

Změny v obsahu živin a bioaktivních látek po extruzi bezpluchého ječmene, určeného k výrobě potravin pro zdravou lidskou výživu

(Changes in the content of nutrients and bioactive substances after extrusion of hulless barley intended for the production of food for healthy human nutrition)

Vaculová, K., Jirsa, O., Sedláčková, I.,
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787, Kroměříž

Souhrn: V pokusu byly hodnoceny výsledky změn chemického složení a bioaktivních látek s antioxidační aktivitou po extruzi vybraných materiálů bezpluchého ječmene, určeného k výrobě potravin pro zdravou a preventivní lidskou výživu. Dosažené výsledky potvrdily, že extruzní zpracování zrna bezpluchého ječmene je vhodnou a ekonomicky efektivní metodou výroby potravin se zvýšenou nutriční hodnotou, zejména vysokým obsahem rozpustné vlákniny potravy. Podmínkou maximálního využití všech důležitých živin a bioaktivních látek zrna je výběr nejvhodnějších odrůd a individuální nastavení pracovních parametrů extrudérů při nízkých vlhkostech vstupní suroviny a nižších pracovních teplotách.

Klíčová slova: ječmen, extruze, lidská výživa, bioaktivní látky, antioxidační aktivita

Abstract: In the experiment, the results of changes in chemical composition and bioactive substances with antioxidant activity after extrusion of selected barley-free barley materials, intended for the production of food for healthy and preventive human nutrition, were evaluated. The obtained results have confirmed that the extrusion treatment of hulless barley grain is a suitable and economically efficient method of producing food with an increased nutritional value, in particular a high content of soluble dietary fiber. The requirement for the maximum utilization of all the important nutrients and bioactive substances of the grain is the selection of the most suitable varieties and the individual setting of the working parameters of the extruders at low moisture of the raw materials and lower working temperatures.

Key Words: barley, grain, extrusion, human food, bioactive substances, antioxidative activity

Úvod

Jedním z rozšířených způsobů zpracování obilnin je využití extruzní technologie. Extruze nebo jinak také tzv. extruzní vaření je vysoce efektivní, cenově a energeticky nenáročný způsob zpracování, který vede k úpravě fyzikálních vlastností zpracovávaných surovin, především jejich textury a chuti (Šárka a kol., 2013). Extruze probíhá v přístroji, zvaném extrudér, kde je použita surovina, v případě obilovin tedy šroty o různé granulaci a vlhkosti, při řízených otáčkách šneku a teplotách míchána, stlačována, podrobena působení vysokého tlaku, střihových a smykových sil a na výstupu v podobě vzniklého těsta (taveniny) protlačena maticí s extruzními tryskami. Po průchodu tryskou dochází k expanzi vodní páry, tavenina se rozpíná a po ztrátě teploty a vlhkosti tuhne do struktury s charakterem pevné pěny (Guy 2001, Šárka a kol., 2013). V průběhu zpracování se vlivem působení tlaku a teploty mění škroby (dochází k jejich plastifikaci a mazovatění), bílkoviny (denaturace) i další živiny. Vytvářejí se komplexy lipidů se škroby a bílkovinami a dochází ke změnám také u dalších látek, zejména bioaktivních, jako jsou přírodní enzymy, toxiny, mikroorganismy, ale také ke ztrátě některých nutričně významných látek (Smrčková et al. 2015). Současně je zapotřebí zdůraznit, že extruze patří mezi tzv. HTST (high temperature short time) metody tepelných úprav, založené na velmi krátkém použití vysokých teplot, a proto jsou ztráty těchto žádoucích látek i při vyšších teplotách (nad 200 °C) omezené (Moscicki a van Zuilichem, 2011).

Změny v chemickém složení po extruzi souvisejí nejen s nastavenými procesními parametry, ale i s diferencemi v morfoloické a chemické struktuře vstupních surovin. Rozdíly ve složení škrobu, tedy poměru základních polysacharidů – amylozy a amylopektinu, poměru malých a velkých škrobových zrn, obsahu a aminokyselinovém složení bílkovin, podílu tuku, vlákniny i dalších složek zrna ovlivňují výsledky extruze.

