Extruzní proces v cereální a cukrovinkářské technologii

EXTRUSION PROCESS IN CEREAL AND CONFECTIONERY TECHNOLOGIES

Evžen Šárka, Jana Čopíková, Petra Smrčková – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav sacharidů a cereálií

Extruzní technologie je kontinuální, energeticky efektivní, prakticky bezodpadový a snadno řiditelný postup sloužící k úpravě fyzikálních vlastností potravin, především jejich textury a chuti. Pomocí jednoho zařízení lze dosáhnout kombinace celé řady jednotkových operací jako jsou např. hnětení, smykové namáhání, míchání, zvlhčování (hydratace), spékání (aglomerace), stlačování, desintegrace a tvarování (formování). Potravinářská surovina je stlačována v těle extrudéru pomocí otáčivé šnekovnice při řízené sekvenci teplot a pak je protlačována dýzou na konci zařízení.

Významným parametrem při extruzi je teplota. Podle jejích hodnot se extruze rozlišuje na studenou, horkou a na extruzi při níž probíhá plastifikace-mazovatění. Jejich aplikační možnosti ukazuje tab. I. Jak je zřejmé z tabulky, při výstupu z dýzy může při vyšších teplotách docházet k expanzi páry, což je v některých případech využíváno k vytvoření produktů s charakterem pevné pěny (obr. 1.).

Extruze se využívá např. v těchto oblastech potravinářství a krmivářství:
- v cukrovinkářském průmyslu,
- v cereálním průmyslu (2),
- při výrobě suchých sojových výrobků,
- při výrobě krmiv (3), masných a rybích extrudátů (4),
- k tepelné úpravě sojových bobů před lisováním (2),
- při chemické modifikaci škrobů (5) nebo jejich mírné hydrolýze (6), kdy extrudér pracuje jako chemický reaktor,
- k výrobě pufované zeleniny do instantních polévek (7),
- k následnému využití vedlejších produktů potravinářské technologie – např. řepných řízků (8) nebo B-škrobu (9,10) k výrobě bioplastů,
- při zpracování chmele (11).

Článek je věnován prvním dvěma uvedeným oblastem.

Extruze je doprovázena inaktivací přírodních enzymů obsažených v potravině, rozkladem některých přírodních toxinů, snížením obsahu mikroorganismů ve výrobku a ztrátou některých nutričních látek (např. lysinu, beta-karotenu) (12–14). Některé další nutriční efekty jsou uvedeny v následujícím textu.

Suroviny používané při extruzi

Základní skupiny surovin používaných pro extruzi jsou (11):
- látky vytvářející strukturu: mouky, škroby, proteiny (základní složka),
- látky vytvářející disperzní fázi v hlavní struktuře: proteiny, vláknina (plniva),
- plastifikátory a maziva: voda, olej, emulgátory,
- látky ovlivňující chuť: sůl, cukr, koření, maltodextrin, slad, aromata,
- nukleační činidla ke zvýšení počtu bublin v extrudátech (jemnější textura): prášek do pečiva, křída, otruby,
- barviva a prekurzory barviv: sušené mléko, redukující cukry, proteiny, přírodní a syntetická barviva.

Proteiny se zpracovávají hlavně při výrobě sojových extrudátů nebo při tepelné modifikaci lepku. V průběhu procesu dochází k jejich denaturaci. Významnější složkou v cereálních, ale i cukrovinkářských výrobcích je škrob. Vhodnou modifikací (chemickou či z geneticky upravených rostlin) lze uzpůsobit funkční vlastnosti tohoto biopolymeru, např. viskozitu (15) nebo teplotu mazovatění. Škroby z amylokukuřice (11) nebo vysoce zesítěné škroby (16) mají vyšší teplotu mazovatění než škroby nativní, takže tyto látky mohou projít procesem nezmazovatělé, tedy ve formě škrobových zrn. Hrají pak roli plniva, podobně jako proteiny, a snižují tak viskozitu disperze (18, 19) v extrudéru.

