

Sladovnický a dietetický významné neškrobové polysacharidy zrna ječmene

Barley Grain Non-starch Polysaccharides with Malting and Nutritional Significance

Pavel MACHÁŇ, Jaroslava EHRENBARGEROVÁ, Radim CERKAL

Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno / Mendel University in Brno, Zemědělská 1, CZ-613 00 Brno

e-mail: xmachan1@node.mendelu.cz

Recenzovaný článek / Reviewed paper

Macháň, P. – Ehrenbergerová, J. – Cerkal, R.: Sladovnický a dietetický významné neškrobové polysacharidy zrna ječmene. Kvasny Prum. 60, 2014, č. 10, s. 258–265

Neškrobové polysacharidy (NSP) tvořící hlavní část buněčných stěn zrna ječmene (arabinoxylany a beta-glukany) představují limitující faktor pro využití produkce ječmene. Arabinoxylany jsou tvořeny (1→4)-β-D-xylanopyrosylovými jednotkami substituovanými α-L-arabinofuranózou. Arabinoxylany jsou esterifikovány kyselinou ferulovou. Beta-glukany jsou tvořeny β-(1→3), (1→4)-D-glukany, přičemž glukosidická β-(1→4) se vyskytuje přibližně ze 70 %, vazba β-(1→3) pak ze zbývajících 30 %. Koncentrace NSP v zrna ječmene je ovlivněna zejména genotypem, péstebním prostředím a intenzitou ošetření porostů. V procesu vaření piva mohou NSP způsobovat technologické i ekonomické problémy. Jejich obsah je však možno v průběhu výroby piva snížit přidávkou příslušných hydrolytických enzymů. NSP tvoří však také hodnotnou složku potravin vlákniny, jež pomáhá snižovat hladinu LDL cholesterolu a hladinu glukózy v krvi, inzulinovou odezvu po jídle, tělesnou hmotnost, krevní tlak, riziko srdeční choroby i rakoviny tlustého střeva a zároveň zmírňuje průběh diabetu II. typu. Jako prebiotikum tvoří nevhodné prostředí pro růst patogenních rodů bakterií. Na základě vědeckých posudků vydala Evropská Komise nařízení č. 1048/2012, ve kterém schvaluje zdravotní tvrzení o pozitivním účinku beta-glukanů.

Macháň, P. – Ehrenbergerová, J. – Cerkal, R.: Barley grain non-starch polysaccharides with malting and nutritional significance. Kvasny Prum. 60, 2014, No. 10, pp. 258–265

Non-starch polysaccharides (NSPs), (arabinoxylans and beta-glucans), a main component of cell walls of barley grain, are a limiting factor for the utilization of barley production. Arabinoxylans are formed by (1→4)-β-D-xylanopyrosyl units substituted with α-L-arabinofuranose. Arabinoxylans are esterified by ferulic acid. Beta-glucans are formed by β-(1→3), (1→4)-D-glucans, β-(1→4) linkages account for ca 70 %, β-(1→3) for the remaining 30 %. NSP concentration in a barley grain is mainly affected by a genotype, growing environment and intensity of vegetation treatment. NSPs can be a cause of technological and economic problems encountered during brewing. However, their content can be reduced by the addition of relevant hydrolytic enzymes. On the other hand, the NSPs form a valuable component of dietary fiber that helps lower LDL cholesterol and glucose level in blood, insulin response to meal, body weight, blood pressure, risk of heart disease and colon cancer, simultaneously they alleviate the course of type II diabetes. As a prebioticum, they create an unsuitable environment for the growth of pathogenic bacterial species. Based on scientific data, the European Commission issued Regulation no. 1048/2012 authorizing a health claim of effects of beta-glucans on human health.

Macháň, P. – Ehrenbergerová, J. – Cerkal, R.: Die Malz- und dietetisch bedeutende nicht stärkehaltige Polysacharide des Gerstenkorns. Kvasny Prum. 60, 2014, Nr. 10, S. 258–265

Nicht stärkehaltige Polysacharide (NSP), bildende den Hauptteil des Gerstenzellwandkornes (Arabinoxylans und beta-Glukane) stellen einen limitierenden Faktor für die Ausnutzung der Gerstenproduktion dar. Arabinoxylans werden durch (1→4)-β-D-Xylanopyrosyl Einheiten substituierten α-L-Arabinofuranosa gebildet. Arabinoxylans sind durch Ferulasäure esterifiziert. Beta Glukane werden durch die β-(1→3), (1→4)-D-Glukane gebildet, wobei glukosidische Bindung β-(1→4) in 70% und Bindung β-(1→3) in 30% auftreten. NSP Konzentration im Gerstenkorn wird durch den Genotyp, Anbaumilieu und Intensität der Behandlung des Bewuchs beeinflusst. NSP können im Brauprozess eine technologische und ökonomische Probleme verursachen. Im Prozess des Biersiedens kann der Gehalt an NSP jedoch durch Zugabe von hydrolytischen Enzymen reduziert werden. NSP stellt auch eine wertvolle Komponente der Ballaststoffe dar, die hilft Gehalt an LDL Cholesterol und Glucose im Blut, Insulinreaktion nach dem Essen, Körpergewicht, Blutdruck, Risiko von Herzerkrankungen und Darmkrebs zu reduzieren und zugleich mildert Verlauf des Diabetes II. Typs. Als Prebiotikum bildet NSP ein ungeeignetes Milieu für die Wachstum der pathogenen Gattung von Bakterien. Auf Grund der wissenschaftlichen Gutachten hat EU eine Verordnung Nr. 1048/2012 erlassen, mit der die gesundheitsbezogene Angaben über positive Wirkung von beta-Glukane genehmigt.

Klíčová slova: arabinoxylany, beta-glukany, ječmen jarní

Keywords: arabinoxylans, beta-glucans, spring barley

1 ÚVOD

Ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.) je na našem území tradiční zemědělskou plodinou, jež zde byla pěstována již tisíce let před naším letopočtem (Ullrich, 2010). V současnosti je ječmen setý s oběma formami (jarní a ozimou) naší druhou nejpěstovanější obilninou. Historicky byla většina produkce ječmene jarního v České republice využívána ke krmení hospodářských zvířat, v posledních letech však můžeme pozorovat trend kontinuálního snižování spotřeby ječmene pro krmení hospodářských zvířat, což je dáno snižováním stavů hospodářských zvířat (zejména prasat a drůbeže) chovaných v České republice. V roce 2013 převažovala spotřeba ječmene pro potravinářské využití nad množstvím určeným ke zkrmování (Kůst a Potměšilová, 2013). Pro každý způsob využití produkce ječmene je požadováno zrna vyhovující specifickým parametřům. Mezi důležité parametry z tohoto pohledu patří i obsah neškrobových polysacharidů – zejména arabinoxylanů a beta-glukanů. V pivovarském průmyslu představují neškrobové polysacharidy nežádoucí látky (Kosař et al., 2000). Na druhou stranu ječné neškrobové polysacharidy jsou ve

1 INTRODUCTION

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is a traditional agricultural crop that has been grown in the territory of the Czech Republic for millennia (Ullrich, 2010). Today barley in its both forms (spring and winter) is the second most grown cereal in the Czech Republic. Historically most of spring barley production here was used for feeding of livestock, recently there has been a trend to continuous lowering of barley consumption for feeding, which is given by the reduction of livestock (namely pigs and poultry) reared in the Czech Republic. In 2013, barley consumption as food prevailed over the quantity for feed (Kůst and Potměšilová, 2013). For each barley use, grain of suitable specific parameters is required. Non-starch polysaccharides, namely arabinoxylans and beta-glucans, belong to important traits. In the brewing industry, non-starch polysaccharides represent undesirable substances (Kosař et al., 2000). On the other hand, in human diet, barley non-starch polysaccharides are assessed as a valuable component of soluble and non-soluble dietary fiber (Ullrich, 2010).

výživě člověka ceněny jako hodnotná složka rozpustné i nerozpustné vlákniny potravy (Ullrich, 2010).