Z obilovin jsou pro extruzi nejčastěji využívány kukuřice a rýže, dále pšenice, žito a méně pak oves nebo další druhy. Nové odrůdy ječmene se zvýšeným obsahem vlákniny potravy, zastoupené především neškrobovými polysacharidy (1→3),(1→4) β-D-glukany, se ukazují jako perspektivní surovina i pro extruzní zpracování. V našem pokusu jsme sledovali změny chemického složení a bioaktivních látek s antioxidační aktivitou v zrně a po extruzi vybraných materiálů ječmene, určených k výrobě potravin pro zdravou lidskou výživu.

Materiál a metodika

Pro pokus byly zvoleny dvě registrované odrůdy bezpluchého jarního ječmene AF Lucius a AF Cesar a šlechtitelská linie KM 1057 s rozdílným chemickým složením zrna, vypěstované v lokalitě Kroměříž v roce 2015.

Extruze byla provedena ve společnosti EXTRUDO Bečice, s.r.o. na jednošnekovém extrudéru Schaaf (model 60-B-9250-BL, Schaaf Technologie GmbH, Bad Camberg, Germany) se zařízením TURBO. Pro pokus byl použit extrudér s hlavou DAVO (8 x 4 mm). Tlak na výtlačné hlavě byl v rozmezí 20–40 atm. Byl použit šnek KONY (Double turbo), otáčky šnekovnice byly 220 ot.min⁻¹. Vzorky se lišily vstupní vlhkostí (18 % a 20 %) a rozdíly byly také v teplotě před maticí (100 °C a 130 °C).

Stanovení objemové hmotnosti extrudátu: objemová hmotnost (dále jen OH) byla měřena podle ČSN ISO 7971-2 (2003) v objemovém válci o objemu 250 ml. Hmotnost odměřeného množství extrudátu byla stanovena zvážením na laboratorních vahách s přesností na 0,1 g. Průměrná objemová hmotnost byla vypočtena ze čtyř opakovaných měření a vyjádřena v g/l.

Chemické analýzy zrna a extrudátů: byl stanoven obsah (1→3),(1→4) β-D-glukanů (kitem fy Megazyme – K-BGLU 04/06 – dále jen BG), škrobu (ČSN EN ISO 10520) a N-látek (N×6,25 – ICC Standard No. 167). Výsledky byly vyjádřeny v g.kg⁻¹ sušiny

a dále byl proveden přepočítání rozdílů v obsahu látek po extruzi k hodnotám stanoveným v původním (nativním) vzorku (v %).

Měření celkové antioxidační kapacity bylo provedeno nepřímo prostřednictvím stanovení antioxidační aktivity (AOA) (dodavatelky ve VÚPP, v.v.i.). Pro měření AOA byly použity metody DPPH (2,2-difeny-1-pikrylhydrazyl - založená na eliminaci radikálů generovaných v reakční směsi) a FRAP (Ferric reducing antioxidant power - založená na přímém hodnocení redoxních vlastností) (Brand-Williams a kol., 1995; Sanchez-Moreno a kol., 1998; Benzie a Strain, 1996 a Dudonné a kol., 2009). Výsledky obou měření byly vyjádřeny jako množství Troloxu (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová kyselina) v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ vzorku. Zpracování výsledků bylo provedeno programem STATISTICA, verze 12.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma), grafy byly sestaveny v programu Microsoft Excel 2010.