Tab. I. Obvyklé parametry extruze, zpracováno podle (1)

	Studená extruze	Extruze doprovázená mazovatěním škrobu – plastifikací	Horká extruze
Rozsah teplot	40–90 °C	70–120 °C	120–180 °C
Rozsah tlaků	30–90 bar	60–130 bar	55–250 bar
Vlhkost	30–40 %	20–35 %	10–25 %
Probíhající procesy	žádné nebo minimální mazovatění škrobu, nedochází k expanzi vlhkosti	částečné mazovatění škrobu, expanze po průchodu tryskou	plné zmazovatění škrobu,plná expanze
Použití	cukrovinky, nudle, těsto	produkty smažené na tuku, chipsy	zákusky, křupky, placky, modifikovaný škrob

Na druhé straně u voskových odrůd obilovin zůstává zachována frakce rezistentního škrobu, která odolává běžně používaným podmínkám zpracování potravin (17).

Částice vlákniny, pocházející obvykle z vnějších vrstev obilného zrna, si při procesu ponechávají původní tvar a velikost, ale mají zásadní vliv na tvar finálního produktu, na expanzi páry a na texturu výrobku, pokud převyšují obsah 2–3 % (20).

Pro extruzní proces je důležité pracovat se správnou, dostatečně velkou velikostí částic jednotlivých surovin.

Cukrovinkářské aplikace

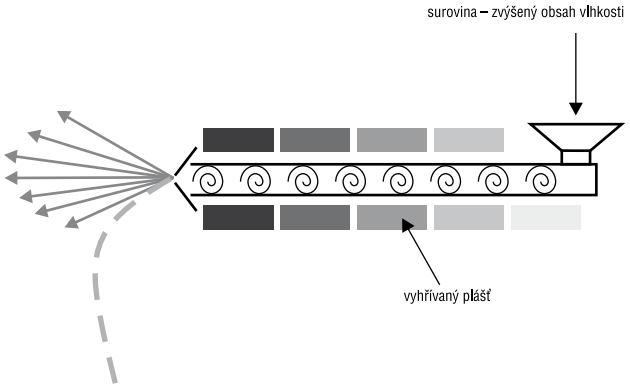
Metodou extruze se vyrábějí např. žvýkačky, lékořicové cukrovinky, karamely typu „toffee“ (21), kandyty, likérové cukrovinky, komprimáty, pasty, náplně (11), želé (21), extrudované ovocné dřeně a čokoláda (11). Složkami zpracovávané hmoty jsou škrobové sirupy, cukr, barviva, aromata a další přísady, v případě čokolády čokoládová hmota. Charakter hmoty po extruzi je nejčastěji gumovitý nebo sklovitý. Obvykle při procesu nedochází k expanzi páry po průchodu dýzou.

U *žvýkaček* se využívá enkapsulace aromatických látek v povrchově aktivní gumové fázi, tyto látky jsou při konzumaci postupně uvolňovány. Extruzní proces začíná při 70 °C, poté následuje intenzivní hnětení při 48 °C a 20 bar. Předností extruze je lepší rozdělení aromatických látek, lepší a trvalejší chuťový vjem, větší elasticita žvýkačky, menší lepivost, ale i provozní efekty – vyšší výtěžnost provozu, delší životnost zařízení, úspora energie a zkrácení pasivních fází procesu. Rezistentní aromatické látky jsou dávkovány již na vstupu do extrudéru, aby byla dosažena efektivní dispergace, aby došlo k důkladnému spojení hmot a aby výrobek působil dlouhotrvající chuťový vjem (11).

Při výrobě *lékořicových cukrovinek* a *karamel typu „toffee“* se využívá kombinace extruzního vaření a extruzního tvarování. Ingredience – pro lékořicové cukrovinky mouka, melasa (22, 23), škrobový sirup, želatina a karborafin (24) – jsou smíchány v periodicky pracující míchané nádobě nebo jsou simultánně přidávány do vstupu extrudéru. Schéma uspořádání extruzního procesu (21) ukazuje obr. 2. Podle (11) se při extruzi lékořicové hmoty pracuje při 160 °C, 14 bar, následuje odplynění a postupné chlazení na 100 °C, při kterém se tlak zvyšuje z 6,5 bar na 28 bar.

