

挤压加工与淀粉理化性质关系的研究进展

王盼^{1,2},汪丽萍¹,田晓红¹,吴卫国²,谭斌¹

(1. 国家粮食局科学研究院,北京 100037;2. 湖南农业大学,湖南长沙 410128)

摘要:挤压加工技术是一种重要的现代食品加工技术,已广泛应用于谷物食品加工中。许多研究表明挤压加工可以使谷物淀粉发生显著的理化变化,影响产品质量。在挤压过程中,不同的工艺参数会对淀粉的变化产生不同的影响。从淀粉组成、分子结构、颗粒特性、结晶特性、糊化特性和水化特性等方面综述了挤压加工对谷物淀粉理化性质影响的研究进展,以为谷物食品加工和淀粉改性应用提供依据。

关键词:挤压;淀粉;理化性质

中图分类号:TS 210.1 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2016)06-0013-05

Research progress on the influence of extrusion processing on the physicochemical properties of starch

WANG Pan^{1,2}, WANG Li-ping¹, TIAN Xiao-hong¹, WU Wei-guo², TAN Bin¹

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;

2. Hunan University of Commerce, Changsha Hunan 410128)

Abstract: Extrusion processing technology is one of an important modern food processing technology, it has been widely used in grain food processing. Many studies have shown that extrusion processing has brought significant physical and chemical changes in the cereal starch which affects the quality of products. The different parameters in extrusion process could produce different effects on the change of starch. The effects of extrusion processing on the physical and chemical properties of grain starch was reviewed from the aspects of starch composition, molecular structure, particle characteristics, crystallization characteristics, gelatinization properties and hydration characteristics, in order to provide an important basis for the processing of cereal food and the application of starch modification.

Key words: extrusion; starch; physicochemical properties

挤压加工技术是集混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化以及成型等过程为一体的高新技术,具有效益高、能耗低、无污染等特点,广泛应用于食品和饲料工业^[1]。食品挤压加工就是将食品物料经过粉碎、调湿和混合处理后,利用挤压机内的机械作用使其通过固定的模头,形成一定形状和组织的产品过程^[2]。

淀粉是人体及动物热量的主要来源,是食品与饲料工业的基础原料^[3]。淀粉一直是谷物食品加工中研究的主要对象,其最终产品的品质很大程度

上由加工中淀粉的结构和性质的变化决定^[4]。但是大多数的天然淀粉有着许多性质上的不足,在一定程度上限制了其在各领域的应用^[5],然而利用改性技术往往可使淀粉具有更优良的性质,能够更好的适应新技术操作要求^[6]。近年来,随着对挤压过程的深入了解和有效控制,挤压改性技术在食品加工中得到更为广泛的应用,不仅用于早餐谷物食品、休闲食品、糖果等挤压食品的生产,还用于食品原料的定向改性^[7],利用挤压技术对淀粉改性的应用研究也逐渐成为热点,这些研究多集中在挤压工艺、成分变化以及理化性质等方面。本文对最近几年来挤压技术对谷物淀粉改性方面的研究成果进行总结,以为挤压食品的发展提供理论参考,指导谷物食

收稿日期:2016-02-26

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(ZX1506)

作者简介:王盼,1991年出生,女,在读硕士。

通讯作者:谭斌,1972年出生,男,博士,研究员。

品的加工利用。

1 挤压对淀粉组成的影响

谷物的主要成分是淀粉,淀粉颗粒主要由直链淀粉和支链淀粉2种聚合物组成,研究表明淀粉的组成会影响谷物加工制品的损失率和口感等品质。韩永斌^[8]研究发现挤压处理后发芽糙米中淀粉含量下降了5.35%。张洁^[9]研究表明挤压加工后荞麦和玉米淀粉的直链淀粉含量有所增加。刘丽^[11]等人对碎米淀粉的研究也有相似结果。徐树来^[10]认为由于挤压过程中的高剪切作用使淀粉中的 α -1,6糖苷键断裂,从而使支链淀粉转化成直链淀粉。所以淀粉总含量的减少主要发生在其支链淀粉部分,一部分转化成了直链淀粉,还有一部分被降解成麦芽糊精等小分子物质,因此挤压后支链淀粉含量减少,淀粉的平均分子量也减小^[12]。汤坚和丁霄霖^[13]认为挤压过程中玉米淀粉的直链部分基本没有发生明显变化,而支链部分在其分子内部发生了较明显的裂解,发生裂解的主要原因是挤压施加于淀粉聚合物的剪应力,此裂解作用也使得挤压处理后的淀粉在较低温度下具有比较强的水溶性和吸水性,淀粉颗粒结构变得松散,原淀粉的理化性质发生较大变化^[14-15]。

