

挤压膨化加工对食品中营养成分的影响

张 敏, 李宏军, 高 忠 诚

(东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030)

中图分类号: TS201.2 文献标识码: B 文章编号: 1001-0009(2003)01-0063-02

挤压膨化技术是食品加工中的一项新技术。挤压与膨化是两种不同的加工过程: 挤压是一种强迫物料在不同状态、预定速度下通过一定形状的孔模, 从而改变物料的形态与内部构造形成改性的中间产品和终产品的过程。目前主要存在三种类型的挤压机: 活塞式、辊式和螺杆式; 而膨化是指物料具备了一定的能量, 在骤释至常态时产品朝着能量降低、混乱度增大的方向进行的一种过程。已经应用的膨化技术主要包括挤压膨化、气流膨化、微波膨化、油炸膨化等。现在较常使用的是将挤压与膨化工艺结合在一起的螺杆式挤压膨化设备。在宏观的热能和机械能的作用下, 实际上集连续的压挤、剪切、混合、蒸煮、物料塑性化为一体的加工方式。它最先用于生产塑料制品, 后来才有商业用玉米膨化机。从 20 世纪 80 年代开始, 挤压机作为一种生化反应器, 在我国得到了较高的重视, 在食品工业中的应用领域不断地拓展, 食品挤压技术已成为食品加工技术中最活跃和重要的组成部分。

通过实验分析, 食品物料在膨化机内主要经历固体输送、过渡态到溶胶态, 最后通过模头排除。在此过程中物料发生一系列物理变化、化学变化和生物变化等反应, 营养物质的分子变化与之相适应。本文就挤压膨化过程中食品营养成分的变化作一简单综述。

1 碳水化合物的变化

碳水化合物作为粮食作物的主要组成成分, 是目前挤压膨化中研究最多和较深入的一个领域。重点研究的碳水化合物包括淀粉、纤维及可溶性的糖。

1.1 淀粉

在挤压机中淀粉主要以未胶化的白色→凝胶化的无色半透明体形式变化, 从分子水平看, 实际是高分子结构键在升压、升温、剪切的作用下发生氢键断裂和分子内 1—4 糖苷键断裂(糊化作用), 生成低分子化合物。挤压膨化破坏了淀粉颗粒, 在宏观上是产品酥松, 体积增大; 在微观上使淀粉呈片状, 发生降解, 糊精和还原糖增加; 在化学性质上, 产物的还原能力增强, 碘蓝值升高, 即便在低温条件下制品的水溶性、吸水性也较强, 更易被人体所吸收。

一般认为淀粉在挤压过程中对产品具赋形作用, 原料挤

出后, 糊化淀粉分子相互交换, 形成网状空间结构, 该结构被迅速冷却, 闪蒸部分水分后定型, 成为膨化食品结构的骨架。实际上, 淀粉在挤压过程中的糊化过程是在低水分下发生的部分降解反应, 在此过程中, 水分和温度对膨化度影响最大。成映波认为在挤压过程中淀粉由无定型结构朝类似晶格结构方向发育, 而晶格形成好, 膨化效果才好。王彩云通过实验发现膨化淀粉的 α -淀粉稳定性高, 挤压法较其他膨化方法的 α 化程度高^[2]。Chinnaswing 指出支链淀粉分子在挤压过程中其降解显著性远大于直链淀粉。此外挤压降解淀粉聚合物是化学过程, 属化学降解初期。糊化降解过程占主导地位, 其次由氧桥连接的淀粉聚合物在机械的作用下发生降解。Colonna 曾先后指出淀粉降解反应具有不确定性, 淀粉降解发生在支链淀粉的机率高于直链淀粉, 类似于普鲁兰酶的作用。Whilster 认为, 直链淀粉纵使被降解聚合度也大于 2000, 支链淀粉的裂解在分子内部而不在外部。由此可见淀粉中直链淀粉含量越高, 产品的膨化度就越低。

此外, Dwova 认为淀粉粒结晶必须熔融, 由于挤压相互转换不同于一般糊化现象, 它是一个非平衡态过程, 糊化和熔融将同时进行。丁霄林、汤坚等人对挤压后淀粉特性及变化的分析, 指出淀粉聚合物被裂解的位置可能在糖苷键上^[3]。扬雪则拟合出淀粉流变性能数学模型^[4]。徐学明也提出了糊化动力学模型等^[1]。至于分子水平的淀粉降解机理如降解在淀粉分子发生的位置、不同来源的谷物淀粉降解差异等, 则是今后研究的焦点。