Na obr. 3. je schéma výroby *kandytů* s využitím extruze (21), při které je dosahováno významné energetické úspory oproti klasické technologii. Podobným způsobem se vyrábějí i cukrovinky „hard toffee“. Oproti klasické technologii (24) odpadá složitý systém odpařování za zvýšeného a sníženého tlaku.

Obr. 1. Schéma extrudéru pracujícího s horkou extruzí

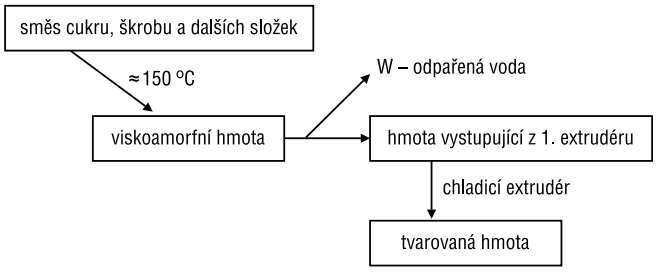


Při výrobě *komprimátů* jde o kontinuální výrobu premixu (11) granulí (compounding) v extrudéru s malým množstvím vody před dávkováním do lisu, přičemž vakuová komora umožňuje snížit obsah vlhkosti až na 0,1 %. Lze využit přitom i enkapsulaci (která snižuje ztráty aromat a barviv při procesu); proces extruze umožňuje zajistit přesný přídavek malého množství aditiv při dosažení jednotného produktu (homogenity).

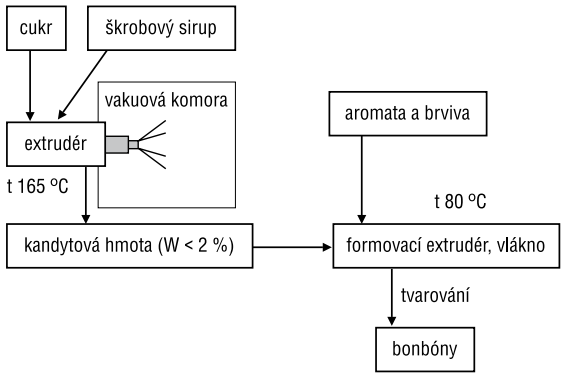
Při výrobě *náplní, past* apod. se požaduje kvalitní emulgace pevné a kapalné fáze, přičemž při rychlém ochlazení dojde ke vzniku velkého počtu malých krystalů. Používá se varný extrudér, ve kterém jsou odpařeny koncentrované roztoky, jehož součástí jsou vstřikovací otvory na přídavek tekutých tuků, roztoků horké želatiny, glycerolu nebo sorbitolu. Výhodou oproti klasické technologii je to, že nevznikají obvyklé škraloupy na povrchu účinkem škrobu, a to, že krátká doba zdržení v extrudéru zamezuje reakcím hnědnutí a inverzi sacharosy.

Čokoládu lze kontinuálně vyrábět několikastupňovou dvojšnekovou extruzí (11), při významné úspoře konšovacího času. Vstupní extrudér pracuje s vysokými otáčkami v souběžném uspořádání šnekovnic, je umožněno vstřikování vody na vstupu. Střižné síly, teplota a tlak mají pasterizační účinky a způsobují rozložení enzymů způsobujících zmýdelňování tuků. Ve druhém extrudéru probíhá míchání čokoládové hmoty s jemně krystalickým cukrem, sušeným mlékem a dalšími přísadami, šnekovnice otáčející se asi 250 min^{-1} jsou rovněž souběžně uspořádány, a jsou relativně dlouhé (35× průměr). Ve třetím extrudéru dochází k mechanickému zpracování a k ohřevu provzdušněné rafinované práškové hmoty s cílem dosažení tekuté hmoty (náhrada konšování), pracuje se s nižší viskozitou, teplota je udržována pod 60 °C, aromata jsou přidávána v poslední zóně.