2 挤压对淀粉分子结构的影响

淀粉分子结构的变化直接影响着淀粉特性。淀粉样品的GPC图谱呈双峰分布,大分子区(I区)通常被认为是淀粉的分支组成部分,即支链淀粉,小分子区(II区)主要是线性组分,即直链淀粉。

目前已有较多报道表明,挤压使支链淀粉分子发生较大程度的降解,而直链淀粉分子变化较小^[16]。Colonna P^[17]研究发现在挤压过程中木薯淀粉发生降解导致平均分子量下降,Diosady^[18]认为这主要是由剪切作用所致。Chiang^[19]表明,在挤压机内的高温和高剪切条件下,淀粉链被部分打断,发生降解现象,生成小分子寡糖。Gomez和Aguilera^[20]研究发现当物料水分含量小于20%时,在挤压过程中淀粉的降解是很明显的。Manisha Guha^[21]等对大米的挤压研究表明挤压导致支链分子部分的淀粉降解,且随着挤压作用程度的增加,淀粉降解程度也随

之增大,也使淀粉平均分子量降低,而直链淀粉的平均分子量随挤压温度的升高而增大,主要原因是由于挤压机内的高剪切和高温作用容易使高分子量部分的许多分支点断裂,断裂主要发生在1-6键的部位^[22],断链之后产生了新的直链分子链。高分子量的支链淀粉比直链淀粉更容易降解。

3 挤压对淀粉颗粒特性的影响

利用扫描电子显微镜观察淀粉颗粒的微观结构,分析淀粉颗粒的大小、形状及其结构变化,淀粉颗粒形貌的不同反映了淀粉许多性质上的差异,影响着淀粉质食品的加工品质和食用品质^[23]。张洁^[9]等人研究发现挤压加工使淀粉颗粒破碎,呈碎石块状,质地较为致密,较大程度地改变了淀粉颗粒的形貌和质地结构。刘丽^[11]等人发现外表规则、分布较松散的淀粉颗粒经过挤压后淀粉颗粒呈不规则、分布较紧密的类似鳞片形状,表面几乎不存在完整的淀粉颗粒。韩永斌^[8]等研究发现挤压膨化后的发芽糙米变为网状和多孔状的结构,其结构的变化赋予了产品更好的复水性和口感,还可提高原料的利用程度和易消化性。淀粉颗粒在挤压过程中还会产生一定程度的组织化,淀粉颗粒结构的变化有利于酶的进入^[10]。

4 挤压对淀粉结晶特性的影响

天然淀粉颗粒为部分结晶,淀粉颗粒由无定形区和结晶区组成,支链淀粉是形成结晶结构的主要结构,无定形区主要由直链淀粉构成^[24-26]。在挤压过程中淀粉处于低水分状态下的糊化过程,同时晶体结构会受到破坏,随温度和剪切力增大,淀粉结晶区被破坏而转变成无定形区,其结晶度会大大降低^[27]。刘丽^[11]等人通过X-射线衍射测定发现碎米淀粉经过挤压后其淀粉的特征峰明显被破坏并减少,结晶度明显降低,与白永亮^[5]等人对挤压改性香蕉淀粉的研究结果相同。以上研究结果表明挤压膨化促使晶体的有序化程度和结晶度明显降低,明显破坏了淀粉的结晶结构,这也表示了支链淀粉在挤压作用下发生了降解,其含量降低^[11]。由于淀粉的糊化能耗主要用于淀粉晶体的溶解、淀粉颗粒的膨胀以及直链淀粉从颗粒中的析出等^[28],所以结晶

