

文章编号:1673-1689(2009)06-0733-08

## 双螺杆挤压技术在食品工业中的研究应用现状

杨涛, 辛建美, 徐青, 罗红宇\*

(浙江海洋学院 食品与药学学院, 浙江 舟山 316004)

**摘要:** 阐述了双螺杆挤压技术在组织化蛋白生产、膳食纤维加工、食品浸油、休闲即食食品、高蛋白谷物类食品,以及糖果加工中的研究应用现状,分析了双螺杆挤压加工对食品营养成分的影响,展望了双螺杆挤压加工技术在食品工业的应用前景。与单螺杆挤压技术相比,双螺杆挤压技术具有加工工艺多变性、产量高、产品质量稳定、原料适用性广等突出的优点。

**关键词:** 双螺杆挤压技术;食品加工;营养成分

中图分类号:TS 203

文献标识码:A

### The Research Application Status of in Food Industry

YANG Tao, XIN Jian-mei, XU Qing, LUO Hong-yu\*

(College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316004, China)

**Abstract:** Food extrusion technology is a growing interesting research area and exhibit a hot of advantages in various processing technology, high yield, stable quality of product, extensive applicability of the raw material, when compared with that of the single-screw extrusion technology. This manuscript reviewed the application of twin-screw extrusion technology on the textured protein production, dietary fiber processing, immersion oil of food, instant food, high-protein grain food and candy processing, and the effects of twin-screw extruder on food nutrient composition. Also, the perspective of twin-screw extrusion technology in food industry was provided in this manuscript.

**Key words:** Twin-screw extrusion technology, food processing, nutrient composition

双螺杆挤压技术近几年发展迅速。研究表明,与单螺杆挤出技术相比,双螺杆挤出技术具有无法比拟的优越性能,如物料能充分、彻底混合揉捏,并且在双螺杆挤出机运转时,由于双螺杆互相啮合而具有自行擦净的功能,避免了单螺杆挤出机经常出现的螺杆堵塞的物料在套筒表面产生结焦的现象<sup>[1]</sup>。同时双螺杆挤压技术还具有广泛的原料适应性这一显著优点,解决了单螺杆挤压机无法处理高

水分和高脂肪物料这一瓶颈。双螺杆挤出机因其具有突出的高效工作性能,受到了食品行业的广泛重视。作者根据收集的相关文献,对双螺杆挤压机在食品工业中的应用、双螺杆挤压加工对食品中营养成分的影响、双螺杆挤压技术的发展前景等进行综合的分析和论述,期望有益于我国双螺杆食品挤压蒸煮的研究与发展。

收稿日期:2008-11-26

基金项目:浙江省科技厅优先主题项目(2007C13044);浙江省新苗人才计划项目(2008R40G2110029)。

\* 通讯作者:罗红宇(1968-),女,四川自贡人,教授,主要从事海洋生物资源开发与利用。Email:lisa8919@163.com

## 1 双螺杆挤压机在食品工业的应用

### 1.1 在组织化蛋白质生产上的应用

在高温高压条件下,植物蛋白质可发生组织化。植物蛋白质在双螺杆挤压机螺槽与筒壁之间剪切力的作用下,蛋白质被强烈展开,相对地呈现直线排列。展开后的分子链变得自由而能够重新定向和再组合,从而形成纤维状态。其纤维组织结构类似瘦肉,复水后有一定的弹性,有咀嚼感<sup>[2]</sup>。

Liu S X 等<sup>[3]</sup>将脱脂大豆粉和瘦猪肉混合,利用自洁型同向双螺杆挤压机进行新型人造肉的研制,在不同的操作变量和原料组分下,可以把脱脂大豆蛋白质和瘦肉的混合物生产成高水分人造肉。操作变量和原料组分(包括挤出机5个加热区域的温度设定、螺杆转速、吞吐量、水分含量、油分含量,以及猪肉质量分数)对产品感官质量测定的影响是确定的。在模具为矩形缝隙构造、机筒温度60~100~120~150~110℃、螺杆转速80 r/min、水分质量分数50%、瘦肉质量分数30%~50%、油分质量分数12%~16%的条件下,混合物挤压蒸煮可以达到最优感官质地,且有稳定的系统运行。