■ 2 NEŠKROBOVÉ POLYSACHARIDY

Neškrubové polysacharidy (NSP) tvoří základní strukturální komponentu buněčných stěn zrna ječmene. Mezi neškrubové polysacharidy ječmenného zrna patří hemicelulosa (beta-glukany, arabinoxylany, glukomannany), celulóza, lignin a arabinogalaktany (Ullrich, 2010; Jamar et al., 2011). I přesto, že lignin nepatří svou chemickou strukturou mezi polysacharidy, je kvůli jeho úzkému prolnutí s komponenty potravní vlákniny (zejména s celulosou a arabinoxylany) zahrnut do této skupiny (Newman a Newman, 2008). Vlastnosti neškrubových polysacharidů, jejich obsah a poměr je v různých částech zrna odlišný (Ullrich, 2010). Gamlath et al. (2008) prokázal, že komponenty buněčných stěn mají významný vliv na tvrdost zrna a příjem vody zrnem. Obalové vrstvy ječmenného zrna jsou tvořeny zejména celulosou a ligninem. Stěny buněk v endospermu jsou tvořeny ze 75 % beta-glukany, z 20 % arabinoxylany, ze 2 % celulosou a z 2 % glukomannany, stěny buněk v aleuronové vrstvě se pak skládají ze 71 % z arabinoxylanů, z 26 % z beta-glukanů a z 3 % z celulosy a glukomannanů (Jamar et al., 2011). Neškrubové polysacharidy tvoří vlákninu potravy obsaženou v zrně ječmene, tu dělíme na nerozpustnou (celulóza, lignin, arabinoxylany a beta-glukany) a rozpustnou (arabinoxylany, beta-glukany [až polovina u ječmene], glukomannany a arabinogalaktany). Nerozpustná vláknina zvyšuje objem potravy, zkracuje dobu jejího průchodu zažívacím traktem a zlepšuje střevní peristaltiku. Rozpustná vláknina zvyšuje viskozitu obsahu žaludku a střev, zpomaluje promíchávání jejich obsahu, omezuje přístup pankreatických amylas a lipas k substrátům, a tím i absorpci živin střevní stěnou. Rozpustná vláknina je částečně štěpena trávicími enzymy již v horní části zažívacího traktu člověka (a dalších monogastričních savců). Nerozpustná vláknina odolává působení enzymů v tenkém střevě a je spolu s rozpustnou vlákninou více nebo méně metabolizována pouze mikroorganismy tlustého a slepého střeva. Konečnými produkty jsou plyny (oxid uhličitý a vodík, často i methan) a využitelné nižší mastné kyseliny (octová, propionová a máselná) (Velíšek, 2002). Potravní vláknina ve stravě snižuje riziko srdečního onemocnění, hladinu glukosy a cholesterolu v krvi, inzulinovou odezvu, riziko obezity a zmírňuje průběh diabetu II. stupně (Chandalia et al., 2000; Liu et al., 2000; Slavin, 2005; Salas-Salvadó et al., 2006; Djoussé a Gaziano, 2007; Kochar et al., 2007; Marangoni a Poli, 2008; Tovar et al., 2012). Účinek snížení hladiny krevního cholesterolu se vysvětluje sníženou absorpcí cholesterolu z viskóznější stravy, vazbou cholesterolu na vlákninu a jeho zvýšenou exkrecí výkaly. Dochází také k vazbě žlučových kyselin na vlákninu a jejich exkreci. Důsledkem je snížení zásoby žlučových kyselin v játrech a tento deficit je hrazen na účet cholesterolu. Syntézu cholesterolu v játrech navíc inhibují nižší mastné kyseliny vznikající fermentací vlákniny střevní mikroflórou (Velíšek, 2002).

Koncentrace neškrubových polysacharidů v zrně ječmene je ovlivněna zejména genotypem, pěstebními prostředky a intenzitou ošetření porostů (Havlová et al., 2006; Ehrenbergerová et al., 2008; Dickin et al., 2011). Obsah neškrubových polysacharidů je však také ovlivněn přítomností specifických genů ovlivňujících složení škrobu v zrně ječmene – např. u tzv. waxy typů ječmene (gen *wx*), kde je poměr změněn více ve prospěch amylopektinu, popř. obráceně u non-waxy typů ječmene (gen *amo 1*) ve prospěch amylozy (Ehrenbergerová, 2006; Chloupek, 2008). Waxy genotypy obsahují také více cukrů (Newman a Newman, 2008). Relativní množství neškrubových polysacharidů v zrně je také ovlivněno přítomností či absencí pluchy (gen *nud*) (Newman a Newman, 2008; Ullrich, 2010; Balounová et al., 2013), popř. přítomností genu *lys3a*, který je zodpovědný za vysoký podíl lyzinu, způsobuje však také s dalšími geny sraštění a snížení podílu endospermu na hmotnosti zrna, snižuje tedy i obsah neškrubových polysacharidů v něm se vyskytujících (Ullrich, 2010).

Zrno ječmene je již dlouho známo jako základní surovina pro výrobu sladu, využívá se ale také ke krmení hospodářských zvířat a nyní opět prochází renesancí ve využití jako potravina, případně jako surovina pro výrobu funkčních potravin (Baik a Ullrich, 2008; Havrentová a Petuláková, 2011). Limitujícím technologickým parametrem pro tato použití je právě obsah dvou hlavních neškrubových polysacharidů – arabinoxylanů a beta-glukanů.

■ 3 ARABINOXYLANY

Arabinoxylany (starším názvem pentosany) mají hlavní řetězec tvořen (1→4)-β-D-xylopyranosylovými jednotkami, který je substi-

■ 2 NON-STARCH POLYSACCHARIDES

Non-starch polysaccharides (NSPs) form a basic structural component of cell walls of barley grain. Non-starch polysaccharides of barley grain include hemicelluloses (beta-glucans, arabinoxylans, glucomannans), cellulose, lignin, and arabinogalactans (Ullrich, 2010; Jamar et al., 2011). Although lignin by its chemical structure does not belong to polysaccharides, it is due to its close connection with the components of dietary fiber (namely cellulose and arabinoxylans) included in this group (Newman and Newman, 2008). Characters of non-starch polysaccharides, their content and ratio are different in different parts of the grain (Ullrich, 2010). Gamlath et al. (2008) proved that the components of cell walls have a significant effect on the grain hardness and grain water uptake. Covering layers of barley grain are formed namely by cellulose and lignin. Cell walls in the endosperm are formed by beta-glucans (75 %), arabinoxylans (20 %), cellulose (2 %) and glucomannans (2 %), cell walls in the aleuron layer consist of arabinoxylans (71 %), beta-glucans (26 %) and cellulose and glucomannans (3 %) (Jamar et al., 2011). Non-starch polysaccharides form dietary fiber contained in barley grain, fiber is non-soluble (cellulose, lignin, arabinoxylans and beta-glucans), and soluble (arabinoxylans, beta-glucans [as much as half in barley], glucomannans and arabinogalactans). Non-soluble fiber increases food volume, shortens time of its passage through the gastrointestinal tract and improves peristalsis. Soluble fiber increases viscosity of stomach and intestine contents, slows down mixing of their contents, it limits the access of pancreatic amylases and lipases to the substrates and thus also absorption of nutrients through the intestinal wall. Soluble fiber is partially digested by digestive enzymes already in the upper part of the alimentary tract of man (and other monogastric mammals). Non-soluble fiber resists the enzymes in the small intestine and together with soluble fiber; it is to a greater or lesser degree metabolized only by the microorganisms of the colon and cecum. The final products are gases (carbon dioxide and hydrogen, and often also methane) and usable lower fatty acids (acetic, propionic and butyric) (Velíšek, 2002). Dietary fiber in human nutrition reduces the risk of coronary diseases, glucose and cholesterol levels in blood, insulin response, risk of obesity and they alleviate the course of type II diabetes (Chandalia et al., 2000; Liu et al., 2000; Slavin, 2005; Salas-Salvadó et al., 2006; Djoussé a Gaziano, 2007; Kochar et al., 2007; Marangoni a Poli, 2008; Tovar et al., 2012). The effect on the reduction of blood cholesterol is explained by a lowered absorption of cholesterol from a more viscous meal, by binding of cholesterol to fiber and its increased excretion by feces. In addition, bile acids bind to fiber, their following excretion results in lowering the bile acid stock in the livers; this deficit is balanced on the account of cholesterol. Furthermore, cholesterol synthesis in the livers is inhibited by lower fatty acids produced by fiber fermentation by intestinal microflora (Velíšek, 2002).

Concentration of non-starch polysaccharides in the barley grain is affected namely by a genotype, growing environment and intensity of stand treatment (Havlová et al., 2006; Ehrenbergerová et al., 2008; Dickin et al., 2011). In addition, content of non-starch polysaccharides is also affected by the presence of specific genes influencing starch composition in the barley grain – e.g. in so-called barley waxy types (gene *wx*), where the ratio is changed in favor of amylopectin, or on the contrary in non-waxy barley types (gene *amo 1*) in favor of amylose (Ehrenbergerová, 2006; Chloupek, 2008). Waxy genotypes also contain more polysaccharides (Newman and Newman, 2008). Relative amount of non-starch polysaccharides in the grain is also affected by the presence or absence of the hull (gene *nud*) (Newman and Newman, 2008; Ullrich, 2010; Balounová et al., 2013), or the presence of the gene *lys3a*, which accounts for a high ratio of lysine, it also causes with other genes wrinkling and lowering of the endosperm portion in the grain weight, reducing thus content of non-starch polysaccharides occurring in it (Ullrich, 2010).

Barley grain has been known for a long time as a basic raw material for production of malt but it is also used as feed for livestock and currently it has been experiencing the renaissance in the use as foodstuff or a raw material for production of functional food (Baik and Ullrich, 2008; Havrentová a Petuláková, 2011). The limiting technological parameter for these uses is content of two principal non-starch polysaccharides – arabinoxylans and beta-glucans.

■ 3 ARABINOXYLANS

Arabinoxylans (previously pentosans) have the main chain formed by (1 → 4)-β-D-xylopyranosyl units substituted by α-L-arabinofura-

tuován a-L-arabinofuranosou (Niño-Medina et al., 2009). V řetězci arabinoxylanů se vyskytují také jednotky D-glukosy a další minoritní stavební jednotky (D-galaktosa, D-glukuronová kyselina, a některé další cukry) (Velíšek, 2002). V zrna ječmene je přibližně 4–7 % arabinoxylanů (Newman a Newman, 2008).

Specifickou vlastností arabinoxylanů ječmene je jejich esterifikace ferulovou kyselinou (přibližně od 0,07 % do 0,15 % celkové hmotnosti), díky níž disponují antioxidačními vlastnostmi. Obsah ferulové kyseliny je významně závislý na odrůdě, ročníku a lokalitě (Běláková et al., 2010; Ehrenbergerová et al., 2012). Ferulová kyselina je potenciální prekurzor 4-vinyl guajakolu, tedy fenolové cizí vůně a chutě piva. Vyšší stupeň domočení, vyšší teplota a delší doba sladování vedou k vyššímu obsahu volné ferulové kyseliny ve sladidě (Mikyška et al., 2010). Ferulované arabinoxylany mají schopnost v prostředí volných radikálů tvořit kovalentní gely. Tyto gely mají zajímavé charakteristiky jako je neutrální vůně a chuť, makroporózní struktura a stabilita ke změnám pH i koncentraci elektrolytů (Niño-Medina et al., 2009). Na arabinoxylany ječmene jsou vázány také další polyfenolické látky: *p*-kumarová kyselina a dehydrodimer ferulové kyseliny, vyskytují se v množství do 0,03 % hmotnosti zrna (Ullrich, 2010).