度的减少可能导致与糊化过程相联系的糊化焓的降低,也有利于酶的水解作用^[24]。

5 挤压对淀粉糊化特性的影响

一般淀粉在含水体系热处理会发生糊化,糊化后的淀粉更容易被人体所消化吸收,所以淀粉糊化是淀粉类食品最常见且重要的处理过程,其糊化特性密切影响着其产品的加工品质和稳定性^[29]。白永亮^[5]等人发现挤压膨化使香蕉淀粉糊具有比较强的冷稳定性,并减弱了淀粉的凝沉性。张洁^[9]等人研究发现挤压处理明显降低了淀粉的起始糊化温度和峰值黏度,并使热稳定性和凝胶形成能力变差。刘丽^[11]等人的结论表明挤压加工显著改变了碎米淀粉的糊化特性,糊化参数值均明显降低,他们认为主要原因可能是结晶区和无定形区中分子链与链之间的束缚力发生了变化^[30],挤压加工导致淀粉结晶区所占比例的减少也可能促使相联系的糊化焓的降低,使各项糊化参数值降低^[24]。杨庭^[31]在研究挤压糙米粉理化性质时发现糙米经挤压后,最终粘度由 2 230cp 降低到 72 ~ 174cp 范围内,与 Redgwell^[32]的研究结论相一致。Masakuni Tako^[33]认为可能是由于挤压使淀粉分子破碎成片导致糊化粘度的下降。与韩永斌^[8]的结论不同,他的研究结论显示挤压后发芽糙米热浆黏度和最终黏度均有一定程度的上升。也有研究表明挤压糊化后的淀粉具有冷黏性,使淀粉凝胶化,此性质应用于面制品食品的制作上可促进食品的成型^[34-35]。

挤压过程中的高温、高压及高剪切力容易使淀粉分子间的氢键断裂,产生对糊化的催化作用^[36],且挤压糊化后的淀粉具有冷黏性^[4],所以挤压改性后的淀粉糊具有较强的冷稳定性,而热稳定性变差。由于挤压过程中淀粉的结晶区经过受热和剪切而发生了熔融^[37],所以淀粉糊化和熔融在挤压过程中都有发生^[38],还会有淀粉的降解^[39],这些反应均会对淀粉的吸水性、水溶性、糊粘度产生影响^[40],影响产品的膨化^[41]和质构品质,也会提高淀粉消化率和血糖指数^[42]。

6 挤压对淀粉糊化度的影响

谷物在挤出过程中完成生物聚合物相的转变,

即由固体颗粒状态转变成熔融状态,淀粉在熔融状态发生糊化。物料在挤压机内的熔融段停留时间越长,其糊化度就越高^[43]。赵学伟与魏益民^[44]研究挤压小米时发现低温下增强挤压的剪切作用会导致糊化度升高,增加物料的水分含量也可以提高糊化度,并且套筒温度对小米淀粉糊化度的影响要比物料水分的影响大。郇延军^[45]表示提高挤压温度和物料含水量会使淀粉的糊化度升高,提高螺杆转速会使淀粉糊化度降低,这是由于螺杆转速提高时,物料在挤压机腔体内熔融段停留时间减少而导致的。Lawton^[46]等人也有类似结论,即提高物料水分和套筒温度均可提高玉米淀粉糊化度。Chiang 和 Johnson^[20]研究发现物料在高含水量挤压后其糊化度较高,但加工温度对糊化度的影响比物料含水量的影响更大,螺杆转速的影响不显著。王宝石^[47]研究表明经挤压处理的玉米粉糊化度随挤压温度、物料含水量、螺杆转速的增加均呈先增加后降低的趋势。韩永斌^[8]发现挤压后发芽糙米的糊化度明显提高,这是由于挤压过程中的高温使淀粉在低水分含量的条件下发生糊化使糊化度大幅升高。研究表明淀粉糊化度受挤压过程中的物料含水量、加工温度、螺杆转速、喂料速度及其交互作用的影响,其中物料含水量和加工温度对淀粉糊化度的影响最显著,提高物料含水量和加工温度均有利于提高产品的糊化度^[48]。挤压产品的糊化度是淀粉糊化和降解综合作用的结果^[49]。