Tabulka 1. Chemické složení a hodnoty antioxidační aktivity šrotů z upraveného zrna rozdílných materiálů ječmene na jednotlivých místech měření

Odrůda	β -glukany	škrob	N-látky	DPPH	FRAP
	g.kg ⁻¹ suš.			$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Troloxu	
AF Cesar	54.8	678.2	108.5	1 722.5	1 532.5
AF Lucius	50.6	689.0	139.1	2 465	2 473
KM 1057	37.7	68.9	116.8	1 525	1 337

Výsledky a diskuse

Výzkumné i klinické výsledky hodnocení zrna ječmene z pohledu jeho přínosu pro zdravou lidskou výživu ukazují, že si tato obilnina zaslouží pozornost nejen kvůli vysokému obsahu vlákniny potravy [zastoupené v tomto druhu zejména (1→3, 1→4) β -D-glukany], ale také díky dalším látkám s bioaktivním účinkem, důležitým z hlediska prevence mnohých civilizačních chorob. Přírodní antioxidanty, obsažené v ječmeni, jako je vitamin E, některé enzymy (superoxiddismutáza, kataláza, aj.), karotenoidy, polyfenoly, terpeny a další látky, vykazují prokazatelné antidiabetické, protinádorové, antivirové, antimikrobiální, protizánětlivé a další zdraví prospěšné účinky (Gupta a kol., 2010; Baik a kol., 2011; Tong a kol., 2015 a další). Vybrané odrůdy (AF Cesar, AF Lucius) a vlastní šlechtitelská linie ječmene jarního s bezpluchým zrnem (KM 1057) se lišily jak v obsahu sledovaných živin, tak i v celkové antioxidační kapacitě (Tab. 1), charakterizující souhrnnou koncentraci všech látek s antioxidačními účinky ve vzorku (Štípek 2000).

Oproti výsledkům, získaným v předchozích studiích (Macháň a kol., 2014; Vaculová 2014), byly výchozí hodnoty obsahu sledovaných složek zrna, zejména škrobu a N-látek odlišné, protože pro analýzy bylo použito zrno, které bylo již upravené mírným obroušením na Ekonosce. Tyto úpravy byly provedeny se záměrem snížit podíl obalových vrstev s vyšším zastoupením vlákniny a nerozpustných polysacharidů a především s cílem odstranit tzv. „ulpívající“ pluchy, které snižují pufovací index a zvyšují objemovou hmotnost, což jsou při výrobě extrudovaných výrobků nežádoucí vlastnosti.

Extruze ovlivnila jak obsah sledovaných složek zrna, tak i hodnoty antioxidační aktivity. Změny v obsahu N-látek, škrobu i BG byly odlišné v závislosti na výchozí odrůdě, vstupní vlhkosti suroviny a teplotě před maticí (Graf 1).

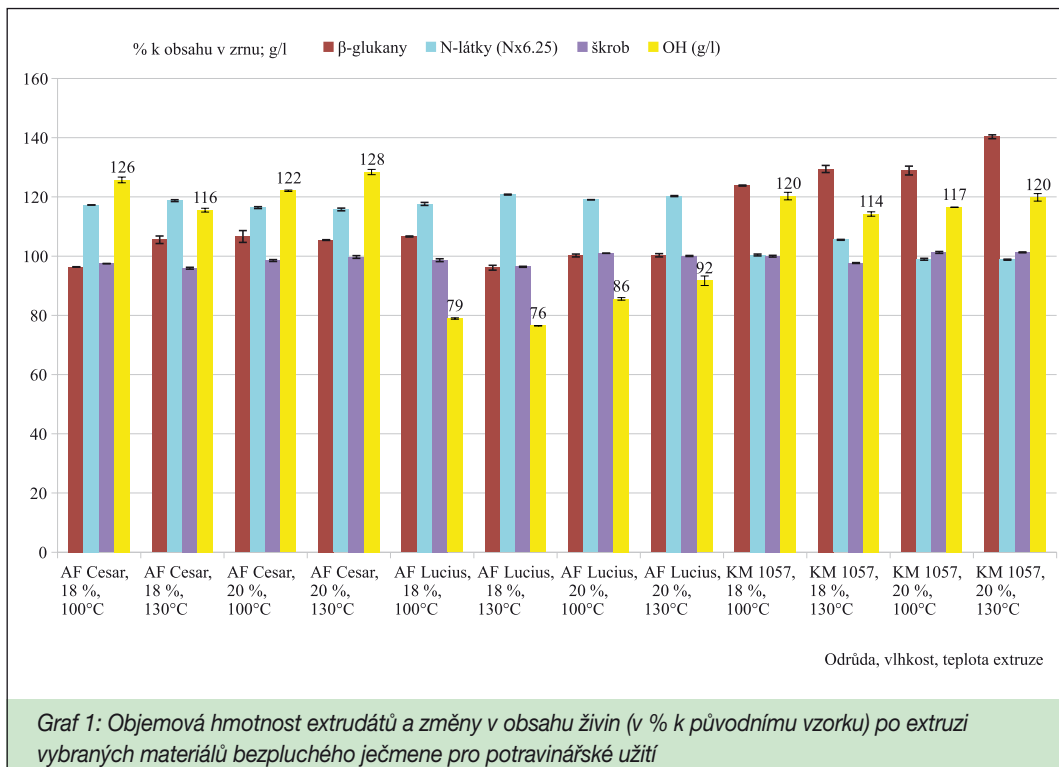
Posouzení vlivu vlhkosti a teploty v průběhu extruze na obsah živin a objemovou hmotnost extrudátů