王洪武等<sup>[4]</sup>采用新型双螺杆食品挤压机,进行了挤压加工大豆组织蛋白质和工程肉制品(将动植物蛋白质有机地结合起来的一种膳食平衡的功能食品)的试验研究,获得了螺杆转速、含水量和温度对挤压过程和产品组织化质量的影响规律。研究表明:螺杆转速80~100 r/min,水分质量分数在38%~44%,大豆组织蛋白质的挤压组织化质量好;螺杆转速在60~80 r/min,水分质量分数在60%~65%,工程肉制品的挤压组织化质量好;优化的机筒和机头温度分布为:30~45~80~100~130~150~100℃。

魏益民等<sup>[5]</sup>以低温豆粕为原料,应用带冷却工艺的双螺杆挤压实验室工作站,开发出高水分组织化大豆蛋白质产品的生产工艺;分析了螺杆转速、物料湿度、喂料速度和机筒温度等操作参数对产品质构和色泽的影响规律;利用扫描电镜对高水分组织化大豆蛋白质产品的微观结构进行了观察和分析。结果表明:机筒温度在150℃左右时,产品具有较好的组织化度、色泽及口感;随着物料水分的增加,产品的组织化度、粘着性指数逐渐增加,而硬度和咀嚼度逐渐降低;随着螺杆转速的增加,产品的组织化度、硬度、粘着性和咀嚼度均有增加的趋势;喂料速度对产品的表现形态影响较大,喂料速度较大时,产品表现粗糙、组织化度降低。单因素实验

优选的操作参数为:机筒温度145~155℃,物料湿度(水分质量分数)45%~50%,螺杆转速90~160 r/min,喂料质量流量20~40 g/min。并结合对生产工艺和产品微观结构分析,提出了高水分组织化大豆蛋白质产品形成过程的“膜状气腔”理论假设:在双螺杆挤压机的机筒内,高水分物料体系在高温(140~150℃)、高压(2~50 MPa)、高剪切力的作用下,形成均匀、相溶的“熔融体”聚合物。蛋白质分子受热发生变性,发生了包括共价键、二硫键、疏水键、肽键、氢键在内的复杂生化反应,使蛋白质分子失去了天然的结构。大量水分的汽化使蛋白质形成了“膜状气腔”,机筒“熔融体”内的“膜状气腔”在螺杆推力和压力的作用下,沿轴向(挤出方向)呈线性定向排列运动。在模具形状、压力和突然冷却的多重作用下,“膜状气腔”被压缩成斜长形“细胞”状组织,从而形成具有纤维状、且具有类似肉类咀嚼感(弹性)的组织化大豆蛋白质产品。

除了上述各类植物蛋白质原料以外,大量低值动物性蛋白质也是未被充分合理有效利用的蛋白质资源。Alvarez 等<sup>[6]</sup>以脱骨鸡肉为主要原料,辅以玉米粉、大豆分离蛋白质和小麦蛋白质,用热塑挤压蒸煮处理对碎鸡肉做重组研究。研究表明,利用双螺杆挤压蒸煮处理,适当调整操作参数、辅料等因素,可以生产多变的重组鸡肉产品。实验发现,如果全部使用鸡肉会造成膨化机器机筒的阻塞。在玉米粉、小麦蛋白质和大豆分离蛋白质这3种非肉成分中,使用玉米粉和脱骨鸡肉混合后的挤压膨化效果最好。挤压机模头的温度对脱骨鸡肉和玉米粉混合物产品的组织特性有很大的影响,剪切力和拉伸剪切力都会随模头温度的上升而升高。