Arabinoxylany jsou složkou jak nerozpustné, tak rozpustné vlákniny potravy. Rozpustnost arabinoxylanů je podmíněna jejich molekulovou hmotností, stupněm větvení, poměrem arabinosy ku xylose (ara:xyl – rozpustné arabinoxylany nejméně 1:1,67) a množstvím ferulové kyseliny (Velíšek, 2002; Li et al., 2005; Izydorczyk a Dexter, 2008; Ullrich, 2010). Andersson et al. (2008) zkoumal obsah arabinoxylanů a vodou rozpustných arabinoxylanů ve vzorcích z deseti genotypů a zjistil, že arabinoxylany se v otrubách vyskytují v rozmezí 5,81 až 9,03 % (z toho ve vodě rozpustné arabinoxylany 0,15 až 0,35 %) a v mouce v rozpětí od 1,40 do 2,24 % (vodou rozpustné arabinoxylany od 0,15 do 0,38 %). Holtekløen et al. (2006) zjistili negativní vztah mezi obsahem arabinoxylanů a jejich stupněm větvení. Arabinoxylany jsou schopny vázat vodu (15 až 100 g vody na 1 g sušiny) (Velíšek, 2002).

Izydorzcyk a Dexter (2008) uvádějí, že obsah arabinoxylanů v zrna ječmene závisí na genotypu, prostředí, ale jejich obsah se jeví méně variabilní, než obsah beta-glukanů. V porovnání s ostatními obilovinami je množství arabinoxylanů v zrna ječmene podobné jako u pšenice, nižší než u žita, ale vyšší než u ovsa (tab. 1). Bezpluché genotypy obsahují zpravidla méně arabinoxylanů než pluchaté. To je dáno distribucí arabinoxylanů zejména v obalových vrstvách zrna. Po odstranění pluchy obsahují pluchaté genotypy obdobná množství arabinoxylanů (%) jako genotypy bezpluché (Izydorzcyk a Dexter, 2008). Balounová et al. (2013) pak v zrna ječmene našla významný negativní vztah mezi obsahem arabinoxylanů a obsahem škrobu.

Struktura buněčných stěn ječmene omezuje při rmutování vyplavování škrobu a bílkovin do roztoku. Proto je potřeba buněčné stěny rozložit, aby mohly být bílkoviny i škrob mobilizovány (Kosař et al., 2000).

V procesu vaření piva mohou právě arabinoxylany způsobovat technologické problémy spojené s nižší extraktivností, vyšší viskozitou rmutu, sladinou i piva. Mohou tak přímo ovlivnit ekonomiku provozu (Han, 2000; Li et al., 2005; Gupta et al., 2010). Problémy s vyšší viskozitou zapříčiněnou arabinoxylany jsou ještě významnější, pokud při vaření piva je použito surogátu pšeničným zrnem nebo je použito pšeničného sladu (Lu a Li, 2006). Gamalath et al. (2008) uvádí, že ve dvou letech trvání pokusu našel silný pozitivní vztah mezi obsahem arabinoxylanů a tvrdostí zrna, v jednom roce pokusu se potvrdil také silný negativní vztah mezi obsahem arabinoxylanů a příjmem vody zrnem. Obsah arabinoxylanů tak může ovlivnit dobu máčení zrna ječmene při sladování i jeho mlynářské a pekařské vlastnosti (Gamalath et al., 2008; Izydorczyk a Dexter, 2008).

Arabinoxylany jsou v průběhu sladování štěpeny xylanázami (EC 3.2.1.8), arabinofuranosidázami (EC 3.2.1.55), xyloacetylsterázami (EC 3.1.1.72), a feruloyl esterázami (EC 3.1.1.73) (Havlová, 1999; Bamforth a Kanauchi, 2001). Aktivita xylanáz dosahuje svého maxima přibližně 72 hodin od začátku klíčení. V průběhu sladování částečně klesá obsah arabinoxylanů, zároveň však stoupá obsah vodou rozpustné frakce arabinoxylanů (Li et al., 2005). Li et al. (2005) rovněž uvádí, že při obsahu všech arabinoxylanů 3,84 až 5,40 % (poměr ara:xyl 0,49 – 0,57) ve sladu byl obsah vodou rozpustných arabinoxylanů od 0,42 do 0,98 % (poměr ara:xyl 0,72 – 0,85). Vyšší teplota rmutování a vyšší stupeň rozemletí sladu zvyšuje množství arabinoxylanů uvolněných do sladin (Lu a Li, 2006).

Vodou rozpustné arabinoxylany vykazaly dle Li et al. (2005) významný pozitivní vztah s viskozitou sladinou i piva.

Viřtor et al. (1993) uvádí, že se po přidavku hydrolytického enzymu endoxylanasy (EC 3.2.1.8) (produkt *Aspergillus awamori*) snížila viskozita sladin. Což dle autora potvrzuje fakt, že arabinoxylany

nose (Niño-Medina et al., 2009). The arabinoxylan chain also contains D-glucose units and other minority structural units (D-galactose, D-glucuronic acid and some other sugars) (Velíšek, 2002). The barley grain contains approximately 4–7 % of arabinoxylans (Newman and Newman, 2008).

Specific character of barley arabinoxylans is their esterification by ferulic acid (approximately from 0.07 % to 0.15 % of total weight), due to it they have antioxidative properties. Ferulic acid content significantly depends on the variety, year and locality (Běláková et al., 2010; Ehrenbergerová et al., 2012). Ferulic acid is a potential precursor of 4-vinyl guaiacol, i.e. phenolic off-flavors and taste of beer. Higher final steeping, higher temperature and longer time of malting lead to a higher content of free ferulic acid in sweet wort (Mikyška et al., 2010). Ferulated arabinoxylans in the presence of free radicals are able to form covalent gels. These gels possess interesting characteristics, such as neutral smell and taste, macroporous structure and stability to pH and changes of electrolyte concentrations (Niño-Medina et al., 2009). Barley arabinoxylans also bind other polyphenolic substances: *p*-coumaric acid and ferulic acid dehydrodimer occurring up the amount of 0.03 % of grain weight (Ullrich, 2010).

Arabinoxylans are a component of both soluble and non-soluble dietary fiber. Arabinoxylan solubility is given by their molecular weight, degree of branching, arabinose – xylose rate (ara:xyl – soluble arabinoxylans min. 1:1,67) and amount of ferulic acid (Velíšek, 2002; Li et al., 2005; Izydorczyk and Dexter, 2008; Ullrich, 2010). Andersson et al. (2008) studied content of arabinoxylans and water-soluble arabinoxylans in samples of ten genotypes and found that in brans arabinoxylans occurred in the range from 5.81 to 9.03 % (of which water-soluble arabinoxylans formed 0.15 to 0.35 %) and in flour from 1.40 to 2.24 % (water-soluble arabinoxylans from 0.15 to 0.38 %). Holtekløen et al. (2006) found a negative relationship between the arabinoxylan content and degree of their branching. Arabinoxylans are able to bind water (15 to 100 g of water per 1 g of dry matter) (Velíšek, 2002).

Izydorzcyk, Dexter (2008) claimed that arabinoxylan content in barley grain depends on the genotype, environment, but their content appears less variable than that of beta-glucans. Compared to the other cereals, the amount of arabinoxylans in barley grain is similar as in wheat, lower than in rye but higher than in oats (Table 1). The hullless genotypes generally contain less arabinoxylans compared to the hulled ones. This is given by the arabinoxylan distribution mainly in the coverage layers of the grain. When the hull is removed, the hulled genotypes contain similar amounts of arabinoxylans (%) as the hullless ones (Izydorzcyk and Dexter, 2008). Balounová et al. (2013) found a significant negative relationship between arabinoxylan and starch contents in a barley grain.

The structure of the cell walls in barley restricts starch and protein washing out into solution during mashing. For this reason, cell walls must be degraded to allow for the mobilization of protein and starch (Kosař et al., 2000).

In the brewing process, arabinoxylans can be a cause of technological problems related to lower extract content, higher viscosity of mash, sweet wort and beer, directly thus influencing production economy (Han, 2000; Li et al., 2005; Gupta et al., 2010). Problems with higher viscosity due to arabinoxylans are even higher if wheat surrogates or wheat malt are used in brewing (Lu and Li, 2006). Gamalath et al. (2008) reported a strong positive relationship between arabinoxylans and grain hardness in two years of the trial, a strong negative relationship between arabinoxylan content and grain water uptake was also confirmed in one year of the trial. The arabinoxylan content can thus affect the length of barley grain steeping, its milling and bakery characters (Gamalath et al., 2008; Izydorczyk and Dexter, 2008).