1.2 纤维

作为混合物的纤维包括可溶性的和不溶性的。有关纤维在挤压膨化后的含量变化, 由于挤压设备和原料不同, Björck (1984), Fornal (1987), Wang (1993) 等分别得到完全相悖的结论。但比较一致的结果是在挤压中可溶性膳食纤维的含量显著增加(达 3%)。这主要是由于高温、高压、高剪切的作用使纤维分子间化学键裂解, 导致分子的极性发生变化所致。金茂国通过豆渣在挤压前后的变化认为, 所增加的可溶性膳食纤维主要是从半纤维素和纤维素降解而来^[8]; 纤维素的降解比半纤维素的降解要难。通过对豆渣所作的 X-射线衍射图谱发现, 挤压对纤维素结晶性破坏不明显。此外纤维主要是影响挤压食品的膨化度, 纤维的含量越高, 产品的膨化度越低。不同食品原料中的纤维素对膨化度的影响也不尽相同。近年来膳食纤维作为一种功能性食品基料正风靡全球。挤压则可大幅度提高纤维原料中的可溶性膳食纤维, 并且改善它们的理化性质、生理功能和贮藏性能。相信应用挤压技术生产的纤维食品在不久将会面市。



第一作者简介: 张敏, 女, 1972 年生, 现任东北农业大学食品学院讲师, 博士生。主要从事农产品贮藏与加工方面的教学与科研工作。

收稿日期: 2002-10-18

1.3 可溶性糖

可溶性糖的变化主要是与含氮物质发生的美拉德反应, 影响产品的色泽与气味。此外徐学明认为可溶性糖的亲水性将调控物料的水分活度, 在挤压中可影响淀粉的糊化。而郑建仙认为可溶性碳水化合物在结构和稳定性中不起作用, 不溶性碳水化合物通过改变气泡的生长, 影响挤出物的微观结构。

2 蛋白质的变化

高温、高压、高剪切作用使蛋白质的分子结构发生伸展、重组, 分子表面的电荷重新分布, 分子间氢键、二硫键部分断裂, 导致蛋白质变性, 但蛋白质的消化率明显提高。在此过程中蛋白质还与其它化合物发生一些轻微的化学反应, 影响产品的最终品质。

蛋白质正常条件下在挤压机内剪切力场中, 沿物料流动方向成为线性结构。Harper 认为在此期间蛋白质三、四级结合力变弱, 由折叠状变为了直线状, 愿封闭在分子内的氨基酸残基, 可与还原糖、脂肪等反应。暴露在外的疏水基团则降低了蛋白质的溶解性。随蛋白质研究的深入, 认为淀粉在产品中的成型作用次于蛋白质, 蛋白质担负着分子重排和组织化形成的重要部分。此外挤压引起蛋白质生物效应的变化, 一方面由于挤压使某些消化抑制剂被破坏和膨化结构易于受酶作用, 此外挤压过程对蛋白质的部分降解使游离氨基酸含量升高, 制品中蛋白质的消化率增加。另一方面, 谷物中发生的美拉德反应, 使赖氨酸含量减少, 造成营养价值下降。Hurrell、Carpenter 认为蛋白质交联物的产生是美拉德反应的结果。Raice 利用 DSC 指示否定了蛋白质发生交联的可能性。Raice 则认为, 可溶性糖在挤压过程中不与蛋白质发生反应。金希仁则认为挤压膨化时, 粗蛋白不变, 但蛋白质以物理吸附包含在糊化的淀粉中使水溶性下降, 此时酶对它的作用与热处理过度, 以化学交联键合形成附聚的水溶性降低具有不同的机理。Harger 认为蛋白质的结构化、组织化是形成相对较少数目的化学键造成的, 而非二硫键、疏水键和氢键作用的结果。

3 脂肪的变化

脂肪对食品的质构重组、成型、口感影响较大。甘油三酯部分水解并与直链淀粉形成络合物, 不仅影响产品的膨化度, 还影响到淀粉的溶解性和消化率。油脂对蛋白质的相互作用取决于脂液滴在蛋白质中的分配情况、油脂数量、混合前蛋白质的受热程度等。当大豆中含有 0~15% 脂肪时蛋白质可产生组织化, 而含 20% 油分则不能组织化。Maga 则报道, 在挤压过程中不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸的比例受影响, 反式脂肪酸下降。Muys 也在挤压物中发现了反式不饱和和 F_A 异构体。