Hodnocení pomocí analýzy variance (tabulka není přiložena) ukázalo, že pro obsah N-látek byla průkazným faktorem variability nejen odrůda, výchozí vlhkost a teplota, ale i jejich vzájemné interakce. Obsah škrobu ovlivnily všechny proměnné s výjimkou interakce mezi odrůdou a vlhkostí. Pro změny obsahu BG a objemovou hmotnost extrudátů nebyla průkazným faktorem proměnlivosti teplota a interakce vlhkosti a teploty (pro změny BG) nebo odrůdy a teploty (v případě OH).

Údaje získané při hodnocení vlivu extruze na různé živiny prokázaly, že tento technologický postup zvyšuje extraktivnost BG z výchozí suroviny (Singkhornart a kol., 2013; Sharma a Gujral, 2013 a další), a to zejména v případě zvýšení obsahu vody v těstu. Vyšší obsah BG po extruzi je zřejmě důsledkem změny poměru rozpustných BG vůči nerozpustným. Zatímco v nativním vzorku byla zjištěna variabilita tohoto poměru od 0,7 do 1,5, po extruzi se poměr změnil a pohyboval se od 1,2 do 3,1 (Sharma a Gujral, 2012). Co se týče vlivu teploty nebo dalších procesních parametrů, nejsou literární údaje jednoznačné. Sharma a Gujral (2013) shodně s našimi výsledky konstatují, že zvýšení teploty mělo na extraktivnost BG jen nevýznamný vliv. Jiní autoři (Altan a kol., 2009) při studiu směsi ječné mouky a vedlejších produktů zpracování ovoce a zeleniny pozorovali, že obsah BG po extruzi ovlivnila nejvíce teplota a rychlost otáček šnekovnice. Köksel a kol. (2004)

zjistili, že obsah BG, který byl při nízkých otáčkách šroubovice srovnatelný s obsahem v původních vzorcích, se při vyšších otáčkách šroubovice naopak snižoval. Vliv na extraktivnost BG mělo také složení naopak škrobu. Jiang a kol. (2000) porovnávali rozpustnost BG ze dvou odrůd ječmene s waxy (Candle) a standardním typem škrobu (Phoenix). I když byla rozpustnost BG v nativním i extrudovaném vzorku z odrůdy Candle vyšší než v případě odrůdy Phoenix, v obou případech byla rozpustnost po extruzi zvýšená oproti výchozímu vzorku. Také Vasanthan a kol. (2002) pozorovali zvýšení obsahu celkové a rozpustné vlákniny ve vzorcích ječmene po extruzi, což přičítají transformaci části nerozpustné vlákniny na vlákninu rozpustnou a také tvorbě další rozpustné vlákniny v procesu transglykosylace.