During malting, arabinoxylans are degraded by xylanases (EC 3.2.1.8), arabinofuranosidases (EC 3.2.1.55), xyloacetylsterases (EC 3.1.1.72), and feruloyl esterases (EC 3.1.1.73) (Havlová, 1999; Bamforth and Kanauchi, 2001). Xylanase activity achieves its maximum approximately 72 hours after the beginning of germination. Arabinoxylan content partly decreases during malting, at the same time content of water soluble arabinoxylan fraction increases (Li et al., 2005). Li et al. (2005) also reported that with the content of all arabinoxylans 3.84 to 5.40 % (ara:xyl rate: 0.49–0.57) in malt, the content of water soluble arabinoxylans moved from 0.42 to 0.98 % (ara:xyl rate: 0.72–0.85). Higher mashing temperature and higher milling degree of malt increase the amount of arabinoxylans released to wort (Lu and Li, 2006).

According to Li et al. (2005), water soluble arabinoxylans exhibited a significant positive relationship with viscosity of wort and beer.

Viřtor et al. (1993) reported reduction in wort viscosity after the addition of hydrolytic enzyme endoxylanase (EC 3.2.1.8) (product of

pravděpodobně vazbami s beta-glukany hrají roli v určení viskozity sladin. Viêt et al. (1993) rovněž uvádí, že poměr arabinosy a xylosy arabinoxylanů se v zrna nesladovnického ječmene pohybuje od 0,60 do 0,62 (ara:xy), u sladovnických odrůd od 0,70 do 0,71.

Arabinoxylany také nabízejí nutriční benefity rozpustné a nerozpustné vlákniny a díky fenolickým látkám v jejich molekulární struktuře také antioxidační vlastnosti (Izydorczyk a Dexter, 2008). Hydrolyzou arabinoxylanů endoxylanasami vznikají arabinoxylanové oligosacharidy. Jak arabinoxylany, tak arabinoxylanové oligosacharidy jsou považovány za složky vlákniny potravy, které poskytují také další benefity imunomodulační aktivity, snižování hladiny cholesterolu v krvi, zmírňují průběh diabetu II. typu, zvyšují absorpci určitých minerálů, a mají prebiotický efekt (Sanchez et al., 2009; Babio et al., 2010; Mendis a Simsek, 2013). Lu et al. (2004) uvádí, že denní dieta obsahující 15 g vlákniny bohaté na arabinoxylany významně zlepšila glykemickou kontrolu u lidí s diabetem II. typu.

Arabinoxylany jako součást rozpustné vlákniny mohou v krmivu hospodářských zvířat (monogastrů) tvořit gely, zvyšovat tak hustotu tráveniny, která pak může rychleji procházet trávicí soustavou, snižovat dostupnost živin krmné dávky i efektivitu její konverze (Iji, 1999; Mrkvicová, 2006; Newman a Newman, 2008; Ullrich, 2010). Neškrobové polysacharidy v trávenině mohou také zhoršit přístup emulgujícím žlučovým kyselinám, dostupnost živin trávicím enzymům, se kterými mohou také tvořit komplexy a tím snížit jejich aktivitu. Mohou také při kontaktu se střevní mukosou zalepit střevní klky (Mrkvicová, 2006).

■ 4 BETA-GLUKANY

Ječné beta-glukany jsou polysacharidy, které jsou tvořeny β -(1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)-D-glukany. Beta-glukany jsou typické dvěma nebo více sousedícími (1 \rightarrow 4) vazbami (Velíšek, 2002). Glukosidická β -(1 \rightarrow 4) vazba je v beta-glukanech ječmene zastoupena přibližně ze 70 %, vazba β -(1 \rightarrow 3) pak ze zbývajících 30 % (Kosař et al., 2000). Rozpustnost beta-glukanů klesá s jejich zvyšující se molekulovou hmotností (Cyran et al., 2002) a roste s vyšším stupněm narušením pravidelné β -(1 \rightarrow 4) struktury β -(1 \rightarrow 3) vazbami (Lazaridou a Biliaderis, 2007). Rozpustnost beta-glukanů také ovlivňuje jejich enzymatický rozklad při sladování a rmutování (Bhatty, 1996). Koncentrace beta-glukanů v ječném zrna se pohybuje od 2–8 % (Kosař et al., 2000), existují však také genotypy s výrazně vyšším obsahem – 14 až 16 % (Velíšek, 2002). V porovnání s ostatními obilovinami je množství beta-glukanů podobné jako u ovsa, vyšší však než u pšenice a žita (tab. 1).

Je známo, že genotypy ječmene s waxy typem škrobu (tab. 2) obsahují významně více beta-glukanů, než ječmeny se standardním složením škrobu (Oscarsson et al., 1996; Newman a Newman, 2008; Ullrich, 2010; Balounová et al., 2013). Obsah beta-glukanů ovlivňuje genotyp ječmene, pěstební prostředí i jejich vzájemné interakce (Holtekljøl et al., 2008; Křižanová a Žofajová, 2010).

Byl nalezen silný negativní vztah mezi obsahem beta-glukanů a arabinoxylanů (Holtekljøl et al., 2006; Březinová Belcredi et al., 2009) i obsahem škrobu (Havrlentová et al., 2010; Křižanová a Žofajová, 2010). Můžeme tedy říci, že genotypy ječmene s vyšším obsahem beta-glukanů obsahují zároveň méně arabinoxylanů. Byl nalezen také silný pozitivní vztah (Güler, 2003; Holtekljøl et al., 2006; Křižanová a Žofajová, 2010) mezi obsahy beta-glukanů a bílkovin. Balounová et al. (2013) zjistila mezi obsahy beta-glukanů a bílkovin u waxy genotypů velmi vysoce silný pozitivní vztah, u genotypů se standardním složením škrobu pak nalezla vztah vysoce silně negativní.

Vyšší obsah beta-glukanů v pivovarských surovinách způsobuje zvýšení viskozity sladin a piva, snížení varního vytěžku, prodlouženou dobu scezování a špatnou filtrovatelnost piva (Kosař et al., 2000). Beta-glukany se při nižší koloidní stabilitě piva mohou podílet na tvorbě zákalů (Leiper a Miedl, 2008). Wang et al. (2004) nalezl statisticky významný vztah mezi obsahem beta-glukanů v zrna a obsahem beta-glukanů ve sladu i viskozitou sladin, je tedy důležité sledovat obsah beta-glukanů ve sladovnické surovině, tedy v zrna ječmene. Beta-glukany jsou v průběhu sladování štěpeny beta-glukanasami (Kosař et al., 2000; Newman a Newman, 2008). Aktivita beta-glukanasy v zrna je zpočátku velmi nízká (od 38,7 do 58 U.kg⁻¹), prudce však v průběhu sladování roste (od 330 do 418 U.kg⁻¹) (Wang et al., 2004). Aktivita beta-glukanasy závisí na genotypu ječmene, pěstebním prostředí, podmínkách během sladování (především na teplotě klíčení, délce klíčení a stupni domočení). Optimální působení enzymu se pohybuje v rozmezí pH 4,5 až 5,8, optimální teplota se udává v rozmezí 40 až 45 °C. Inaktivační teplota enzymu je 55 °C. Jeho aktivita se zvyšuje působením giberelové kyseliny (Kosař et al., 2000).

Aspergillus awamori), according to these authors this confirms the fact, that arabinoxylans may play a role in wort viscosity probably due to bonds with beta-glucans. Viêt et al. (1993) also reported that arabinose-to-xylose ratio of arabinoxylans in barley grain of low malting quality moved from 0.60 to 0.62 (ara:xy), in the varieties with good malting quality from 0.70 to 0.71.

Arabinoxylans also offer nutritious benefits of soluble and non-soluble fiber and thanks to phenolic substances in their molecular structure also antioxidation properties (Izydorczyk and Dexter, 2008). Arabinoxylan hydrolysis by endoxylanase produces arabinoxylan oligosaccharides. Both arabinoxylans and arabinoxylan oligosaccharides are considered as components of dietary fiber that provide, inter alia, also other benefits including immunomodulation activity, lowering blood cholesterol, they alleviate type 2 diabetes, increase absorption of certain minerals, and have the prebiotic effect (Sanchez et al., 2009; Babio et al., 2010; Mendis and Simsek, 2013). Lu et al. (2004) reported that the diet containing 15 g of fiber rich of arabinoxylans per day significantly improved glycemic control in people with type 2 diabetes.

Arabinoxylans, as a part of soluble fiber in feed of livestock (monogasters) can form gels, increasing thus the density of digesta which then can more easily pass through the alimentary tract, and reduce the accessibility of nutrient of feed dosage and efficiency of its conversion (Iji, 1999; Mrkvicová, 2006; Newman and Newman, 2008; Ullrich, 2010). Non-starch polysaccharides in digesta can also worsen the access of emulgating bile acids, nutrient availability to digestion enzymes with which they can also create complexes, reducing thus their activity. Upon the contact with intestinal mucosa, they can also clog the intestinal villi (Mrkvicová, 2006).

■ 4 BETA-GLUCANS

Barley beta-glucans are polysaccharides formed by β -(1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)-D-glucans. Beta-glucans are characterized by two or more adjacent (1 \rightarrow 4) bonds (Velíšek, 2002). Glucosidic β -(1 \rightarrow 4) bond is represented in beta-glucans of barley ca by 70 %, β -(1 \rightarrow 3) represents remaining 30 % (Kosař et al., 2000). Beta-glucan solubility declines with their increasing molecular weight (Cyran et al., 2002) and grows with a higher degree of disruption of the regular β -(1 \rightarrow 4) structure by β -(1 \rightarrow 3) bonds (Lazaridou and Biliaderis, 2007). Solubility of beta-glucans also affects their enzymatic degradation during malting and mashing (Bhatty, 1996). Beta-glucan concentration in barley grain moves from 2–8 % (Kosař et al., 2000) but genotypes with significantly higher contents (14 to 16 %) also exist (Velíšek, 2002). Compared to other cereals, the amount of beta-glucans is similar as in oats, but higher than in wheat and rye (Table 1).