Obr. 2. Příklad možného uspořádání technologie lékořicových cukrovinek



Obr. 3. Uspořádání technologie kandytů



Produkce zdobicích vláken čokolády, např. ve formě spirál, se provádí pomocí studené extruze pod bodem tání kakaového másla, tj. do 28 °C (25).

Cereální technologie

Příkladem cereálních výrobků vyráběných extruzí je knäckebrot, kukuřičné cereálie (11) (např. kukuřičné lupínky, kuličky („corn balls"), křupky, trubičky a pelety). Výrobky z kukuřičné krupice jsou vhodné pro nemocné celiakií (26). Extruze se rovněž využívá při výrobě tortil (27). Výrobky mohou být obohacovány dalšími nutričně zajímavými látkami, mezi které patří např. materiály obsahující β-glukany (28) nebo mouka z čínských sladkých brambor (29).

Při technologickém zpracování se přivádí obilná krupice v suchém nebo mírně navlhčeném stavu do extrudéru, kde dochází za vysoké teploty k plastifikaci a při následném vytlačování dýzou dochází k expanzi vody.

Základními složkami vstupní suroviny jsou vybrané cereální šroty, někdy obohacované škrobem, dále sůl, voda a další přísady jako např. koření. Textura výrobku má charakter pevné pěny, jejíž nosnou kostrou je vláknina a plastifikace je realizována zmazovatělým škrobem. Takto tepelně modifikovaný škrob je tráven rychleji, i když se neliší energetickou (kalorickou) hodnotou od nativních škrobů (s výjimkou rezistentních škrobů). Některé využívané cereální škroby, konkrétně z pšenice, ječmene, žita a tritikale, mají ve srovnání s hlízovými škroby dva typy škrobových zrn – větší zrna, označovaná též jako A-škrob, a menší zrna B-škrobu (31). Zrna A a B-frakce pšeničného škrobu mají rozdílné chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti (32). Proto také vykazují i rozdílné chování při extruzi (33).

Po extruzi je indikován v extrudátu v porovnání se vstupní surovinou vyšší obsah rozpustné vlákniny, naproti tomu obsah nerozpustné vlákniny po procesu výrazně klesá (30).

Při výrobě *knäckebrotu* extruzí (2) se zpracovává pšeničná mouka, sušené mléko, kukuřičný škrob, cukr a voda. Pracuje se při ní při vysokých teplotách a tlacích, např. Frame (11) uvádí až 120–140 °C a až 78–83 bar. Po vytlačení meziproduktu následuje dopečení, při kterém se sníží obsah vlhkosti a docílí se hnědé zabarvení, které doprovází příjemná chuť. V porovnání s klasickou technologií se dosahuje 66% úspory energie a 60% úspory investičních nákladů (menší požadavek na zastavěnou plochu a prostor – není potřeba velká pec).

Kukuřičné extrudáty obsahují kromě vlákniny především zmazovatělý škrob, který je snadno stravitelný. Často jsou různě tvarované extrudáty ještě následně pečeny nebo smaženy a potahovány různými směsmi obsahujícími např. sýr, čokoládu, koření apod.

Tradičním extrudovaným výrobkem jsou *kukuřičné lupínky*, které se využívají jako tzv. přesnídávkové (snídaňové) cereálie. Klasická technologie vyžadujíce dobu výroby asi 5 hodin a použití velkých částic kukuřičného šrotu, neboť ty určují velkost finálního kukuřičného lupínku.