V našem pokusu měly všechny vzorky standardní typ škrobu, otáčky šnekovnice byly konstantní, měnila se pouze vlhkost vstupní suroviny a teplota před maticí. V průměru se zvýšil obsah BG ve vzorcích po extruzi o 11,6% oproti výchozí surovině. Naměřené výsledky prokázaly, že se na této hodnotě nejvíce podílely změny obsahu BG u linie KM 1057 (s nejnižším obsahem BG v zrnu), a to bez ohledu na výchozí vlhkost nebo teplotu před maticí. Největší a v porovnání s ostatními variantami průkazně odlišný rozdíl obsahu BG vůči výchozímu vzorku (o 40, 3%) byl stanoven ve variantě s 20% vlhkostí a teplotou 130 °C. U odrůd AF Lucius a AF Cesar, s obsahem BG v nativním vzorku vyšším oproti KM 1057 o 34,2 a 45,3%, byly dosažené výsledky odlišné. Zatímco u odrůdy AF Lucius byl ve variantě s vlhkostí 18% a teplotou 100 °C zjištěn průkazně vyšší obsah BG oproti původnímu vzorku (o 6,6%), v ostatních variantách bylo pozorováno jen nevýznamné zvýšení nebo mírný pokles. Naopak u odrůdy AF Cesar s nejvyšším obsahem BG v nativním zrnu byl v první variantě (vlhkost 18%, teplota 100 °C) naměřen průkazný pokles obsahu BG a významný nárůst byl pozorován ve třech dalších variantách (Graf 1). Naše předchozí výsledky (Honcu a kol., 2016) ukázaly, že vlivem extruze docházelo u sledovaných odrůd a genetických zdrojů ječmene nejen ke změnám v obsahu, ale i molekulové hmotnosti BG.



76,5 g.l⁻¹ do 91,7 g.l⁻¹, přičemž průkazně nižší hmotnost byla naměřena při vlhkosti 18 % a obou teplotách. U odrůdy AF Cesar a linie KM 1057 se hodnoty OH pohybovaly od 114,2 g.l⁻¹ do 128,4 g.l⁻¹. Zatímco u KM 1057 nebyla zřejmá žádná průkazná závislost na vlhkosti nebo teplotě, OH u odrůdy AF Cesar byla obdobně jako v případě odrůdy AF Lucius nižší při vlhkosti 18 % než ve variantě s 20% vlhkostí. Námí dosažené výsledky korespondují s poznatky získanými zahraničními autory (Baik a kol., 2004; Köksel a kol., 2004, aj.), kteří zjistili, že v případě zvyšující se vlhkosti vstupní suroviny má výsledný extrudát horší pufovací index a také vyšší OH. Tyto závěry související s fyzikálními vlastnostmi

Také obsah N-látek byl ovlivněn extruzí v závislosti na použitých odrůdách ječmene. I když v průměru bylo zvýšení obsahu vůči nativním vzorkům podobné jako v případě obsahu BG, tedy o 12,5 %, u odrůd AF Cesar a AF Lucius bylo ve všech variantách vlhkosti i teploty pozorováno zvýšení obsahu N-látek o více jako 15 %, ale u linie KM 1057 se obsah N-látek měnil pouze nevýznamně. Tato linie se vyznačuje redukcí obsahu hordeinu C v porovnání s ostatními genotypy ječmene a změněným spektrem aminokyselinového složení (Hubík a Vaculová, 1990), což mohlo být příčinou odlišné reakce po extruzi.

Jedním z hlavních výsledků extruzního procesu je zvýšení stravitelnosti sacharidů, zejména škrobu, což se široce využívá v přípravě krmiv pro hospodářská zvířata. U přípravy kvalitně pufovaných výrobků pro lidskou stravu je naopak žádoucí, aby se pomocí extruze zvýšil podíl pomalu stravitelného škrobu, se středním až nízkým glykemickým indexem (GI). Poměr typů škrobů s různou stravitelností lze změnit jak nastavením parametrů extrudátu, tak i složením vstupních surovin, zejména přidávkem vlákniny potravy (Brennan a kol., 2008; Smrčková a kol., 2015). V případě našich materiálů ječmene nebyly zjištěny významné změny obsahu škrobu jak u odrůd AF Cesar a AF Lucius, tak ani u linie KM 1057 – dá se tedy předpokládat, že na rozdíl od výsledků, zjištěných pro kukuřici nebo pšenici, při sledovaných experimentálních vlhkostech a teplotách, nedochází u ječmene jako suroviny k významnému zvýšení extraktivnosti škrobu, i když samozřejmě nelze vyloučit změny jeho struktury.