Barley genotypes with a waxy type of starch (Table 2) contain significantly more beta-glucans than barley with the standard starch composition (Oscarsson et al., 1996; Newman and Newman, 2008; Ullrich, 2010; Balounová et al., 2013). Beta-glucan content is affected by barley genotype, growing environment and their interactions (Holtekljøl et al., 2008; Křižanová and Žofajová, 2010).

A strong negative relationship between contents of beta-glucans and arabinoxylans (Holtekljøl et al., 2006; Březinová Belcredi et al., 2009) and starch content (Havrlentová et al., 2010; Křižanová and Žofajová, 2010) was found. Therefore, we can state that barley genotypes with higher beta-glucan content contain at the same time less arabinoxylans. Positive relationship was also found (Güler, 2003; Holtekljøl et al., 2006; Křižanová and Žofajová, 2010) between beta-glucan and protein contents. Balounová et al. (2013) found a very strong positive relationship between beta-glucan and protein contents in the waxy genotype, on the contrary, in the genotypes with the standard starch composition strongly negative relationship was detected.

Higher beta-glucan content in brewing materials leads to increased viscosity of wort and beer, reduced brewing yield, prolonged lautering time and bad beer filterability (Kosař et al., 2000). Beta-glucans, at lower beer colloid stability, can be engaged in haze formation (Leiper and Miedl, 2008). Wang et al. (2004) found statistically significant relationship between beta-glucan content in grain and beta glucan content in malt and wort viscosity, this suggests that monitoring of beta-glucan content in the malting raw material – barley grain is very important. During malting, beta-glucans are degraded by beta-glucanases (Kosař et al., 2000; Newman and Newman, 2008). Initially, beta-glucanase activity in grain is very low (from 38.7 to 58 U.kg⁻¹), however, during malting it increases rapidly (from 330 to 418 U.kg⁻¹) (Wang et al., 2004). Beta-glucanase activity depends on a barley genotype, growing environment, conditions during malting (namely on the germination temperature, length of steeping and degree of steeping). Optimal

Přibližně 80 % beta-glukanů je v průběhu sladování rozloženo (Wang et al., 2004; Bhatti, 1996). Wang et al. (2004) dále nalezl významný pozitivní vztah obsahu beta-glukanů ve sladu s viskozitou sladu a významný negativní vztah obsahu beta-glukanů ve sladu a Kolbachovým číslem (stupeň rozluštění bílkovin).

Během sladování a mletí ječmene jsou beta-glukany štěpeny působením enzymů náležících do skupiny hemiceluláz. Výsledek působení celého komplexu těchto enzymů se nazývá cytolytické rozluštění sladu. Při sladování jde o dva základní postupy při cytolyze zrna ječmene:

1. uvolnění vysokomolekulárních beta-glukanů z komplexu s bílkoviny a jinými sloučeninami,

2. štěpení beta-glukanů s vysokou molekulovou hmotností na beta-glukany nízkomolekulární, případně až na glukosu.

Na katabolismu beta-glukanů se podílí celý komplex enzymů. Uvolnění vysokomolekulárních beta-glukanů je katalyzováno beta-glukan-solubilázou. Proces pokračuje působením endo-beta-glukanas: endo-1,3- β -D-glukanasa (EC.3.2.1.39), endo-1,4- β -D-glukanasa (EC.3.2.1.4) a endo-1,3,1,4- β -D-glukanasa (EC 3.2.1.73) (Havlová, 1999).

Nežádoucí vyšší obsah beta-glukanů i arabinoxylanů v pivovarských surovinách lze snížit komerčními enzymatickými preparáty. Ty se liší nejen v obsahu beta-glukanas a xylanas, ale i v jejich schopnostech redukovat viskozitu mletí a zvyšovat extrakt. Pokud se do mletí přidají v nižších koncentracích xylanasy, zvýší se viskozita sladiny. To se pravděpodobně děje díky uvolnění beta-glukanů, které byly arabinoxylany vázány v buněčných stěnách. Glukanasy mají větší dopad na viskozitu, než xylanasy. Kombinace xylanas a glukanas mají však ještě větší vliv na viskozitu a celkový extrakt, než samotné glukanasy či xylanasy.

Při výrobě piva se někdy využívá sladových škrobnatých náhražek – surogátů nesladovaného zrna ječmene. Výhodou surogace ječmenem je kromě ceny i podobné chemické složení jako u sladu. Využívá se pro zlepšení chuti a pěnivosti. V zrna ječmene nejsou ještě beta-glukany štěpeny příslušnými enzymy. Aby se neovlivnila ekonomika výroby, je potřeba pečlivě vybírat odrůdy, které mají v zrna právě co nejnižší obsah beta-glukanů. Vzhledem k průběhu scezování a filtrovatelnosti je vhodné, aby podíl surogátu nepřekročil 10 procent (Kosař, 2000).

Gamlath et al. (2008) nalezl významný pozitivní vztah i mezi obsahem beta-glukanů a tvrdostí zrna, ale i významný negativní vztah mezi obsahem beta-glukanů a příjmem vody zrnem. Beta-glukany tak významně ovlivňují mlynářské vlastnosti zrna, ale i dobu mletí při sladování.

Beta-glukany ječmene jsou rovněž žádoucí složkou vlákniny potravy (Brennan a Cleary, 2005). Mnohé studie prokazují (Keogh et al., 2003; Chen a Raymond, 2008; Shimizu et al., 2008; Smith et al., 2008; Babio et al., 2010; Mitsou et al., 2010; Samuelsen et al., 2011; El Khoury et al., 2012; Tovar et al., 2012), že beta-glukany (podobně jako arabinoxylany) v lidské stravě pomáhají snižovat hladinu LDL cholesterolu a hladinu glukosy v krvi, inzulínovou odezvu po jídle, tělesnou hmotnost, krevní tlak, riziko srdeční choroby i rakoviny tlustého střeva a zároveň zmírňují průběh diabetu II. typu. Jako prebiotikum stimuluje v tlustém střevě růst bakterií tvořících těkavé mastné kyseliny, které tvoří nevhodné prostředí pro růst patogenních rodů bakterií a zároveň slouží jako nutrienty pro střevní enterocyty. Ve studii AbuMweis et al. (2010) autoři uvádí, že v souhrnu studií od roku 1989 do 2008 beta-glukany obsažené ve stravě vedly k průkaznému snížení hladiny celkového krevního cholesterolu o 0,30 mmol.l⁻¹ a LDL cholesterolu o 0,27 mmol.l⁻¹. Behall et al. (2004) zkoumal vliv konzumace dvou množství (3 a 6 g) ječných beta-glukanů denně. Autoři zjistili, že beta-glukany ve stravě významně snížily obsah velkých LDL, malých VLDL a středních LDL frakcí krevního cholesterolu, přičemž obsah HDL cholesterolu a triacylglycerolů v krvi zůstal v průběhu pokusu nezměněn. Práce dalších autorů potvrzují (Keenan et al., 2007; Wolever et al., 2011), že beta-glukany o vysoké molekulové hmotnosti ve stravě mají na snížení hladiny LDL cholesterolu v krvi vyšší vliv, než beta-glukany o nízké molekulové hmotnosti. Potravinu obsahující ječné beta-glukany v porovnání s potravinami běžnými také navozují vyšší pocit sytosti (Schroeder et al., 2009; Vitaglione et al., 2009; Patel a Goyal, 2012).

Byla vyvinuta řada metod extrakce (Lazaridou et al., 2008; Škrbić et al., 2009; Benito-Román et al., 2011; Mikkelsen et al., 2013) beta-glukanů z ječného zrna pro použití do potravinářských výrobků. Fyziologický efekt takto extrahovaných beta-glukanů na lidské zdraví není jednoznačný (Brennan a Cleary, 2005; Ibrügger et al., 2013).

Na základě vědeckých posudků (EFSA, NDA 2009; 2011) vydala Evropská Komise nařízení č. 1048/2012 ze dne 8. listopadu 2012, ve kterém schvaluje zdravotní tvrzení o pozitivním účinku beta-glukanů

enzymatic activity moves from pH 4.5 to 5.8, optimal temperature is 40 to 45 °C. Inactivating temperature of the enzyme is 55 °C. Its activity is increased by gibberellic acid (Kosař et al., 2000).

Approximately 80 % of beta-glucans are degraded during malting (Wang et al., 2004; Bhatti, 1996). Wang et al. (2004) found a significant positive relationship between beta-glucans and malt viscosity and a significant negative relationship between beta-glucan content in malt and Kolbach index (degree of protein modification).

During malting and mashing of barley, beta-glucans are degraded by the activity of enzymes belonging to the group of hemicellulases. The result of activity of the whole complex of these enzymes is called cytolytic modification of malt. The malting process includes two basic procedures at barley grain cytolysis:

1. The release of high-molecular beta-glucans from the complex with proteins and other compounds,

2. The degradation of beta-glucans with high-molecular weight to low-molecular beta-glucans or even to glucose.

The whole complex of enzymes participates in beta-glucan catabolism. The release of high-molecular beta-glucans is catalyzed by beta-glucan-solubilase. The process continues by the activity of endo-beta-glucanases: endo-1,3- β -D-glucanase (EC.3.2.1.39), endo-1,4- β -D-glucanase (EC.3.2.1.4) and endo-1,3,1,4- β -D-glucanase (EC 3.2.1.73) (Havlová, 1999).

