43,8	90,8	189	6,5
Aksamit	Zn1	C	2010	2,801	1,736	2,947	2,437	41,99	65	9,1	92,3	82,9	31,9	286	79,9	8,42	60	40	86,6	275	3,6
Bojos	Zn1	C	2010	2,458	1,427	2,825	2,233	43,47	65,4	9,4	90,9	84,4	37	305	78,6	9,19	71	43,3	97,6	107	5,6
Jersey	Zn1	C	2010	2,638	1,702	3,342	2,703	44,15	63,9	9,2	91,9	83,1	42,6	312	82,2	8,39	74	49,5	92,8	230	6,6
Prestige	Zn1	C	2010	2,649	1,581	3,231	2,711	44,54	65,6	9,1	92,5	83,8	46,7	404	83,6	8,27	70	47,6	92,3	138	8,0
Radegast	Zn1	C	2010	2,204	1,350	2,709	2,233	42,92	65,2	9,5	91,8	84,6	40,5	243	77,1	8,91	78	48,9	89,9	149	5,7
Sebastian	Zn1	C	2010	2,182	1,590	3,051	2,348	45,35	64,5	9	92,2	83,9	37,4	325	80,9	8,49	65	43,3	90,8	184	6,4
Aksamit	Zn2	A	2010	2,728	1,762	2,854	2,393	43,45	65,1	9,1	92	82,7	32,9	325	79,9	8,81	65	41,3	84,1	254	4,0
Bojos	Zn2	A	2010	2,401	1,539	2,715	2,171	43,22	64,8	10	90,7	83,4	37,8	324	77,9	9,68	76	44,4	94,2	92	6,0
Jersey	Zn2	A	2010	2,599	1,736	3,046	2,596	43,28	63,8	9,7	92,7	82,8	40,6	334	81,2	9,07	75	46,6	87,7	301	6,3
Prestige	Zn2	A	2010	2,644	1,581	3,104	2,508	47,75	64,3	10,1	91,1	83,4	45,1	470	82,9	9,04	76	47,6	88,3	164	7,9
Radegast	Zn2	A	2010	2,278	1,461	2,540	2,012	44,87	65	10,2	91,6	83,7	40,2	283	76,8	9,67	83	48,3	87,3	194	6,0

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [μmol.g ⁻¹]	DPPH zrno [μmol.g ⁻¹]	ABTS slad [μmol.g ⁻¹]	DPPH slad [μmol.g ⁻¹]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v mouce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpustný dusík [mg.100ml ⁻¹]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β-glukanů [mg.l ⁻¹]	USJ
Sebastian	Zn2	A	2010	2,148	1,521	2,959	2,056	46,84	63,7	9,7	91,4	84,1	36,7	360	80,5	8,97	70	44,3	88	202	5,8
Aksamit	Zn2	B	2010	2,576	1,779	2,924	2,428	43,45	64,7	9,6	92,5	82,9	33,9	307	80,3	8,92	65	41,1	86,7	260	4,2
Bojos	Zn2	B	2010	2,593	1,599	2,790	2,153	41,91	66,1	9,1	91,6	84,2	38,8	284	78,4	9,02	74	46,3	94,4	93	6,2
Jersey	Zn2	B	2010	2,627	1,650	3,057	2,508	43,59	64,3	9,3	91,9	83,6	43	328	81,9	8,78	76	48,9	91	209	7,0
Prestige	Zn2	B	2010	2,480	1,667	3,127	2,543	44,36	64,6	9,1	92,1	83,7	49	429	84,2	8,22	72	49,1	92,1	124	7,7
Radegast	Zn2	B	2010	2,227	1,521	2,668	2,029	42,81	65,3	9,2	91	84	41,9	240	77,9	8,96	82	51,2	90,3	152	5,3
Sebastian	Zn2	B	2010	2,306	1,590	2,970	1,897	43,94	64,3	8,7	91,3	83,9	38	338	80,9	8,4	65	43,9	92,5	181	6,7
Aksamit	Zn2	C	2010	2,672	1,719	2,924	2,304	43,91	64,8	9,1	92,6	83,3	34,1	274	80,8	8,54	65	42,7	87,4	287	4,4