Obecně jsou hlavními požadovanými vlastnostmi extrudovaných výrobků křehkost textury, vysoký pufovací index a nízká objemová hmotnost. Různé extruzní podmínky ovlivňují fyzikální vlastnosti extrudátů (pufovací index, objemovou hmotnost), zmasovatění škrobu i hodnoty viskozity. V našem experimentu byly nejnižší hodnoty objemové hmotnosti, tedy nejvyšší pufovací indexy, dosaženy ve vzorcích ze zrna odrůdy AF Lucius. V průměru byla OH extrudátů z této odrůdy o více jako 40 % nižší než ze dvou dalších materiálů ječmene. Hodnoty OH kolísaly od

extrudátů byly platné bez ohledu na výstupní teplotu nebo konfiguraci otáček šroubovice. Typ nastavení se ukázal jako rozhodující pro výslednou kvalitu extrudátů. Při použití odrůd se standardním složením škrobu byla obecně naměřena vyšší expanzní schopnost a současně nižší OH extrudátů než v případě ječmene s waxy typem škrobu, tedy s vyšším zastoupením vlákniny potravy (Baik a kol., 2004). To odpovídá znalostem o chemickém složení studovaných experimentálních materiálů ječmene. Odrůda AF Lucius se oproti odrůdě AF Cesar vyznačuje nižším obsahem jak celkové, tak rozpustné i nerozpustné vlákniny (Honcu a kol., 2016). Bezpluchá linie KM 1057 má sice významně nižší obsah BG, avšak patří k materiálům s mimořádně vysokým obsahem arabinoxylanů, a to nejen v obalových vrstvách, ale i v moučných pasážích (Wiege a kol., 2015). Je tedy zřejmé, že rozdíly v chemickém složení zrna hrají roli i v rámci odrůd ječmene, které se vzájemně významně neliší v podílu základních polysacharidů škrobu – amylozy a amylopektinu. Kromě již diskutovaných provozních parametrů extrudátu se na konečném výsledku podílí i další ukazatele, jako například rozdíly v dávkování směsi. Zvýšení dávkování mělo negativní vliv na OH a tvrdost extrudátů z mouky se standardním i waxy složením (Baik a kol., 2004).

Vliv průběhu extruze na biologickou aktivitu výrobků

Jak uvádí Sharma a Kotari (2017), než se ječmen využije k lidské výživě, projde řadou technologických úprav, které ovlivňují jeho složení a fyzikálně-chemické vlastnosti. Kromě změn v základním chemickém složení zrna je tedy zapotřebí evidovat i změny obsahu a aktivity látek s antioxidačními nebo dalšími biochemicky významnými účinky. V našem pokusu jsme sledovali změny antioxidační aktivity (AOA) měřené pomocí dvou rozdílných chemických metod – DPPH a FRAP. Dosažené výsledky měření AOA v nativních vzorcích a po působení různých vstupních vlhkostí i teplot na matici ukázaly, že i zde byla proměnlivost změn významně poplatná zvoleným genotypům ječmene (Graf 2). Na rozdíl od diferencí



v obsahu živin je z předloženého grafu zřejmá také závislost na vlhkosti a teplotě u všech hodnocených vzorků.