近年来传统经济鱼类的捕获量骤减,小杂鱼类已成为主要的渔业资源,传统的加工手段已难以满足市场的需求,尽管有关鱼肉双轴挤出组织化尚缺乏系统性研究,但是一些报道已经显示出该领域的广阔研究与应用前景<sup>[7]</sup>。北海道鱼类研究所<sup>[8]</sup>进行了沙丁鱼的挤压组织化研究。将鱼肉与脱脂大豆粉以一定质量比率混合,调整混合物水分质量分数为50%,然后用Kobe TCV-SOL双轴挤出机处理,该挤出机装有一长冷却模头。在机筒温度94~100℃,螺杆转速220~400 r/min,进料质量流量27 g/min的操作条件下,挤出物为连续带状,不同于其它鱼类加工产品,具有类似烹调肉类的质地,电镜扫描可观察到挤出物具有沿挤出方向平行排列的蛋白质纤维束的多层结构。

王鑫、刘俊荣等<sup>[9]</sup>利用双螺杆挤压蒸煮技术将

低值鱼肉挤压重组,以重组产物为基料进行模拟食品研发。从基料复水、入味方法、干燥条件、山梨糖醇和蔗糖添加量等方面来确定中间水分模拟肉类食品(水分质量分数40.93%~42.80%,水分活度0.879~0.891)的工艺条件。试验结果表明,基料经100℃热水复水15min,选用佃煮法入味后在80℃条件下干燥3h,按质量分数添加山梨糖醇5%、蔗糖12%时,可制得弹性好、风味优良的中间水分模拟肉类食品。

## 1.2 在膳食纤维加工中的应用

膳食纤维可以有效地防治冠心病、降低体内胆固醇水平和调节血糖水平,甚至还有抗癌、解毒的功能。但纤维素通常难溶,不易被人体吸收,而且口感较粗糙,使得其开发和利用受到了一定的制约。然而,利用双螺杆挤压技术可以提高膳食纤维的溶解度,并改善其口感。

Keitaro Suzuki等<sup>[10]</sup>对糙米进行了双螺杆挤压膨化研究,结果发现,发芽糙米先在30℃的温度下于水中浸泡72h,然后在一个湿度较低的可控室温里于15℃下干燥至13%~15%的湿度(水分质量分数),发芽糙米的总膳食纤维含量要高于普通糙米或精米,在螺杆转速150r/min,喂料质量流量100g/min,第一、二段腔体温度分别为70℃和150℃的操作条件下,膨化的发芽糙米与未膨化的精米相比含有更多总膳食纤维,提高了78.6%。

Diaye S N', Rigal L等<sup>[11]</sup>进行了双螺杆挤压反应器提取半纤维素的可行性研究,用改进的Clextrol双螺杆挤压机,通过碱溶法从硬木杨树中提取半纤维素。基于温度和氢氧化钠流入率的作用,研究了提取物的得率与功能特性,并且与分批实验进行了比较。基于戊聚糖的含量,双螺杆反应器可以提取高达90%的初始半纤维素,相对于分批实验来说液固比小了5/6,而且固体反应时间大大缩短。即使碱性溶液流入率较高时,液固分离也很有效,提取的固体比原料更干燥。在固体流入率确定后,半纤维素的增溶直接与加工材料吸收的单位机械能(SME)有关。当在水中溶解时,提取的半纤维素出现增稠现象,溶液具有可塑性 with 触变性。

郑建仙<sup>[12]</sup>选用两种不同粒径的蔗渣膳食纤维,用法国的Clextrol BC-45型双螺杆挤压机,在挤压条件为螺杆转速243r/min、温度100℃、进料质量流量216g/min、加水量为45%的实验条件下,探索了挤压蒸煮对蔗渣膳食纤维的影响。结果表明:经挤压蒸煮后,蔗渣膳食纤维内部组成成分得以调整和重组,部分不溶性阿拉伯木聚糖会溶解和断