Bojos	Zn2	C	2010	2,340	1,650	2,808	2,180	41,81	65,6	9,1	92,1	83,7	38,4	261	78,9	8,84	71	45	97,8	99	5,9
Jersey	Zn2	C	2010	2,582	1,624	3,110	2,605	43,86	64,2	8,8	92,6	83,2	43,5	297	81,8	8,28	72	48,8	93,6	204	7,0
Prestige	Zn2	C	2010	2,514	1,710	3,098	2,525	45,12	65	8,9	91,2	84,2	49,5	405	83,9	8,03	69	48	94,9	109	7,7
Radegast	Zn2	C	2010	2,233	1,444	2,639	2,180	43,38	65,3	9,3	91,1	84,2	41,4	241	77,1	8,88	78	49,6	92,2	116	5,7
Sebastian	Zn2	C	2010	2,193	1,521	2,953	2,029	43,68	64,8	8,7	91,7	84,4	38,7	326	80,8	8,31	64	43,7	91,6	176	7,0
Aksamit	K	A	2011	2,466	1,678	2,930	2,597	46,50	63,6	10,2	92,1	82	31,9	284	78,9	9,79	62	36,1	65,3	662	2,2
Bojos	K	A	2011	2,094	1,437	2,780	2,510	49,38	63,8	11	92	82,3	32,2	318	77,2	10,37	73	39,8	70,2	387	2,5
Jersey	K	A	2011	2,348	1,592	3,102	2,843	46,88	64,6	9,6	92,6	82,7	38,2	342	81,3	9,07	74	46	85,6	376	5,1
Prestige	K	A	2011	2,500	1,497	2,901	3,027	49,46	64,3	10,4	90,8	82,8	43,3	351	81,9	10,06	78	43,8	78,4	336	4,6
Radegast	K	A	2011	2,274	1,377	2,619	2,387	52,94	63,4	11,2	90,7	82,6	35,2	292	81,6	10,69	82	43,2	78,5	259	3,3
Sebastian	K	A	2011	2,167	1,274	2,556	2,571	48,47	64,7	9,5	91,4	83,9	35,5	376	81,1	9,24	71	43,4	81,1	290	3,8
Aksamit	K	B	2011	2,539	1,703	2,884	2,755	47,06	62,8	10,5	93,3	81,7	30,5	354	78,9	10,03	62	35	66,9	593	1,8
Bojos	K	B	2011	2,133	1,489	2,838	2,597	49,08	63,9	10,6	92	83,2	31,6	333	77,1	10,05	68	38	80,6	256	3,0
Jersey	K	B	2011	2,421	1,549	3,056	3,027	47,80	64	10	92,6	82,8	37,4	379	81,4	9,44	73	43,5	84,9	368	4,9
Prestige	K	B	2011	2,455	1,626	2,769	3,106	50,27	64	10,3	92,3	82,8	40,3	364	81,6	10,05	71	39,5	78,9	385	3,9
Radegast	K	B	2011	2,314	1,411	2,665	2,369	52,05	63,9	10,9	91,2	83,2	35,3	313	77,7	10,47	81	43,5	79,6	325	3,6

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [μmol.g ⁻¹]	DPPH zrno [μmol.g ⁻¹]	ABTS slad [μmol.g ⁻¹]	DPPH slad [μmol.g ⁻¹]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v mouce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpuštěný dusík [mg.100ml ⁻¹]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β-glukanů [mg.l ⁻¹]	USJ
Sebastian	K	B	2011	2,241	1,368	2,539	2,852	49,86	63,9	10,1	91,8	83,7	34,4	410	81,2	9,6	70	41,4	77,2	317	3,3
Aksamit	K	C	2011	2,522	1,721	2,941	2,834	46,28	66,4	8,2	91,2	84,2	34,8	318	83	7,35	67	51,7	92,5	211	3,8
Bojos	K	C	2011	2,083	1,446	2,746	2,475	47,25	66,9	8,1	91,5	84,9	35,9	234	80,2	7,55	70	52,7	96	153	4,3
Jersey	K	C	2011	2,534	1,618	3,045	3,001	47,47	66,6	8,1	92,5	84,7	41,2	285	82,6	7,7	73	53,2	96,4	189	5,1