Výhody extruzní technologie jsou následující (34, 35):

– snížení materiálových nákladů (19,4 %), neboť může být použit šrot o libovolné velikosti částic, snížení spotřeby energie, snížení investičních (44 %) a mzdových nákladů (14,8 %),
– najetí výroby lupínků během několika minut,
– řízení kvality finálního produktu v úzkém rozmezí parametrů (rozměry, kvalita),
– flexibilita – snadná změna produktové specifikace,
– zrychlení (zkrácení doby zdržení) v technologii oproti klasické.

Extrudované škroby nebo mouky mohou zlepšovat funkční vlastnosti při potravinářských aplikacích, zvláště u instantních potravin, protože přeměny škrobu (mazovatění, plastifikace a částečná degradace) mají přímý vliv na texturu finálního produktu (36).

Kromě klasických aplikací cereální extruzní technologie byly navrženy i některé netradiční – např. využití obilných klíčků jako fortifikující nutriční složky chleba. Protože klíčky jsou velmi citlivé na mikrobiální napadení a žluknutí, jsou zpracovány pomocí extruze s maximální teplotou 180 °C při krátké době zdržení (37).

Z nutričního hlediska je zajímavým typem škrobu tzv. *pomalu stravitelný škrob* (slowly digestible starch – SDS), který je tráven v tenkém střevu za dobu 20 až 120 min (38). Jeho předností je pomalý nárůst postprandiální hladiny glukosy v krvi, přičemž její hladinu udržuje na konstantní úrovni oproti rychle stravitelnému škrobu s vysokým maximem a rychlým poklesem. Pozitivní důsledky SDS se projevují ve fyzické a duševní výkonnosti organismu, v pocitu sytosti a umožňují řízení diabetu (39). U cereálních výrobků má vliv na tvorbu SDS stupeň zmazovatění, který závisí na obsahu vlhkosti, době a teplotě procesu. Např. u sušenek s velmi nízkým obsahem vlhkosti je stupeň zmazovatění snížen, takže škrob obsahuje jak zmazovatělý škrob, tak i nedotčená škrobová zrna, což má za důsledek vyšší obsah SDS v porovnání s běžnými pekařskými výrobky (40). Vytvořit správné složení směsi obsahující otruby s nízkým obsahem vlhkosti lze dosáhnout právě pomocí extruze (41).

Extruze s cílem vyrobit *rezistentní škrob* nebo *SDS* z nativního škrobu vyžaduje obvykle extruzní zpracování při teplotách pod 100 °C při dostatečném tlaku. Dochází k vytvoření průhledného, tvrdého, křehkého a amorfního materiálu (42). Další možností je kombinace mechanického a tepelného namáhání při extruzi společně s průběhem vhodné chemické reakce.

Rezistentní škrob se využívá jako přídatná látka do potravin s cílem zvýšit jejich nutriční hodnotu (43).

Konstrukční uspořádání extrudéru

Při návrhu extrudéru pro danou technologii je třeba zvažovat celou řadu konstrukčních prvků zařízení. Patří sem např. profil šnekovnic a jejich uspořádání, systém dávkování surovin vč. objemových čerpadel, případné odsávání plynů či páry z těla extrudéru, průměr a tvar výstupní trysky, konstrukce a otáčky odřezávacího nože ad. V případě cukrovinkářských technologií je obvykle extrudér dodáván jako součást celé technologické linky.

Jednošnekové extrudéry mají nižší investiční a provozní náklady, nevyžadují zvlášť kvalifikovanou obsluhu a nároky na údržbu jsou menší v porovnání s dvojšnekovými. Využívají se k jednoduchému tepelnému zpracování a k formování, pokud není nutná flexibilita dvojšnekového zařízení.