Undesirable contents of beta-glucans and arabinoxylans in the brewing materials can be reduced by commercial enzymatic preparations. They differ not only in beta-glucanase and xylanase contents but also in their capacity to reduce mash viscosity and increase extract. The addition of xylanases to the mash at lower concentrations increases wort viscosity probably due to the release of beta-glucans that were bound by arabinoxylans in the cell walls. Glucanases have a higher impact on viscosity than xylanases. However, the combination of xylanases and glucanases has even a higher impact on viscosity and total extract than glucanases and xylanases alone.

Malt starch adjuncts – surrogates of non-malted barley grain are sometimes used at brewing. The advantage of the use of barley surrogates is price and similar chemical composition as in malt. They are used for the improvement of flavor and foaming power. In barley grain, beta-glucans are not degraded by the relevant enzymes. Varieties with the lowest possible beta-glucan content must be selected carefully so that the economy of production was not affected. Considering the lauter process and filterability, it is recommended that the ratio of surrogates should not exceed 10% (Kosař, 2000).

Gamlath et al. (2008) also found a significant positive relationship between beta-glucan content and grain hardness and a significant negative relationship between beta-glucan content and water uptake by a grain. Beta-glucans thus significantly affect milling properties of grain and steeping time during malting.

Barley beta-glucans are also a desirable component of dietary fiber (Brennan and Cleary, 2005). There are many studies (Keogh et al., 2003; Chen and Raymond, 2008; Shimizu et al., 2008; Smith et al., 2008; Babio et al., 2010; Mitsou et al., 2010; Samuelsen et al., 2011; El Khoury et al., 2012; Tovar et al., 2012) proving that beta-glucans (similarly as arabinoxylans) in human diet help lower LDL cholesterol and glucose level in blood, insulin response to meal, body weight, blood pressure, risk of heart diseases and colon cancer and simultaneously they alleviate the course of type II diabetes. As a prebioticum, they stimulate in the colon the growth of bacteria producing volatile fatty acids, which create an unsuitable environment for the growth of pathogenic bacterial species, at the same time they act as nutrients for intestinal enterocytes. AbuMweis et al. (2010) in their study claimed that in the sum of studies from 1989 to 2008 beta-glucans contained in meal led to significant lowering of total blood cholesterol by 0.30 mmol.l⁻¹ and LDL cholesterol by 0.27 mmol.l⁻¹. Behall et al. (2004) investigated the effect of daily consumption of two amounts (3 and 6 g) of barley beta-glucans. The authors found out that beta-glucans in meal significantly decreased content of big LDL, small VLDL and medium LDL fractions of blood cholesterol while content of HDL cholesterol and triacylglycerol in blood remained unchanged during the trial. Studies of other authors (Keenan et al., 2007; Wolever et al., 2011) confirm that beta-glucans with high-molecular weight in meal have a higher effect on the reduction of LDL cholesterol level in blood than beta-glucans with low-molecular weight. Compared to common foods, foods containing barley beta-glucans also evoke a higher feeling of fullness (Schroeder et al., 2009; Vitaglione et al., 2009; Patel a Goyal, 2012).

A number of methods for the extraction of beta-glucans from barley grain for the use of beta-glucans in the food products have been developed (Lazaridou et al., 2008; Škrbić et al., 2009; Benito-Román et al., 2011; Mikkelsen et al., 2013) The physiological effect of these

Tab. 1 Obsah arabinoxylanů a beta-glukanů v zrně vybraných obilnin (Izydorczyk a Dexter, 2008) / *Table 1 Arabinoxylan and beta-glucan contents in grain of the selected cereals (Izydorczyk and Dexter, 2008)*

	Arabinoxylany / Arabinoxylans (%)	Beta-glukany / Beta-glucans (%)
Ječmen / <i>Barley</i>	3.4–6.4	2.5–11.3
Oves / <i>Oats</i>	2.7–3.5	2.2–7.8
Žito / <i>Rye</i>	7.6–12	1.2–2.0
Pšenice / <i>Wheat*</i>	2.4–10.8	0.2–1.8

Pozn.: * Upraveno dle Pritchard et al. (2011).

Note: * Adapted after Pritchard et al. (2011).

Tab. 2 Složení pluchatého a bezpluchého zrna waxy a nonwaxy genotypů ječmene (Newman a Newman, 2005) / *Table 2 Composition of hulled and hulless grain of waxy and non-waxy barley genotypes (Newman and Newman, 2005)*

Látka / <i>Substance</i> Vlastnost / <i>Trait</i>	Non-waxy		Waxy	
	Pluchatý / <i>Hulled</i>	Bezpluchý / <i>Hulless</i>	Pluchatý / <i>Hulled</i>	Bezpluchý / <i>Hulless</i>
Protein (%)	15.6	16.3	16.1	16.9
Ostatní extract / <i>Other extract (%)</i>	2	2.1	2.3	2.6
Minerální látky / <i>Mineral substances (%)</i>	2.7	2.1	2.8	2.1
Škrob / <i>Starch (%)</i>	55.9	61.3	51.5	58.5
Nízkomolekulární sacharidy / <i>Low-molecular saccharides (%)</i>	2.3	2.9	5	5.5
Vláknina / <i>Fiber (%)</i>				
Celková potravní vláknina / <i>Total dietary fiber</i>	17	13.2	19.6	13.8
Rozpustná potravní vláknina / <i>Soluble dietary fiber</i>	4.4	4.9	5.9	6.3
Arabinoxylany / <i>Arabinoxylans</i>	6.2	4.4	6.7	4.6
Celulosa / <i>Cellulose</i>	3.8	2.1	4.4	1.9
Lignin	2	0.9	1.8	0.9
Beta-glukany celkem / <i>Total beta-glucans</i>	4.4	4.7	5.3	6.3
Rozpustné beta-glukany / <i>Soluble beta-glucans</i>	2.6	2.6	3.2	3.4
Viskozita / <i>Viscosity (mPa.s)</i>	2.8	3.1	3.3	4.9
Objemová hmotnost / <i>Volume weight (kg.hl⁻¹)</i>	67.8	74.5	66.4	73
HTS / <i>TGW (g)</i>	43.3	38.4	43.1	38.2

Pozn.: Nonwaxy – zrno se standardním typem endospermu a poměrem škrobu; Waxy – zrno s voskovitým endospermem a vysokým podílem amylopektinu na úkor amylosy.

– glukosa, fruktosa, sacharosa, maltosa a fruktany

Note: Non-waxy – grain with standard endosperm type and starch ratio; Waxy – grain with waxy endosperm and high ratio of amylopectin at the expense of amylose.

– glucose, fructose, saccharose, maltose, and fructans

na snížení rizika onemocnění. V příloze nařízení je uveden text zdravotního tvrzení „Bylo prokázáno, že beta-glukan z ječmene snižuje hladinu cholesterolu v krvi. Vysoká hladina cholesterolu je rizikovým faktorem pro vznik ischemické choroby srdeční“, zároveň je uvedeno „Je třeba informovat spotřebitele, že příznivého účinku je dosaženo na základě denního příjmu 3 g beta-glukanu z ječmene. Tvrzení lze použít u potravin, které obsahují alespoň 1 g beta-glukanu z ječmene v kvantifikované porci.“

Beta-glukany na druhou stranu mohou představovat problém v krmivu hospodářských zvířat (zejm. monogastrů), kde mohou snižovat využitelnost živin. O'Shea et al. (2010) uvádí, že přidavek beta-glukanas do krmiva na ječné bázi pro prasata vedl ke zvýšení využitelnosti krmiva (zejm. bílkovin), vedl však také ke zvýšení amoniakálního zápachu hnoje.

Positivní vliv beta-glukanů ve stravě se zvyšuje s tělesnou hmotností prasat, proto je lepší přidávat beta-glukany při dokrmování, než při odstavení. Neškrobové polysacharidy bezpluchého ječmene pak způsobují problémy i při výživě brojlerů, kde snižují příjem krmiva, jeho konverzi a živý přírůstek u zvířat (Iji, 1999; Sharifi et al., 2012).

5 ZÁVĚR

Neškrobové polysacharidy zrna ječmene představují látky, které ve výživě člověka mohou pozitivně ovlivňovat zdravotní stav. Na druhou stranu představují omezení pro využití jako krmiva pro monogastry a sladování, avšak vhodným výběrem a preferencí odrůd lze získat zrno obsahem neškrobových polysacharidů vhodné jak pro výrobu potravin i krmiv, ale také pro výrobu sladu a následně piva.

PODĚKOVÁNÍ

Tato studie byla vypracována v rámci projektu MZe ČR NAZV č. QI111B044 „Komplexní strategie pro minimalizaci negativního dopadu infekce toxikogenními houbami r. *Fusarium* v obilovinách a odvozených produktech“.

extracted beta-glucans on human health is not unambiguous (Brennan and Cleary, 2005; Ibrügger et al., 2013).

Based on scientific assessments, (EFSA, NDA 2009; 2011) the European Commission issued the Regulation no. 1048/2012 dated November 8 2012 authorizing a health claim of positive effects of beta-glucans on human health.

The health claim in the appendix to the Regulation states that “Barley beta-glucan has been shown to lower/reduce blood cholesterol. High cholesterol is a risk factor in the development of coronary heart disease” and further “Information shall be given to the consumer that the beneficial effect is obtained with a daily intake of 3 g of barley beta-glucan. The claim can be used for foods which provide at least 1 g of barley beta-glucan per quantified portion”.

On the other side, beta-glucans can be a problem in feed of live-stock (namely of monogasters), where they can lower utilizability of nutrients. O'Shea et al. (2010) reported that the addition of beta-glucanases to feed on an oat basis for pigs led to the increase of feed usability (namely proteins), however, it also led to the increase odor of ammonia of manure.