Prestige	K	C	2011	2,472	1,540	2,924	2,948	49,68	67,2	8,3	92,3	84,1	43	358	82,8	8,07	70	49,1	89	166	6,1
Radegast	K	C	2011	2,331	1,308	2,729	2,396	48,72	65,9	9,1	92	84,3	37,2	298	77,4	8,54	76	50,2	87,8	211	5,0
Sebastian	K	C	2011	2,297	1,394	2,504	2,615	49,06	65,9	8,7	92,6	84,5	36,1	362	81,1	8,33	70	47,6	84,7	365	4,4
Aksamit	Zn1	A	2011	2,342	1,566	2,878	2,826	47,46	63,7	10	90,8	82,6	33,2	320	80,9	9,52	67	39,4	77	401	2,7
Bojos	Zn1	A	2011	2,009	1,394	2,671	2,633	49,46	64,3	10,8	90,2	83	35,7	335	78,8	10,38	77	41,7	82,3	279	4,1
Jersey	Zn1	A	2011	2,263	1,497	3,039	3,115	49,68	63,5	10,4	92,1	82,7	37,1	346	80,8	10,11	78	43,5	81,4	419	4,5
Prestige	Zn1	A	2011	2,286	1,463	2,798	3,185	51,66	63,7	11	91,5	82,2	41,1	369	81,8	10,71	78	40,9	72,7	400	3,9
Radegast	Zn1	A	2011	2,139	1,256	2,539	2,369	51,91	64,2	11,9	91,3	82,3	35,6	319	77,7	11,05	83	42,4	72,1	311	3,2
Sebastian	Zn1	A	2011	2,066	1,196	2,510	2,606	52,42	63,6	11,2	91,5	82,4	33,7	403	80,1	10,73	75	39,2	65,9	383	2,6
Aksamit	Zn1	B	2011	2,331	1,549	2,930	2,773	46,40	64,8	9,5	92,5	82,8	32,1	322	80,3	8,58	61	40,3	78	499	2,9
Bojos	Zn1	B	2011	1,919	1,463	2,734	2,475	47,70	65,9	8,9	91,8	84,5	34,7	260	80,6	8,43	67	44,9	89,6	229	4,1
Jersey	Zn1	B	2011	2,218	1,480	3,074	2,790	48,74	64,1	9,7	91,7	82,8	39,2	338	81,8	9,37	77	46,1	89,5	335	5,3
Prestige	Zn1	B	2011	2,359	1,566	2,826	2,940	48,94	65,6	8,8	91	84,5	44,5	385	83,2	8,21	68	46,5	89,9	208	5,8
Radegast	Zn1	B	2011	2,111	1,377	2,591	2,229	49,00	66,4	8,9	90,9	84,7	37,8	287	79,5	8,25	74	50,3	93,2	140	5,7
Sebastian	Zn1	B	2011	2,015	1,291	2,435	2,597	48,64	65,5	8,6	91	85	36,9	359	82	8,23	64	44	89,6	201	5,2
Aksamit	Zn1	C	2011	2,224	1,618	3,022	2,633	46,68	66,1	8,3	93,8	84,1	33,7	315	80,8	7,85	56	40,8	81,6	395	3,5
Bojos	Zn1	C	2011	1,959	1,463	2,522	2,352	47,72	67	8,2	92,6	85,1	36,1	279	79,1	7,95	63	45,2	92,7	199	4,8
Jersey	Zn1	C	2011	2,128	1,575	2,855	2,808	47,54	66	8,2	92,2	84,7	40,6	330	82,9	7,67	69	50,6	95,6	186	5,7
Prestige	Zn1	C	2011	2,263	1,523	2,947	2,931	50,72	65,8	8,6	93,3	84,7	41,4	364	82,9	8,15	64	44,2	89,5	159	6,2
Radegast	Zn1	C	2011	2,094	1,282	2,648	2,247	49,08	66,4	8,9	92,3	85,3	36,9	292	80,4	8,5	72	48	85	211	5,1

Odrůda	Varianta	Opakování	Rok	ABTS zrno [μmol.g ⁻¹]	DPPH zrno [μmol.g ⁻¹]	ABTS slad [μmol.g ⁻¹]	DPPH slad [μmol.g ⁻¹]	HTZ [g]	Obsah škrobu [%]	Obsah bílkovin zrno [%]	Výtěžnost sladování [%]	Extrakt v mouce [%]	Rel. extrakt 45 °C [%]	Diastatická mohutnost [WK]	Stupeň prokvašení 72 h [%]	Obsah bílkovin slad [%]	Rozpustný dusík [mg.100ml ⁻¹]	Kolbachovo číslo	Friabilita [%]	Obsah β-glukanů [mg.l ⁻¹]	USJ