裂,蔗渣膳食纤维的水溶率从2.2%提高到12.4%,水溶性组分分子分支程度有较大幅度的提高;木糖和阿拉伯糖的质量比值由6.2减少至4.2。挤压蒸煮对蔗渣膳食纤维的化学结构无降解和破坏作用,但对物化性质(持水力、结合力、膨胀力)产生不同程度的影响。蔗渣膳食纤维的生理活性得到极大的提高,达到了国际通用保健膳食纤维的标准。

孙兰萍、许晖<sup>[13]</sup>研究了利用双螺杆挤压技术提高米糠中可溶性膳食纤维(SDF)的含量,结果表明,在单螺杆挤压最佳工艺参数为物料水分质量分数15%、挤压温度150℃、螺杆转速90r/min的条件下,所得样品的SDF质量分数为11.54%,比原来米糠的提高了8.74个百分点;而在双螺杆挤压最佳工艺参数为挤压温度150℃、物料水分质量分数17.5%、螺杆转速150r/min的条件下,所得样品的SDF质量分数为15.58%,比原来米糠的提高了12.78个百分点,并且双螺杆挤压机的挤压效果大大优于单螺杆挤压机。

## 1.3 在浸油中的应用

利用双螺杆挤压技术对浸油原料进行膨化预处理,可收到良好的效果。当原料胚被强制输送到挤压腔后,通过压延、摩擦和挤压作用产生的高温高压效果,原料胚被剪切、泥炼、熔融,使原料胚组织发生了变化。当原料胚从高压状态被挤出到常压态时,内部超沸点水分瞬间蒸发并产生巨大膨胀力,原料胚也随之膨化成型,产生许多带细微孔的条状体(或称油路)。此时的原料胚非常有利于油料的浸出。目前研究较多的是从葵花籽中提取油。

Ph Evon, Vandenbossche V等<sup>[14]</sup>评估了根据水浸提工艺并用同向双螺杆挤压机萃取葵花籽油的可行性,并测定了操作条件对油产量的影响。操作条件包括双螺杆转子齿型、螺杆转速、葵花籽流入量以及进水量。液、固态的分离需要从过滤区上行加入纤维废渣。然而,即使纤维输入量达到最大值,饼粉的烘干也得不到改善,葵花籽的溶滤也不完全。使用双螺杆挤压机进行的油的水代法,比在间歇反应器中进行的参考试验更有效。最大的萃取油产率接近55%,饼粉的残油率接近30%,疏水阶段产出的是油和水的乳状液。在界面的磷脂和蛋白质固定了这些乳状液,这些磷脂和蛋白质是生产过程中一同萃取的表面活性剂。

Kartika I Amalia等<sup>[15]</sup>研究了螺旋构造对提取葵花籽油的影响。通过研究操作条件、机筒温度、螺杆转速以及进给量的影响,检验了5种螺杆外形,以确定最好的性能。研究发现两个相反的螺杆

元件的位置和它们的间距影响油的提取量,当相反的螺杆元件运动时,增大元件间距,可以增加出油量。另外,当机筒温度、螺杆转速、进给量降低时,出油量也会增加。当温度 120 °C,转速 75 r/min,进给质量流量 19 kg/h 时,可以达到最大的出油率 85%,饼粉质量(剩余油量低于 13%)也最高。同时,操作参数也影响能量输入,降低机筒温度和喂料速度并随之提高螺杆转速时,能量输入会增加,尤其是单位机械能的输入。操作参数对油品质量的影响是次要的。

#### 1.4 在休闲即食食品加工中的应用

目前市场上利用双螺杆挤压机生产的风味小食品的原料主要是谷物,例如玉米、小麦、大米、燕麦,还有大麦、黑麦、高粱等<sup>[16]</sup>。采用双螺杆挤压机一是能在低温下加工谷物食品,节省能量;二是可以加入更多的配料加工,所以可以生产出更多风味的小食品,而且能利用其创新产品品种,更好地满足市场需求和创造经济价值。