7 挤压对淀粉水化性质的影响

淀粉的水化特性反映淀粉的溶胀能力、持水能力以及淀粉颗粒内部的相互结合能力。张洁^[9]等研究发现挤压使淀粉产生预糊化现象,导致吸水膨胀能力降低,而淀粉的溶解度提高。刘丽^[11]研究发现挤压后碎米淀粉的溶解度明显升高,膨胀力明显降低,原碎米淀粉在 60 ~ 90 °C 之间的膨胀力随温度升高呈上升的趋势,而挤压后碎米淀粉的膨胀力在 60 ~ 70 °C 之间趋势明显上升,在 80 ~ 90 °C 又有下降趋势。这是由于淀粉在挤压机内的高压、高温和高剪切力共同作用下,淀粉颗粒中高分子的结构键断裂而产生低分子的产物^[50],支链淀粉组分降解成

直链淀粉和麦芽糊精等小分子物质^[12],使溶解性增加,淀粉糊化使持水能力下降,膨润力减少,当升至一定温度时,由于糊精化量增加,吸水膨胀力又有所下降^[51]。白永亮^[5]等人研究结果表明挤压膨化改性的淀粉在60~80℃之间的吸水率增长较明显,80℃后趋于平缓,挤压改性淀粉的溶解度也有较大的变化。朱永义^[50]等人发现糙米经挤压膨化后水溶性指数增大,而吸水性指数降低,韩永斌^[8]对发芽糙米的挤压研究表明挤压膨化使得吸水性和水溶性分别增大了1.28和0.78倍。杨庭^[31]有类似结论,挤压导致糙米粉的吸水率、膨润力和水溶性等水化特性指标较高,与Wang^[52]研究结果相同。挤压处理后淀粉的水溶性和吸水性变化主要与挤压过程的降解程度以及高分子淀粉链断裂后产生新分子链的性质有关。

8 挤压对淀粉冻融稳定性和透明度的影响

淀粉的冻融稳定性主要通过淀粉糊析水率来反映,析水率低则冻融稳定性好。淀粉糊的透光率反映了淀粉透明度,透光率高则透明度高^[53],透明度也反映淀粉与水结合能力的强弱^[29]。张洁^[9]等发现挤压处理后的淀粉糊经过4~5次的反复冻融后才有少量的水析出,淀粉糊析水率明显降低,淀粉糊的冻融稳定性显著增强,淀粉的凝胶结构也具有弹性和韧性并呈稳定的海绵状,然而挤压处理使荞麦的淀粉糊透明度下降,而明显升高了玉米和红薯的淀粉糊透明度。白永亮^[5]等发现挤压改性有利于香蕉淀粉糊透明度以及淀粉感官品质的改善,对冻融稳定性也有一定影响。挤压处理对于不同来源淀粉的透明度和冻融稳定性会产生不同的影响。

9 展望

淀粉是谷物的主要组成成分,淀粉在挤压加工过程中的物性变化及其调控直接影响最终产品的品质。目前,有关挤压技术对谷物中淀粉的影响研究还需进一步深入,尤其是在一些新兴的挤压加工食品如速食粥、重组米及健康休闲食品等的加工过程中,如何通过深入研究淀粉质原料中淀粉组分特性变化与挤压系统参数、挤压工艺参数及最终产品品质之间的关系,从而实现对挤压过程及产品特性的

有效调控是谷物挤压加工领域研究的新课题。

参考文献:

- [1]李镡. 糙米挤压膨化的研究[D]. 无锡:江南大学,2009:1-4.
- [2]张泽庆. 食品挤压技术[J]. 包装与食品机械,2007,25(6):13-18.
- [3]傅晓丽,王顺喜,龙曹. 不同因素对淀粉糊化特性的影响[J]. 饲料工业,2012,33(3):54-56.
- [4]曾洁,李新华,孙俊良. 玉米湿磨、乳酸菌发酵及挤压膨化处理后淀粉组成的变化[J]. 中国农业科学,2008,41(12):4352-4358.
- [5]白永亮,陈庆发,张全凯. 三种改性方法对青香蕉淀粉物化性质的影响[J]. 现代食品科技,2013,29(10):2453-2460.
- [6]王晓慧,李玲伊,非泽悟. 发酵对于淀粉理化性质及改性作用研究进展[J]. 中国食物与营养,2013,19(4):33-36.
- [7]赵学伟. 小米挤压加工特性研究[D]. 西安:西北农林科技大学食品学院,2006:5-6.
- [8]韩永斌,刘桂玲,史晓媛,等. 挤压膨化对发芽糙米理化性质的影响[J]. 中国粮油学报,2010,25(12):1-5.
- [9]张洁,张国权,罗勤贵. 挤压对荞麦淀粉及其混配淀粉理化特性的影响[J]. 淀粉工程技术,2011(11):97-101.
- [10]徐树来. 挤压加工对米糠主要营养成分影响的研究[J]. 中国粮油学报,2007,22(3):12-16.
- [11]刘丽,程建军,杨文鑫. 挤压处理对碎米结构及特性的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(1):92-96.
- [12]高福成. 现代食品工程高新技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,1997.
- [13]汤坚,丁霄霖. 玉米淀粉的挤压研究—淀粉在挤压过程中降解机理的研究(IIb)[J]. 无锡轻工业学院学报,1994,13(1):1-9.
- [14]汤坚,丁霄霖. 玉米淀粉的挤压研究—淀粉在挤压过程中降解机理的研究(IIa)[J]. 无锡轻工业学院学报,1992,11(2):95-103.
- [15]汤坚,丁霄霖. 玉米淀粉的挤出研究—淀粉聚合物的降解及其表征[J]. 无锡轻工业学院学报,1990,9(3):1-11.
- [16]Ozcan S, Jackson D S. Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures[J]. Cereal Chemistry,2005,82(2):223-227.
- [17]Colonna P. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion cooking with and without lipids[J]. Carbohydrate Polymers,1983,3(2):87-108.
- [18]Diosady L L, Paton D, Rosen N, et al. Degradation of wheat starch in a single-screw extruder mechanical kinetic breakdown of cooked starch[J]. Journal of Food Science,1985,50:1697-1702.
- [19]Chiang B Y, Johnson J A. Gelatinization of starch in extruded products[J]. Cereal Chem,1977,54(3):436-441.
- [20]Gomez M H, Aguilera J M. Changes in the starch fraction during ex-