在挤压中 $T > 50^\circ\text{C}$ 时脂质进入淀粉螺旋结构内部, 形成不溶性淀粉和脂质双螺旋复合物, 这些复合物的形成, 使淀粉糊化度下降, 产品膨化率降低。Wirroua、何其镒证实, 100°C 以上随水分、温度的上升, 此脂肪复合体下降。Lnoy、B 证实温度与复合体生成量成正比。张力田发现只有直链淀粉参与脂肪络和物的形成。王彩云证实此淀粉脂质络和物属于单酰基脂类, 与直链淀粉以内涵复合体形式存在。对于原料存在的大量油脂, 由于淀粉糊化, 蛋白质变性产生了膨胀迅速, 破坏了细胞结构, 油脂被均匀扩散出来而易于提取。而淀粉脂

质络和物无法以一般乙醚溶解测定出来。金希仁认为, 淀粉与脂肪形成复合物中脂肪与淀粉的比例为 1:10。Bjorek、Morcier 认为这种化合物不影响酸性消化道的酸化, 反而可提高脂肪的稳定性。Bjorek、Mustake 等已证实, 随水分和挤压时间延长, 油脂稳定性有较大下降。Bao 发现挤压后油脂过氧化物值、共轭氧化产物等是挤压温度的函数, 同时认为挤压后脂肪稳定性的下降与金属含量增加有关。徐学明解释油脂稳定性时认为, 一方面 $T < 135^\circ\text{C}$ 时, 对脂肪氧化有促进作用; 另一方面, 在贮藏中脂肪酸含量明显下降, 使原料中脂氧酶、脂解酶钝化, 对提高油脂贮藏稳定性有利。chefre 也曾报道过挤压中由于脂酶和脂氧酶的失活, 对脂肪稳定性有增加作用。因此研究挤压对油脂的变化, 更应着重于研究湿热处理后对油脂在贮存间的变化的影响。

4 其它物质的变化

挤压中高温高压使食品中的呈味成分发生变化。部分香味物质随水蒸汽挥发而被闷蒸, 另一方面新风味物质的形成, 特别是食品中还原糖与含氮化合物发生的美拉德反应, 为挤压食品提供良好的风味。此外在保存过程中, 由于糊化淀粉和蛋白质的存在, 对香气又有一定的保护作用, 因此, Maga、Kim 认为高蛋白质原料会产生强风味的产品。

大多数维生素受热不稳定, 挤压处理一般对维生素影响较其他加工方法要小。Muelenaere 等分别对 VA 和 VC 在挤压后的保留作过实验。挤压过程中矿物质无大变化, 一般新聚合物的形成会降低矿物质的有效营养价值, 但淀粉糊化对矿物盐的包被作用, 又使其得到改善。

参考文献

- [1] 徐学明、谢正军、金征宇等. 挤压膨化过程中饲料营养成分的变化[J]. 营养研究, 1998, 19(12): 26.
- [2] 王彩云. 玉米膨化质构变化的研究[J]. 中国粮油学报, 1998, 13(3): 41.
- [3] 汤坚、丁霄林. 玉米淀粉的挤压研究 II a[J]. 无锡轻工业学院学报, 1992, 11(2): 95.
- [4] 郑建仙编译. 蛋白质在挤压蒸煮过程中的变化[J]. 食品与发酵工业, 1994(4): 78.
- [5] 扬雪. 单螺杆挤压蒸煮技术的发展现状[J]. 食品科学, 1997, 18(6): 45.
- [6] 金茂国、孙伟. 挤压对豆渣膳食纤维理化性质影响[J]. 粮食与饲料工业, 1996(11): (35).
- [7] 金茂国、孙伟. 用挤压法提高豆渣可溶性膳食纤维含量的研究[J]. 粮食与饲料工业, 1996(8): 35.
- [8] 王雪青、荣玉珊. 挤压热加工对食品营养成分的影响[J]. 食品研究与开发, 1995, 16(1): 37.
- [9] 金希仁、张宪国、姜山等. 干法挤压膨化对大豆品质的影响及作用机理[J]. 饲料工业, 1995, 16(4): 9.
- [10] Herman Rittner Conditioning of Oil-Bearing Materials of Solvent Extraction by Extrusion J. Am. Oil chem. Soc. 1984, 61(7): 1200.
- [11] Maurice A. Williams Extrusion Preparation for Oil Extraction INFORM, 1995, 6(3): 289.
- [12] S. K. Rao and W. E. Artz Effect of Extrusion on Lipid Oxidation J. Food. Sci. 1989, 54(6): 1580
- [13] E. W. Lusas and L. R. Watkins Extrusion for Solvent Extraction J. Am. Oil Chem. Soc. 1988, 65(7): 1109