Sebastian	Zn1	C	2011	1,981	1,360	2,556	2,624	49,38	66,1	8,1	92,9	84,9	37,7	338	82,6	7,53	63	47,2	91,4	242	5,1
Aksamit	Zn2	A	2011	2,173	1,454	2,746	2,527	48,12	62,6	11,2	92,1	81,8	31,3	353	79,8	10,35	65	35,6	64,2	574	1,9
Bojos	Zn2	A	2011	1,778	1,360	2,389	2,185	51,64	63,3	11,6	91,8	81,5	33,3	430	77,7	11,29	75	37,3	71,4	395	1,4
Jersey	Zn2	A	2011	2,117	1,428	2,792	2,597	47,13	63,5	10,6	91,8	82,4	38,5	430	81,2	10,35	80	43,2	82,9	356	4,7
Prestige	Zn2	A	2011	2,071	1,291	2,665	2,711	51,68	63,4	11	92,3	82,3	41	434	81,5	10,26	74	40,9	69,3	422	4,0
Radegast	Zn2	A	2011	1,863	1,239	2,349	2,176	51,66	63,8	10,9	91,6	82,8	35,1	355	77,9	10,68	80	42,3	76,8	324	3,4
Sebastian	Zn2	A	2011	1,993	1,308	2,297	2,343	52,30	63,4	10,9	91	83	34,2	460	80,9	10,25	73	40,2	73,4	307	2,9
Aksamit	Zn2	B	2011	2,150	1,420	2,838	2,580	46,13	65,1	8,8	93	83,5	34,1	295	80,5	8,38	67	44,9	81,6	463	3,7
Bojos	Zn2	B	2011	1,880	1,265	2,458	2,431	47,74	65,4	9,4	92,5	84,1	34,2	284	77,9	9,05	71	44	84	320	3,9
Jersey	Zn2	B	2011	2,066	1,377	2,740	2,773	47,98	65,4	8,8	92	84	40,8	313	82,5	8,25	72	49,3	92,5	200	5,8
Prestige	Zn2	B	2011	2,207	1,239	2,585	2,703	48,52	66,1	8,2	92,8	84,3	42,9	352	83	7,77	67	49,1	90	242	5,4
Radegast	Zn2	B	2011	1,767	1,188	2,332	2,168	49,30	65,6	9,7	92,6	83,6	34,9	293	78,6	8,93	74	46,5	82,2	260	3,8
Sebastian	Zn2	B	2011	1,919	1,145	2,205	2,475	48,14	65,8	7,9	92,9	85	37,8	300	82,3	7,26	67	52,1	89,1	295	4,5
Aksamit	Zn2	C	2011	2,094	1,420	2,688	2,580	46,58	65,5	8,7	93,2	83,8	32,3	306	82,2	8,19	59	40,8	80	356	3,3
Bojos	Zn2	C	2011	1,711	1,248	2,562	2,352	48,11	66,1	8,8	92	84,6	34,4	286	79,5	8,21	64	44	92	210	4,2
Jersey	Zn2	C	2011	2,077	1,420	2,872	2,685	49,26	65,5	8,8	91,8	84,2	38,3	314	81,5	8,33	68	46,1	91,8	232	5,3
Prestige	Zn2	C	2011	2,105	1,368	2,769	2,834	50,88	65	9,5	91,5	83,8	42,4	419	82,6	8,96	71	44,4	89,8	215	5,7
Radegast	Zn2	C	2011	1,807	1,205	2,470	2,369	50,18	65,9	8,8	92,3	84,6	36,7	307	77	8,38	74	49,6	87,6	212	4,9
Sebastian	Zn2	C	2011	1,846	1,170	2,389	2,606	50,44	65,9	8,2	94	84,9	35,5	307	80,4	7,63	63	46,6	89	295	4,1

Pozn.: WK – jednotky Windisch-Kolbacha; K – kontrola (neošetřená varianta); Zn1 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 31; Zn2 – foliární aplikace zinečnatého hnojiva ve fázi DC 55.