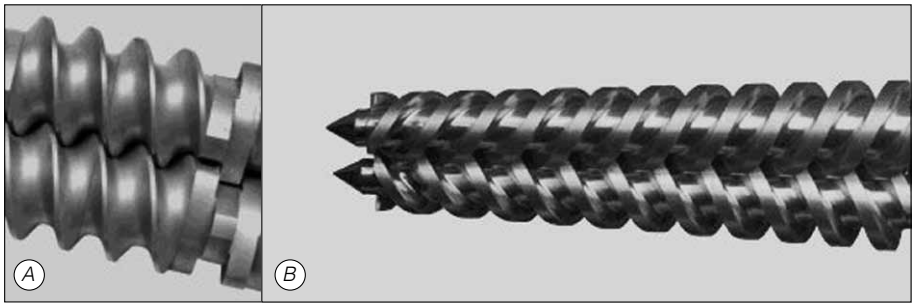
Dvojšnekové extrudéry se rozdělují podle směru otáčení šnekovnic a způsobu jejich dotyku. *Souběžně uspořádané* šnekovnice (obr. 4A.), které jsou samostírací, jsou nejběžněji rozšířené v potravinářským aplikacích (2). Výhodou zařízení je lepší zajištění míchání oproti jednošnekovému extrudéru, neboť zabraňuje možnosti otáčení materiálu současně se šnekovnicí (tzv. cylindrický efekt). *Protiběžné* uspořádání (obr. 4B.) rovněž

omezuje cylindrický efekt a dále umožňuje objemové dávkování složek (pro méně viskózní systémy), míchání není tak efektivní, ale lze dosáhnout vyšších tlaků. Systém umožňuje odsávání par a těkavých látek, protože pouzdro šnekovnic není nahoře zaplněno (11).

Např. lékořicové cukrovinky mohou být vyráběny buď pomocí *jednošnekového nebo dvojšnekového* extrudéru s *protiběžným uspořádáním* (11), přičemž výhodou druhého uspořádání je vytvoření hmoty, která vykazuje menší lepivost, a dává možnost dávkovat želatinu v chladicím stupni. Podobně se dvoušnekový extrudér využívá i při výrobě kandytů (13).

Při cereálních aplikacích se z ekonomických důvodů dává většinou přednost jednošnekové extruzi, v případě knäckebrotu se uvádí i *souběžné* uspořádání dvojšnekové extruze.

Obr. 4. Souběžné (A) a protiběžné (B) uspořádání dvojšnekového extrudéru



Článek byl zpracován v rámci řešení projektu výzkumu a vývoje MZe QJ1310219 „Pšenice se specifickým složením a vlastnostmi škrobu pro potravinářské a průmyslové účely."

Souhrn

Extruze je perspektivním chemicko-inženýrským procesem, který umožňuje efektivně měnit vlastnosti potravin – zvláště senzorické a texturní. Lze ji využít i k úpravě nutričních vlastností – např. k získání pomalu stravitelného nebo rezistentního škrobu. Na uvedených příkladech jsou dokumentovány možnosti využití tohoto procesu v cereální technologii a při výrobě cukrovinek. Jednotlivé aplikace vyžadují zvláštní pozornost nejen co se týče výběru surovin a nastavení parametrů extruze, ale i vhodné konstrukce extrudéru.

Klíčová slova: extruze, extrudér, pomalu stravitelný škrob, rezistentní škrob, chemická modifikace škrobu, výroba cukrovinek, cereální technologie.