The positive effect of beta-glucans in foods increases with body weight of pigs, therefore it is better to add beta-glucans at additional feeding than in weaning. Non-starch polysaccharides of hulless barley then cause problems at nutrition of broilers where they reduce feed intake, its conversion and weight gain in animals (Iji, 1999; Sharifi et al., 2012).

5 CONCLUSIONS

Non-starch polysaccharides of barley grain represent substances that in human nutrition can have a positive effect on health state. On the other side, they represent a limitation for the use as feed for monogasters and malting, nevertheless by an appropriate selection and preference of varieties grain can be obtained that with its content of non-starch polysaccharides is suitable both for production of foods and feeds and also for malt production and subsequently for brewing.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the project of MA CR NAZV QI111B044 “Complex strategy for minimizing the negative impact of infection with toxigenic fungi of *Fusarium* spp. in cereals and derived products“.

LITERATURA / REFERENCES

- AbuMweis, S. S., Jew, S., Ames, N. P., 2010: β -Glucan from barley and its lipid-lowering capacity: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Eur. J. Clin. Nutr.* 64(12): 1472–1480.
- Andersson, A. M., Lampi, A. M., Nyström, L., Piironen, V., Li L., Ward, J. L., Gebruers, K., Courtin, C. M., Delcour, J., Boros, D., Fraš, A., Dynkowska, W., Rakszegi, M., Bedo, Z., Shewry, P. R., Aman, P., 2008: Phytochemical and dietary fiber components in barley varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *J. Agric. Dietary Chem.* 56(21): 9767–9776.
- Babio, N., Balanza, R., Basulto, J., Bulló, M., Salas-Salvadó, J., 2010: Dietary fibre: influence on body weight, glycemic control and plasma cholesterol profile. *Nutr. Hosp.* 25(3): 327–340.
- Baik, B. K., Ullrich, S. E., 2008: Barley for dietary: Characteristics, improvement, and renewed interest. *J. Cereal Sci.*, 48(2): 233–242.
- Balounová, M., Vaculová, K., Hložková, L., Mikulíková, R., Ehrenbergerová, J., 2013: The effect of the changed amylose and amylopectin ratio on the selected qualitative parameters in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) grain. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 61(3): 577–585.
- Bamforth, C. W., Kanauchi, M., 2001: A simple model for the cell wall of the starchy endosperm in barley. *J. Inst. Brew.* 107(4): 235–240.
- Behall, K. M., Schofield, D. J., Hallfrisch, J. G., 2004: Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* 80(5): 1185–1193.
- Běláková, S., Benešová, K., Mikulíková, R., Svoboda, Z., 2010: Sledování změn obsahu ferulové kyseliny v pivovarských surovinách metodou UPLC s PDA detekcí. *Kvasny Prum.* 56(6): 266–269.
- Benito-Román, O., Alonso, E., Lucas, S., 2011: Optimization of the β -glucan extraction conditions from different waxy barley cultivars. *J. Cereal Sci.* 53(3): 271–276.
- Bhatty, R. S., 1996: Production of dietary malt from hull-less barley. *Cereal Chem.* 73(1): 75–80.
- Brennan, C. S., Cleary, L. J., 2005: The potential use of cereal (1 \rightarrow 3,1 \rightarrow 4)- β -D-glucans as functional dietary ingredients. *J. Cereal Sci.* 42(1): 1–13.
- Březinová Belcredi, N., Ehrenbergerová, J., Běláková, S., Vaculová, K., 2009: Barley grain as a source of health-beneficial substances. *Czech J. Dietary Sci.* 27: S242–S244.
- Cyran, M., Izydorczyk, M. S., Macgregor, A. W., 2002: Structural characteristics of water-extractable nonstarch polysaccharides from barley malt 1. *Cereal Chem.* 79(3): 359–366.
- Dickin, E., Steele, K., Frost, G., Edwards-Jones, G., Wright, D., 2011: Effect of genotype, environment and agronomic management on β -glucan concentration of naked barley grain intended for health dietary use. *J. Cereal Sci.* 54(1): 44–52.
- Djoussé, L., Gaziano, J. M., 2007: Breakfast cereals and risk of heart failure in the Physicians' Health Study I. *Arch. Intern. Med.* 167(19): 2080–2085.
- EFSA, 2009: Panel on dietetic products and nutrition and allergies (NDA): Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans and maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 754, 755, 757, 801, 1465, 2934) and maintenance or achievement of a normal body weight (ID 820, 823). *EFSA J.* 7(1924): 1–18.
- EFSA, 2011: Panel on dietetic products and nutrition and allergies (NDA): Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to barley beta-glucans and lowering of blood cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to Article 14 of Regulation (EC). *EFSA J.* 9(12): 1–14.
- Ehrenbergerová, J., 2006: Chemické složení zrna ječmene. In: Zimolka, J. Ječmen – formy a užitkové směry v České republice. Praha: Profi Press. ISBN 9788086726182.
- Ehrenbergerová, J., Březinová Belcredi, N., Psota, V., Hrstková, P., Cerkal, R., Newman, C. W., 2008: Changes caused by genotype and environmental conditions in beta-glucan content of spring barley for dietetically beneficial human nutrition. *Plant Dietary Hum. Nutr.* 63(3): 111–117.
- Ehrenbergerová, J., Prokopcová, Z., Běláková, S., Cerkal, R., Pluháčková, H., Vaculová, K., Smutná, P., 2012: Variability in free and total ferulic acid content in spring barley caryopses. *Kvasny prum.* 58(7–8): 201–208.
- El Khoury, D., Cuda, C., Luhovy, B. L., Anderson, G. H., 2012: Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome. *J. Nutr. Metab.* 2012(28): 1–28.
- Gamlath, J., Aldred, G. P., Panozzo, J. F., 2008: Barley (1 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 4)- β -glucan and arabinoxylan content are related to kernel hardness and water uptake. *J. Cereal Sci.* 47(2): 365–371.
- Güler, M., 2003: Barley grain β -glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *F. Crop. Res.* 84(1): 335–340.
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., Gallagher, E., 2010: Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Compr. Rev. Dietary Sci. Dietary Saf.* 9(3): 318–328.
- Han, J. Y., 2000: Structural characteristics of arabinoxylan in barley, malt, and beer. *Dietary Chem.* 70(2): 131–138.
- Havlová, P., 1999: Hydrolytické a oxidoredukční enzymy ječného sladu: (studijní zpráva). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 9788072710409.
- Havlová, P., Lancová, K., Váňová, M., Havel, J., Hajšlová, J., 2006: The effect of fungicidal treatment on selected quality parameters of barley and malt. *J. Agric. Dietary Chem.* 54(4): 1353–1360.
- Havrlentová, M., Křižanová, K., Žofajová, A., Gubiš, J., 2010: Malting quality and grain yield of spring barley genotypes. In: Proceedings of the 6th International Conference on Polysaccharides-Glycoscience 2010. Praha 6. 96–99.
- Havrlentová, M., Petruláková, Z., Burgárová, A., Gago, F., Hlinková, A., Šturdík, E., 2011: Cereal beta-glucans and their significance for the preparation of functional dietarys—a review. *Czech J. Dietary Sci.* 29(1): 1–14.
- Holtekjølén, A. K., Uhlen, A. K., Bråthen, E., Sahlström, S., Knutsen, S. H., 2006: Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. *Dietary Chem.* 94(3): 348–358.
- Holtekjølén, A. K., Uhlen, A. K., Knutsen, S. H., 2008: Barley carbohydrate composition varies with genetic and abiotic factors. *Acta Agric. Scand. Sect. B – Plant Soil Sci.* 58(1): 27–34.
- Chandalia, M., Garg, A., Lutjohann, D., Bergmann, K., Grundy, S. M., Brinkley, L. J., 2000: Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *N. Engl. J. Med.* 342(19): 1392–1398.
- Chen, J., Raymond, K., 2008: Beta-glucans in the treatment of diabetes and associated cardiovascular risks. *Vasc. Health Risk Manag.* 4(6): 1265–1272.
- Chloupek, O., 2008: Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. Praha: Academia, ISBN 978-80-200-1566-2.
- Ibrügger, S., Kristensen, M., Poulsen, M. W., Mikkelsen, M. S., Ejlsing, J., Jespersen, B. M., Dragsted, L. O., Engelsen, S. B., Bügel, S., 2013: Extracted oat and barley β -glucans do not affect cholesterol metabolism in young healthy adults. *J. Nutr.* 143(10): 1579–1585.
- Iji, P., 1999: The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. *Worlds Poult. Sci. J.* 55(12): 375–387.
- Izydorczyk, M. S., Dexter, J. E., 2008: Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in dietary products—a Review. *Dietary Res. Int.* 41(9): 850–868.
- Jamar, C., Jardin, P., Fauconnier, M. L., 2011: Cell wall polysaccharides hydrolysis of malting barley (*Hordeum vulgare* L.): a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Env.* 15(2): 301–313.
- Keenan, J. M., Goulson, M., Shamlilian, T., Knutson, N., Kolberg, L., Curry, L., 2007: The effects of concentrated barley beta-glucan on blood lipids in a population of hypercholesterolaemic men and women. *Br. J. Nutr.* 97(6): 1162–1168.
- Keogh, G. F., Cooper, G. J. S., Mulvey, T. B., Mcardle, B. H., Coles, G. D., Monro, J. A., Poppitt, S. D., 2003: Randomized controlled crossover study of the effect of a highly beta-glucan-enriched barley on cardiovascular disease risk factors in mildly hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.* 78(4): 711–718.
- Kochar, J., Djoussé, L., Gaziano, J. M., 2007: Breakfast cereals and risk of type 2 diabetes in the Physicians' Health Study I. *Obesity (Silver Spring)*. 15(12): 3039–3044.
- Kosař, K., Psota, V., Havlová, P., Šusta, J., 2000: Sladovnický ječmen. In: Kosař, K., Procházka, S., (eds.). Technologie výroby sladu a piva. Praha: VÚPS. 30–62. ISBN 80-902658-6-3.
- Kosař, K., 2000: Náhražky sladu. In: Kosař, K., Procházka, S., (eds.). Technologie výroby sladu a piva. Praha: VÚPS. 122–126. ISBN 80-902658-6-3.
- Křižanová, K., Žofajová, A., 2010: Grain yield and malting quality of new spring barley genotypes. *Agric.* 56(3): 90–94.
- Kůst, F., Potměšilová, J., 2013: Situační a výhledová zpráva obiloviny. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISBN 9788074341342.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., 2007: Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *J. Cereal Sci.* 46(2): 101–118.
- Lazaridou, A., Chornick, T., Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S., 2008: Composition and molecular structure of polysaccharides released