Sumathi A 等<sup>[17]</sup>力图利用双螺杆挤压机开发珍珠粟挤压膨化制品,用小于 355  $\mu\text{m}$  珍珠粟的粗磨粉,水分质量分数(18 $\pm$ 1)%、温度(15 $\pm$ 5)°C、机筒转速(200 $\pm$ 10)r/min 的条件下,生产出的挤压品膨胀率为 1.75 $\pm$ 0.21,断裂强度为(7.5 $\pm$ 1.5) kg。挤出品体的浆体黏度、熔解所需热量、碳水化合物消化率表明,这种产品是熟制、即食的。按比率 30% 的粒用谷类还有 15% 的脱脂大豆分别与珍珠粟混合后进行双螺杆挤压的食品,可以作为宜于儿童和母亲食用的方便营养品,食品货架寿命在常温条件下的软包装内为 6 个月。研究表明,双螺杆挤压膨化技术在应用珍珠粟生产多样化及增值食品方面有很好的前景。

王文贤、刘学文等<sup>[18]</sup>以鲜鸡肉和大米为原料,对双螺杆挤压工艺条件进行研究,以期开发出新型鸡肉挤压膨化休闲食品,提高鸡肉的附加值。试验中采用可旋转中心组合设计,综合考查物料湿度、机筒温度和螺杆转速 3 个变量对糊化率的影响。在此基础上由试验数据推导出描述糊化率的二次回归模型,并对变量进行响应面分析,得出最佳挤压工艺条件为:物料湿度(水分质量分数)35%、机筒温度 123 °C、螺杆转速 220 r/min。

左春桧等<sup>[19]</sup>研究了采用 BC45 型双螺杆挤压机加工玉米食品的工艺和配方。通过口感评价和膨化度等对比,得出了较优的工艺参数和食品配方。即工艺参数:螺杆转速 150 r/min,模头温度 160 °C,供料质量流量 30 kg/h;食品配方(以质量分

数计):玉米面 69.6%,大米粉 17.4%,盐 1%,糖 4%,水 8%。

膨化小吃食品往往具有蛋白质营养缺陷,一项研究表明,通过添加乳清蛋白质同时相应调整加工参数,可以获得一种富含蛋白质的营养谷类膨化小吃食品。研究结果表明,乳清蛋白质的添加对膨化小吃的物理特征没有不良影响,而蛋白质的添加则增加了膨化食品的营养价值<sup>[20]</sup>。

#### 1.5 在高蛋白质谷物类食品加工中的应用

高蛋白质谷物类产品的主要成分是谷物,是通过蒸煮、脱水加工而成的更易于食用和消化的一种食品。目前,挤压技术已成功应用于早餐谷物食品及断奶食品的生产中。

张炳文,祁国栋等<sup>[21]</sup>利用双螺杆挤压技术研制成功了高蛋白质早餐营养米粉。通过正交试验确定了最佳工艺条件与参数,即为原料水分质量分数 15%,挤压机三区温度为 140、150、160 °C,挤压机螺杆转速为 800 r/min。产品原料配比(以质量分数计)为,大豆约 30%、小米约 60%、麦胚约 10%、卵磷脂 0.8%、单甘酯 0.7%、BHT 0.1%,并探讨了营养米粉冲调性能改善的方法技术。

Plahar W A 等<sup>[22]</sup>利用双螺杆挤压技术开发了以花生、玉米及大豆为原料的高蛋白质断奶食品。结果表明当膨胀指数降低,进给水分含量增加时,体积密度与硬度增大。当水分量固定,膨胀率、挤压温度都增加时,体积密度与坚固程度降低。为了减少挤压并得到最优的产品感官质量,挤压参数制定如下:以质量分数计,大米 75%,花生 10%,大豆 15%;进给颗粒大小 300~400  $\mu\text{m}$ ,转速 500 r/min,进给质量流量 4.6 kg/min,水分质量分数 16%~18%,挤压温度 100~105 °C。把挤压的和传统的断奶制品的感官性状进行比较,结果有明显区别,挤压制品的感官性状极好。在家庭使用测验中,至少 92% 的人反映对挤压制品的感官性状非常满意。