Literatura

1. *Extrudertechnologie from the company Brabender® for the food sector "Single screw Extruder".* Firemní literatura Brabender, 2011.
2. Fellows, P. J.: *Food Processing Technology - Principles and Praktice.* 2nd ed., Boca Raton, Boston, New York, Washington, Cambridge: Woodhead Publishing – CRC Press, 2000, 575 s., ISBN 0-8493-0887-9.
3. Chang, Y. K.; Wang, S. S.: *Advances in Extrusion Technology. Aquaculture/Animal Feeds and Foods.* Lancaster-Basel: Technomic Publishing Co. Inc., 1998, 422 s., ISBN 1-56676-717-2.
4. Knight, M. K.; Choo, B. K.; Wood, J. M.: Applying the surimi process to red meats and poultry. In Turner, A. (ed.): *Food Technology International Europe.* London: Sterling Publications International, 1991, s. 147–149.
5. Landerito, N. A.; Wang, Y. J.: Preparation and properties of starch phosphates using waxy, common, and high-amylose corn starches. II. Reactive extrusion method. *Cereal Chem.*, 82, 2005 (3), s. 271–276.
6. Van der Veen, M. E. et al.: Starch hydrolysis under low water conditions: A conceptual process design. *J. Food Eng.*, 75, 2006 (2), s. 178–186.
7. Příhoda, J.: Extruze. In Kadlec, P. et al.: *Procesy potravinářských a biochemických výrob.* (Skriptum.) Praha: VŠCHT, 2003, 308 s., ISBN 80-7080-527-7.
8. Galicia-Garcia, T. et al.: Films of native and modified starch reinforced with fiber: Influence of some extrusion variables using response surface methodology. *J. Appl. Polymer Sci.*, 126, 2012 (S1), E326-E335.
9. Šárka, E. et al.: Extrusion processing of a new biodegradable composite. In *Proc. 8th Int. Conference on Polysaccharides-Glycoscience*: Praha, 2012, s. 147–150.
10. Šárka, E. et al.: Composites containing acetylated wheat B-starch for agriculture applications. *Plant Soil Environ.,* 58, 2012 (8), s. 354–359.
11. Frame, N. D.: *The Technology of Extrusion Cooking.* London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Blackie Academic Professional, 1995, 253 s., ISBN 0-7514-0090-4.
12. Beaufrand, M. J.; et al.: Effect of the extrusion process on the availability of proteins. *Ann. Nutr. Aliment.*, 32, 1978 (2–3), s. 353–364.
13. Guy, R. et al.: *Extrusion cooking. Technologies and applications.* Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001, 206 s., ISBN 0-8493-1207-8.
14. Riaz, M. N.: *Extruders in Food Applications.* Boca Raton: CRC Press, 2000, 240 s., ISBN 1-56676-779-2.
15. Pichler, A.; Pozderović, A.; Pavlović, J.: Influence of sugars, modified starches, and hydrocolloids additions on the rheological properties of raspberry cream filling. *Czech J. Food Sci.*, 30, 2012 (3), s. 227–235.
16. Daniel, J. R.; Whistler, R. L.; Röper, H.: Starch. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.* Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., elektronická verze, 2002, [online] http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a25_001/abstract.
17. Faraj, A.; Vasanthan, T.; Hoover, R.: The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Res. Int.*, 37, 2004 (5), s. 517–525.
18. Jane, J. et al.: Effects of amylopectin branch chain-length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.*, 52, 1999 (5), s. 629–637.
19. Song, Y.; Jane, J.: Characterization of barley starches from waxy, normal and high amylose varieties. *Carbohydr. Polym.*, 41, 2000 (4) s. 365–377.
20. Gay, R. C. E.: The role of wheat bran in extrusion cooking. *Extrusion Communique* 5, 1992 (2) supplement, s. 10–11.
21. Huber, G.: New extrusion technology for confectionery products. *The Manuf. Confectioner*, 64, 1984 (5), s. 51–52, 54.
22. Šárka, E. et al.: Beet molasses – desugarization, composition, properties and application possibilities. *Zuckerind.* 138, 2013 (2), s. 105–114.
23. Šárka, E.: Vedlejší produkty cukrovarnického a škrobárenského průmyslu – vznik, využití a optimalizace parametrů. *Listy cukrov. řepař.*, 128, 2012 (9–10), s. 307–312.
24. Čopíková, J.: *Technologie čokolády a cukrovinek.* /Skriptum./ Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999, 168 s., ISBN 80-7080-365-7.
25. Chen, Y. W.; Mackley, M. R.: Flexible chocolate. *Soft Matter*, 2, 2006 (4), s. 304–309.