Tab. 18 Hodnoty korelačních koeficientů dle Pearsona (r) vybraných proměnných (n = 160)

Proměnná	Z ABTS	Z DPPH	S ABTS	S DPPH	HTZ	OŠK	OBZ	VSL	EVM	RE 45	DM	SP 72	OBS	RD	KČ	FRI	B-GL
USJ	0,333***	0,434***	0,536***	0,410***	-0,471***	0,471***	-0,596***	0,051	0,633***	0,669***	-0,032	0,430***	-0,622***	-0,182*	0,703***	0,788***	-0,527***
B-GL	0,111	0,104	-0,073	0,335***	0,188*	-0,214**	0,015	0,251**	-0,164*	-0,477***	-0,025	0,035	0,032	-0,375***	-0,578***	-0,682***	
FRI	0,228**	0,373***	0,375***	0,262***	-0,494***	0,654***	-0,622***	0,017	0,643***	0,426***	-0,291***	0,207**	-0,633***	-0,201*	0,706***		
KČ	-0,009	0,038	0,118	0,212**	-0,264***	0,508***	-0,436***	-0,112	0,534***	0,600***	-0,188*	0,214**	-0,473***	0,176*			
RD	-0,421***	-0,652***	-0,297***	-0,627***	0,315***	-0,578***	0,796***	-0,476***	-0,650***	0,334***	0,371***	-0,230**	0,780***				
OBS	-0,37***	-0,612***	-0,353***	-0,700***	0,468***	-0,837***	0,991***	-0,352***	-0,924***	-0,083	0,448***	-0,336***					
SP 72	0,339***	0,281***	0,443***	0,474***	-0,019	0,103	-0,296***	0,109	0,174*	0,541***	0,460***						
DM	-0,138	-0,251**	0,008	-0,119	0,473***	-0,488***	0,481***	-0,199*	-0,459***	0,408***							
RE 45	0,170*	0,047	0,336***	0,166*	-0,096	0,014	-0,040	-0,147	0,086								
EVM	0,182*	0,448***	0,153	0,620***	-0,347***	0,857***	-0,928***	0,301***									
VSL	0,151	0,257***	0,130	0,280***	-0,087	0,260***	-0,378***										
OBZ	-0,368***	-0,611***	-0,327***	-0,700***	0,464***	-0,850***											
OŠK	0,148	0,355***	0,073	0,494***	-0,306***												
HTZ	-0,588***	-0,578***	-0,525***	-0,130													
S DPPH	0,419***	0,563***	0,367***														
S ABTS	0,704***	0,737***															
Z DPPH	0,820***																

Pozn.: Z ABTS – antioxidační kapacita zrna stanovená metodou ABTS; Z DPPH – antioxidační kapacita zrna stanovená metodou DPPH; S ABTS – antioxidační kapacita sladu stanovená metodou ABTS; S DPPH – antioxidační kapacita zrna stanovená metodou DPPH; HTZ – hmotnost tisíce zrn; OŠK – obsah škrobu; OBZ – obsah bílkovin v zrně; VSL – výtěžnost sladování; EVM – extrakt v moučce; RE 45 – relativní extrakt při 45 °C; DM – diastatická mohutnost; SP 72 – stupeň prokvašení po 72hodinách; OBS – obsah bílkovin ve sladu; RD – rozpustný dusík; KČ – Kolbachovo číslo; FRI – friabilita; B-GL – obsah β-glukanů ve sladidě; USJ – ukazatel sladovnické jakosti; Hodnoty označené *** představují statistickou významnost při $\alpha = 0,001$; ** při $\alpha = 0,01$ a * při $\alpha = 0,05$.