#### 1.6 在糖果加工中的应用

利用双螺杆挤压机将农产品加工成糖果是一个全新的领域,并在近几年获得了显著的发展。许多传统糖果的生产线很长,需占用很大的地面空间,并且生产过程要经历很长时间,而且更早的生产工艺必须在接近常压和沸点、需适当控制剪切的条件下才能完成。这就使实际应用受到限制,因为在控制参数上不能实现相同的多功能性或不受约束的处理。传统的糖果生产工艺通常基于将手工操作自动化的生产工艺。

通过双螺杆挤压机可以在一个工序内完成所

需的物理化学性质的改变,这至少可以将单元操作数和所需时间减少到原来的1/10,所占用空间减少到原来的1/20。而且其加工过程更卫生、能耗更低,并加强了对营养、物料状态变化,以及物理性质、组成及其他变化的控制。所以其应用也越来越受到人们的重视和推广<sup>[16]</sup>。

## 2 双螺杆挤压加工对食品中营养成分的影响

### 2.1 蛋白质

双螺杆挤压蒸煮过程中的高温、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<sup>[23]</sup>。这主要是由于挤压使某些抗营养因子失活,尤其是对胰蛋白酶抑制剂、血凝素、丹宁酸和肌醇六磷酸等影响蛋白质消化率因子的破坏,并形成易受酶作用的疏松结构,同时蛋白质的部分降解使游离氨基酸含量升高,因而蛋白质消化吸收率增加<sup>[24]</sup>。

Singh等<sup>[25]</sup>研究了双螺杆挤压加工处理对胰蛋白酶抑制剂的影响,结果表明,当挤压条件为螺杆转速300 r/min、进料质量流量为27 kg/h、5/32裸片尺寸和93~97℃出口温度,可使碎米和质量分数高达20%的麦麸的挤出物中胰蛋白酶抑制剂活性完全失活。当混合物中麦麸质量分数超过20%时,使胰蛋白酶抑制剂的效率从92%降到60%。较高的挤压温度、较长的滞留时间和较低的水分含量是对胰蛋白酶抑制剂破坏的关键因素。

刘俊荣<sup>[26]</sup>利用Clextral BC-45型双螺杆挤压机,在操作参数为腔体温度160℃、螺杆转速250 r/min、喂料速率80%的条件下分别对三文鱼、大比目鱼、鲑鱼、鲑鱼进行挤压蒸煮处理,同时与3种传统加工技术蒸煮、鱼糜以及热力杀菌进行对比,结果表明经双螺杆挤压蒸煮技术处理的样品均表现出最高的消化率。

### 2.2 淀粉

双螺杆挤压与其他食品加工方式相比,一个主要区别就是在较低水分质量分数下(12%~22%)就可发生淀粉糊化。淀粉糊化后,产品质地柔软,吸水性增大,增强了与酶的作用,因此进入人体后更易消化。不同食用淀粉其糊化温度略有差别,变化范围在55~85℃之间<sup>[27]</sup>。

Lawton B T等<sup>[28]</sup>研究了15个双螺杆挤压加工变量对玉米淀粉糊化程度的影响,结果表明物料水分含量和挤压机套筒温度对玉米淀粉的糊化度

有显著影响,提高物料水分含量和套筒温度可提高产品的糊化度。

Chiang B Y和Johnson G A<sup>[29]</sup>研究发现,在喂料水分质量分数为18%~27%,转速小于140 r/min,温度大于80℃时,小麦淀粉急剧糊化。物料在高水分含量时,其产物糊化度也较高,但随着喂料水分的增大,其糊化度呈下降趋势。

Chiang B Y和Johnson G A<sup>[29]</sup>对小麦粉及Bhattacharya M和Hanna M A<sup>[30]</sup>对糯性玉米粉(直链淀粉质量分数10%)和普通玉米粉(直链淀粉质量分数30%)的糊化与挤压系统参数之间的关系进行了研究,结果均表明挤压膨化物的糊化度随着挤压机模头温度和喂料水分的提高而增大,随着挤压机螺杆转速的提高而下降。相同条件下,糯性玉米粉的糊化程度高于普通玉米粉的。