- from barley endosperm cell walls by sequential extraction with water, malt enzymes, and alkali. *J. Cereal Sci.*, 48(2): 304–318.
- Leiper, K. A., Miedl, M., 2008: Colloidal stability of beer. In: Bamforth, C. W., Russell, I., Stewart, G., Beer: A Quality Perspective. Burlington, MA: Academic Press. 111–154. ISBN 9780126692013.
- Li, Y., Lu, J., Gu, G., Shi, Z., Mao, Z., 2005: Studies on water-extractable arabinoxylans during malting and brewing. *Dietary Chem.* 93(1): 33–38.
- Liu, S., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Hu, F. B., Giovannucci, E., Colditz, G. A., Hennekens, C. H., Willett, W. C., 2000: A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. *Am. J. Public Health.* 90(9): 1409–1415.
- Lu, J., Li, Y., 2006: Effects of arabinoxylan solubilization on wort viscosity and filtration when mashing with grist containing wheat and wheat malt. *Dietary Chem.* 98(1): 164–170.
- Lu, Z. X., Walker, K. Z., Muir, J. G., O'Dea, K., 2004: Arabinoxylan fibre improves metabolic control in people with Type II diabetes. *Eur. J. Clin. Nutr.* 58(4): 621–628.
- Marangioni, F., Poli, A., 2008: The glycemic index of bread and biscuits is markedly reduced by the addition of a proprietary fiber mixture to the ingredients. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 18(9) 602–605.
- Mendis, M., Simsek, S., 2013: Arabinoxylans and human health. *Dietary Hydrocoll.* 2013: 3–7.
- Mikkelsen, M. S., Jespersen, B. M., Larsen, F. H., Blennow, A., Engelsen, S. B., 2013: Molecular structure of large-scale extracted β -glucan from barley and oat: Identification of a significantly changed block structure in a high β -glucan barley mutant. *Dietary Chem.* 136(1): 130–138.
- Mikyška, A., Prokeš, J., Běláková, S., 2010: The influence of barley origin and malting technology on ferulic acid content in barley and malt. *Kvasny Prům.* 56(3): 145–151.
- Mitsou, E. K. K., Panopoulou, N., Turunen, K., Spiliotis, V., Kyriadiou, A., 2010: Prebiotic potential of barley derived β -glucan at low intake levels: A randomised, double-blinded, placebo-controlled clinical study. *Dietary Res. Int.* 43(4): 1086–1092.
- Mrkvicová, E., 2006: Nutriční hodnocení komplexu vlákniny z pohledu trávení. In: Zeman, L. *Výživa a krmení hospodářských zvířat*. Praha: Profi Press. 93–99. ISBN 9788086726175.
- Newman, C. W., Newman, R. K., 2005: *Hulless Barley for Dietary and Feed*. In Abdel-Aal, E., Wood, P. J., *Specialty Grains for Dietary and Feed*. St. Paul, Minn.: American Association of Cereal Chemists, Inc. ISBN 1891127411.
- Newman, R. K., Newman, C. W., 2008: *Barley for dietary and health: Science, technology, and products*. 1st ed. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 9780470102497.
- Niño-Medina, G., Carvajal-Millán, E., Rascon-Chu, A., Marquez-Escalante, J. A., Guerrero, V., Salas-Muñoz, E., 2009: Feruloylated arabinoxylans and arabinoxylan gels: structure, sources and applications. *Phytochem. Rev.* 9(1): 111–120.
- O'Shea, C. J., Gahan, D. A., Lynch, M. B., Callan, J. J., O'Doherty, J. V., 2010: Effect of β -glucan source and exogenous enzyme supplementation on intestinal fermentation and manure odour and ammonia emissions from finisher boars. *Livest. Sci.* 134(1–3): 194–197.
- Oscarsson, M., Andersson, R., Salomonsson, A. C., Åman, P., 1996: Chemical composition of barley samples focusing on dietary fibre components. *J. Cereal Sci.* 24(2): 161–170.
- Patel, S., Goyal, A., 2012: The current trends and future perspectives of prebiotics research: a review. *3 Biotech.* 2(2): 115–125.
- Pritchard, J. R., Lawrence, G. J., Larroque, O., Li Z., Laidlaw, H. K., Morell, M. K., Rahman, S., 2011: A survey of β -glucan and arabinoxylan content in wheat. *J. Sci. Dietary Agric.* 91(7): 1298–303.
- Salas-Salvadó, J., Bulló, M., Pérez-Heras, A., Ros, E., 2006: Dietary fibre, nuts and cardiovascular diseases. *Br. J. Nutr.* 96(S2): S45–S51.
- Samuelsen, A. B., Rieder, A., Grimmer, S., Michaelsen, T. E., Knutson, S. H., 2011: Immunomodulatory activity of dietary fiber: arabinoxylan and mixed-linked beta-glucan isolated from barley show modest activities in vitro. *Int. J. Mol. Sci.* 12(1): 570–587.
- Sanchez, J. I., Marzorati, M., Grootaert, C., Baran, M., Van Craeyveld, V., Courtin, C. M., Broekaert, W. F., Delcour, J. A., Verstraete, W., Van De Wiele, T., 2009: Arabinoxylan-oligosaccharides (AXOS) affect the protein/carbohydrate fermentation balance and microbial population dynamics of the Simulator of Human Intestinal Microbial Ecosystem. *Microb. Biotechnol.* 2(1): 101–113.
- Sharifi, S. D., Shariatmadari, F., Yaghobfar, A., 2012: Effects of Inclusion of Hull-Less Barley and Enzyme Supplementation of Broiler Diets on Growth Performance, Nutrient Digestion and Dietary Metabolizable Energy Content. *J. Cent. Eur. Agric.* 13(1): 193–207.
- Shimizu, C., Kihara, M., Aoe, S., Araki, S., Ito, K., Hayashi, K., Watarai, J., Sakata, Y., Ikegami, S., 2008: Effect of high beta-glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men – a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Plant Dietarys Hum. Nutr.* 63(1): 21–25.
- Schroeder, N., Gallaher, D. D., Arndt, E. A., Marquart, L., 2009: Influence of whole grain barley, whole grain wheat, and refined rice-based diets on short-term satiety and energy intake. *Appetite.* 53(3): 363–369.
- Slavin, J. L., 2005: Dietary fiber and body weight. *Nutrition.* 21(3): 411–418.
- Smith, K. N., Queenan, K. M., Thomas, W., Fulcher, R. G., Slavin, J. L., 2008: Physiological effects of concentrated barley beta-glucan in mildly hypercholesterolemic adults. *J. Am. Coll. Nutr.* 27(3): 434–440.
- Škrbić, B., Milovac, S., Dodig, D., Filipčev, B., 2009: Effects of hull-less barley flour and flakes on bread nutritional composition and sensory properties. *Dietary Chem.* 115(3): 982–988.
- Tovar, J., Nilsson, A., Johansson, M., Ekesbo, R., Aberg, A. M., Johansson, U., Björck, I., 2012: A diet based on multiple functional concepts improves cardiometabolic risk parameters in healthy subjects. *Nutr. Metab. (Lond).* 9(29): 1–11.
- Ullrich, S. E., (ed.) 2010: *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell. ISBN 0470958626.
- Velíšek, J., 2002: *Chemie potravin: 1. Tábor: OSSIS.*, ISBN 9788086659008.
- Viëtor, R. J., Voragen A. G. J., Angelino S. A. G. F., 1993: Composition of non-starch polysaccharides in wort and spent grain from brewing trials with malt from a good malting quality barley and a feed barley. *J. Inst. Brew.* 99(3): 243–248.
- Vitaglione, P., Lumaga, R. B., Stanzione, A., Scalfi, L., Fogliano, V., 2009: Beta-glucan-enriched bread reduces energy intake and modifies plasma ghrelin and peptide YY concentrations in the short term. *Appetite.* 53(3): 338–344.
- Wang, J., Zhang, G., Chen, J., Wu, F., 2004: The changes of β -glucan content and β -glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Dietary Chem.* 86(2): 223–228.
- Wolever, T. M. S., Gibbs, A. L., Brand-Miller, J., Duncan, A. M., Hart, V., Lamarche B., Tosh, S. M., Duss, R., 2011: Bioactive oat β -glucan reduces LDL cholesterol in Caucasians and non-Caucasians. *Nutr. J.* 10(1): 130–134.