Pokles hodnot AOA byl velmi výrazný. Průměrná hodnota u všech materiálů a variant pokusu získaná metodou DPPH dosáhla 30,2 % a metodou FRAP 31,9 % vůči hodnotám v nativních vzorcích. Nejvyšší pokles AOA (o 75,2 % oproti původnímu vzorku) byl zaznamenán u odrůdy AF Lucius, která vykazovala nejvyšší AOA v nativním stavu a naopak nejmenší pokles antioxidační schopnosti byl pozorován v případě linie KM 1057 (59,8 % ve variantě s vlhkostí 18 % a teplotou 130 °C), která měla v původním vzorku nejnižší naměřené hodnoty AOA. U odrůd AF Cesar a AF Lucius se od sebe statisticky významně odlišovaly varianty rozdílných vstupních vlhkostí, přičemž s vyšší vlhkostí byl pokles AOA silnější. U linie KM 1057 se vzájemně významně lišily všechny varianty tak, že nejsilnější pokles byl zaznamenán v případě vlhkosti 20 % a teploty 130 °C. Zjištěné rozdíly mohou souviset s odlišnostmi v obsahu a složení látek s bioaktivními účinky, jak ukázal poslední výzkum polyfenolických látek, vitamínu E a jeho isomerů u těchto a dalších materiálů ječmene pro perspektivní potravinářské užití (Martínez a kol., 2018). Vliv vlhkosti a teploty na změny antioxidačních vlastností studovali ve vzorcích šrotu z pluchatých odrůd ječmene Sharma et al. (2012). Také tyto autoři pozorovali se zvyšující se vlhkostí a teplotou rozdílnou míru poklesu hodnot látek s antioxidačními účinky, jako pokles obsahu celkových fenolických látek (o 8–29 %) i flavonoidů (o 13–27 %) a průkazný pokles antioxidační aktivity (AOA) zejména při vlhkosti 20 % a teplotě 150 °C (o 36–69 %). Zvýšená teplota navíc průkazně měnila barvu extrudátů a zvyšovala index tzv. neenzymatického hnědnutí (Maillardova reakce) až o 29 % (při teplotě okolo 180 °C).

Souhrn a závěr z dosažených výsledků

Využití technologického postupu extruze k výrobě produktů pro zdravou lidskou výživu se ukazuje jako vhodný postup

zpracování ječného zrna, zejména s vysokým obsahem rozpustné vlákniny potravy, v podobě (1→3),(1→4) β-D-glukanů. Příprava i zpracování výchozí suroviny je v případě použití odrůd a bezpluchým zrnem efektivní a nevyžaduje vysoké provozní náklady. V průběhu extruzního postupu dochází ke změnám jak v obsahu, tak i struktuře významných živin a dalších složek zrna. Z výsledků dosažených v tomto pokusu i na základě údajů zahraničních autorů je zřejmé, že vhodným nastavením parametrů extrudéru lze do určité míry měnit požadované fyzikální nebo chemické ukazatele a vlastnosti extrudátů. Ukazuje se, že z pohledu požadavků zachování co nejvyššího obsahu látek s bioaktivními účinky je zapotřebí volit nižší vstupní vlhkost suroviny a nižší teplotu před maticí. Výsledky potvrdily, že obsah požadované rozpustné vlákniny potravy, reprezentované (1→3),(1→4) β-D-glukany se ve většině případů nesnižoval a naopak u některých genotypů a jednotlivých variant pokusu bylo dokonce pozorováno zvýšení v porovnání s nativními vzorky. Zajímavé výsledky byly získány při hodnocení materiálů ječmene s nižší původní hladinou BG, jakým byla v našem pokusu linie KM 1057. Zvýšený obsah BG, který dosahoval hodnot porovnatelných se zdroji zvýšeného obsahu tohoto polysacharidu (například s odrůdou AF Cesar) a současně nejmenší pokles antioxidační aktivity po provedené extruzi zasluhují další podrobnější výzkum, který by pomohl vyjasnit, jaké jsou skutečné biologické účinky takto zpracovaných obilnin.

/Recenzováno/

Přehled použité literatury je k dispozici u autorů tohoto příspěvku

Dedikace

Finanční podpora pro vypracování tohoto příspěvku byla poskytnuta TAČR (projekt CK TAČR, TE02000177) a MZe ČR (institucionální podpora na dlouhodobý rozvoj VO, rozhodnutí č. RO1117).