26. Hrušková, M.: Technologie trvanlivého pečiva a snach výrobků. In Kadlec, P. et al.: *Technologie potravin. Přehled tradičních potravinářských výrob.* Ostrava: KEY Publishing s. r. o., 2012, 570 s., ISBN 978-80-7418-145-0.
27. Rendón-Villalobos, R. et al.: Formulation, physicochemical, nutritional and sensorial evaluation of corn tortillas supplemented with chía seed (*Salvia hispanica* L.). *Czech J. Food Sci.*, 30, 2012 (2), s. 118–125.
28. Brennan, M. A. et al.: Integration of beta-glucan fibre rich fractions from barley and mushrooms to form healthy extruded snacks. *Plant Foods Human Nutr.* 68, 2013 (1), s. 78–82.
29. Chiu, H. W. et al.: Effect of extrusion processing on antioxidant activities of corn extrudates fortified with various Chinese yams (*Dioscorea* sp.). *Food Bioprocess Technol.* 5, 2012 (6), s. 2462–2473.
30. Sluková, M. et al.: Dietary fibre content and effect of cereal processing technology. In *Proc. 7th Int. Conference on Polysaccharides-Glycoscience*: Praha, 2011, s. 62–66.
31. Šárka, E.; Bubník, Z.: Morfologie, chemická struktura, vlastnosti a možnost využití pšeničného B-škrobu. *Chem. listy*, 104, 2010 (5), s. 318–325.
32. Bohačenko, I.: Distribuce velikosti škrobových zrn pšeničných škrobů průmyslově vyráběných v České republice. *Listy cukrov. řepař.*, 127, 2011 (5–6), s. 197–200.
33. Chiotelli, E.; Le Meste, M.: Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behavior of starch. *Cereal Chem.*, 79, 2002 (2), s. 286–293.
34. Darrington, H.: A long-running cereal. *Food Manuf.*, 62, 1987 (3), s. 47–48.
35. Slater, G.: Application of extrusion to the production of breakfast cereals. *Food. Trade Rev.*, 54, 1984 (March), s. 127–128, 131–132.
36. Zeng, J. et al.: Extruded corn flour changed the functionality behaviour of blends. *Czech J. Food Sci.*, 29, 2011 (5), s. 520–527.
37. Gomez, M.; Gonzalez, J.; Oliete, B.: Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food Bioproc. Technol.*, 5, 2012 (6), s. 2409–2418.
38. Englyst, H. N.; Hudson, G. J.: The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chem.*, 57, 1996 (1), s. 15–21.
39. Lehmann, U.; Robin, F.: Slowly digestible starch – its structure and health implications: a review. *Trends in Food Sci. & Technol.*, 18, 2007 (7), s. 346–355.
40. Englyst, K. N. et al.: Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *British J. of Nutrition*, 89, 2003 (3), s. 329–339.
41. Reyes-Perez, F. et al.: Estimated glycemic index and dietary fiber content of cookies elaborated with extruded wheat bran. *Plant Foods Human Nutr.*, 68, 2013 (1), s. 52–56.
42. Rein H.: Starch extrusion as a new production method for slow-release preparations. *Pharm. Ind.*, 65, 2003 (1), s. 69–75.
43. Shrestha, A. K. et al.: Enzyme resistance and structural organization in extruded high amylose maize starch. *Carb. Polym.*, 80, 2010 (3), s. 699–710.

Šárka E., Čopíková P., Smrčková P.: Extrusion Process in Cereal and Confectionery Technologies

Extrusion is a promissing chemical-engineering process that allows effective modification of food properties – especially sensory and textural ones. It can also be used for adjusting the nutritional properties – e.g. to create slowly digestible or resistant starch. The presented examples show the ability to exploit this process in cereal technology and in confectionery manufacture. Every application requires paying attention not only to the selection of raw materials and extrusion parameters, but also to the suitable design of the extruder.

Key words: extrusion, extruder, slowly digestible starch, resistant starch, chemical modification of starch, confectionary manufacture, cereal technology.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Evžen Šárka, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta potravinářské a biochemické technologie, Ústav sacharidů a cereálií, Technická 3, 166 28 Praha 6, e-mail: evzen.sarka@vscht.cz