- trusion cooking of corn[J]. *Food Sci*,1983,48:374 - 379.
- [21] Manisha Guha, S. Zakiuddin Ali. Molecular degradation of starch during extrusion cooking of rice[J]. *International Journal of Food Properties*,2002,5(3):509 - 521.
- [22] Davidson V. J.,Paton D.,Diosady L. L., et al. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers[J]. *Food Sci*,1984,49:453.
- [23] 洪雁,顾正彪. 淀粉及变性淀粉颗粒形貌结构的研究[J]. *食品与发酵工业*,2006,32(7):19 - 23.
- [24] 赵凯. 食品淀粉的结构、功能及应用[M]. 北京:中国轻工业出版社,2009:70 - 93.
- [25] Marc J E C, Vander Maarel, Bartvander Veen, Joost C M Uitdehaag. Properties and applications of starch - converting enzymes of the - amylase family[J]. *Journal of Biotechnology*,2002,94:137 - 155.
- [26] 胡丽华,柴松敏,刘建军,等. 淀粉颗粒结构体系[J]. *粮食与油脂*,2011(3):2.
- [27] 王亮,周惠明,钱海峰. 早餐谷物研究进展Ⅲ. 挤压过程中原料成分变化[J]. *粮食与油脂*,2005(8):11 - 15.
- [28] 赵思明,俞兰岑,熊善柏,等. 稻米支链淀粉的流变学特性[J]. *农业机械学报*,2003,34(2):58 - 60.
- [29] 马萌. 菱角粉的理化性质及应用研究[D]. 无锡:江南大学,2013.
- [30] Elessandra da Rosa Zavareze, Alvaro Renato Guerra Dias. Impact of heat - moisture treatment and annealing in starches: A review[J]. *Carbohydrate Polymers*,2011,83:317 - 328.
- [31] 杨庭,朱科学,谭斌,等. 挤压改性对糙米理化性质的影响[J]. *食品工业科技*,2014,35(24):96 - 103.
- [32] Redgwell R J, Curti D, Robin F, et al. Extrusion - induced changes to the chemical profile and viscosity generating properties of citrus fiber[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(15):8272 - 8279.
- [33] Masakuni Tako, Susumu Hizukuri. Gelatinization mechanism of potato starch[J]. *Carbohydrate Polymers*,2002,48:397 - 401.
- [34] 曾洁,李光磊,高海燕. 玉米粉—膨化玉米粉混合粉面团流变性质的研究[J]. *食品工业科技*,2010,31(9):101 - 106.
- [35] 李春红,孙树侠. 预糊化对玉米加工特性的影响[J]. *食品工业科技*,2001 增刊:233 - 236.
- [36] Wang S S, Chiang W C, Zheng X, et al. Application of an energy equivalent concept to study the kinetics of starch conversion during extrusion. In: Kokini J L, Ho C - T, Karwe M V. *Food extrusion science and technology* [M]. New York: Marcel Dekker. 1992: 165 - 176.
- [37] Hoover R. Composition molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review[J]. *Carbohydrate Polymers*,2001,5(3):253 - 267.
- [38] Wang S S, Chiang W C, Zhao B, et al. Experimental analysis and computer simulation of starch - water interactions during phase transition[J]. *Food Sci*,1991,56(1):121 - 124.
- [39] Wen L F, Rodis P, Wasserman B P. Starch fragmentation and protein insolubilization during twin - screw extrusion of corn meal[J]. *Cereal Chem*,1990,67:268 - 275.
- [40] Van Den Eijnde R M, Van Der Goot A J, Boom R M. Understanding molecular weight reduction of starch during heating - shearing process[J]. *Food Sci*,2003,68(8):2396 - 2404.
- [41] Cai W, Diosady L L, Rubin L J. Degradation of wheat starch in a twin - screw extruder[J]. *Food Eng*,1995,26:289 - 300.
- [42] Camire M E. Extrusion Cooking. In: Henry C J K & Chapman C. *The Nutrition Handbook for Food Processors* [M]. Boca Raton, FL: CRC Press, Woodhead Pub, 2002:315 - 329.
- [43] 郝彦玲,张守文. 黑米、薏米、荞麦混合挤压膨化工艺及机理的研究[J]. *中国食品学报*,2004,4(4):22 - 28.
- [44] 赵学伟,魏益民,张波. 挤压对小米淀粉理化特性的影响[J]. *食品工业科技*,2012,(6):185 - 188.
- [45] 郁延军. 蒸煮挤压过程中淀粉的变化[J]. *无锡轻工大学学报*,1997,16(4):45 - 47.
- [46] Lawton B T, Henderson G A, Derlakt A E J. The effect of extruder variables on gelatinization of cornstarch [J]. *Chem Eng*, 1972, 50(4):168 - 173.
- [47] 王宝石,庞海强,修琳. 双螺杆挤压蒸煮对普通玉米粉糊化度的影响[J]. *食品与发酵科技*,2012,48(2):13 - 15.
- [48] 魏益民,蒋长兴,张波. 挤压膨化工艺参数对产品质量影响概述[J]. *中国粮油学报*,2005(2):33 - 36.
- [49] 杜双奎,魏益民,张波. 挤压膨化过程中物料组分的变化分析[J]. *中国粮油学报*,2005,20(3):39 - 43.
- [50] 朱永义,赵仁勇,林利忠. 挤压膨化对糙米理化特性的影响[J]. *中国粮油学报*,2003,18(2):14 - 16.
- [51] Anastase Hagenimana, Xiaolin Ding, Tao Fang. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006,43:38 - 46.
- [52] Wang N, Warkentin T D. Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion[J]. *Food Research International*,2014,55:119 - 127.
- [53] 孙慧敏,马晓军. 木薯淀粉及木薯变性淀粉性质比较研究[J]. *食品工业科技*,2008,29(6):82 - 87. 