淀粉在挤压过程中,除发生糊化作用外,还会产生部分降解糊化现象。降解度和糊化度高会使产品产生粘牙感。淀粉降解后相对分子质量在2000以上,可认为挤压过程中淀粉已发生轻微糊化作用。

### 2.3 脂肪

很多研究表明,经双螺杆挤压蒸煮处理后,可萃取的脂肪下降。据推测应该是挤压蒸煮过程中产生了淀粉多糖-脂肪聚合物而导致,并非是由于挤压蒸煮过程的热降解导致挤出物脂肪减少<sup>[31]</sup>。

脂肪复合物的生成,不但防止脂肪氧化,延长产品货架期,而且还会改善产品的质构。但脂肪含量过多又会产生油腻感,而且脂肪水解并和直链淀粉形成复合物,会影响产品膨化性,使产品中淀粉的溶解性和消化率降低<sup>[32]</sup>。因此,用于双螺杆挤压膨化食品的原料脂肪含量不应太高。

### 2.4 维生素

因维生素组成差异很大,所以在双螺杆挤压操作中不同维生素稳定性不同,降低挤压机腔内温度和剪切力都能对维生素起保护作用。根据Biorck和Asp总结的挤压蒸煮的各个过程参数对维生素稳定性的影响<sup>[33]</sup>,核黄素的稳定性较好,而维生素B<sub>1</sub>的稳定性对挤压操作参数最为敏感。维生素C在低水分挤压操作条件下稳定性好,如果在挤压蒸煮处理后再添加维生素C,则有利于提高产品中维生素C的贮藏稳定性。B族维生素(VB<sub>1</sub>、VB<sub>6</sub>、VB<sub>12</sub>,烟酸)的破坏与挤压过程中所输入的能量存在线性关系。换言之,B族维生素在挤压蒸煮过程中的稳定性与物料温度有关。因此,维生素B的破坏程度可以作为判断加工过程中所输入热能的强

度指标之一<sup>[34]</sup>。作为维生素 A 的前体,类胡萝卜素也被大量用作食品着色剂,由于此类化合物的多烯结构特点,使得其暴露于光线、热等条件下非常敏感。

Marty 和 Berset<sup>[35]</sup>利用 Cleextral BC-45 型双螺杆挤压机,在腔体温度 180 °C、供料质量流量 25 kg/h、螺杆转速 150 r/min 的条件下,对比在密封玻璃罐中加热来研究类胡萝卜素的稳定性,得出结论是挤压蒸煮处理对胡萝卜素的破坏力更大。

### 2.5 矿物质元素

双螺杆挤压蒸煮可普遍地影响大分子,对小分子来说,要么是由于挤压工艺自身的影响,要么是由于大分子的转变,从而反过来影响食品中存在的其他化合物。虽然矿物质对健康很重要,但是在挤压加工中对矿物质稳定性的研究还是比较匮乏,因为在其他的食品加工中,矿物质是较为稳定的<sup>[36]</sup>。

Alonso 等<sup>[37]</sup>研究了双螺杆挤压蒸煮对豌豆和菜豆中矿物质元素的影响,结果表明,植酸盐可与矿物质形成不溶性混合物,从而对矿物质的吸收产生不利的影响,然而挤压加工可使植酸盐水解生成磷酸盐。对豌豆和菜豆进行双螺杆挤压蒸煮,可使植酸盐水解,加工后将大大提高矿物质的利用率。同时研究中发现,双螺杆挤压蒸煮过程对豌豆和菜豆的矿物质组分含量除了铁,其余并无显著的影响。铁含量的增加尚未研究清楚,推测极有可能是由于挤压机中金属元件(螺杆)的损耗。

值得注意的是在挤压之前对食品进行矿物质元素强化会带来新的问题:金属离子与酚类化合物形成络合物会使产品色泽变暗,降低了产品的感官特性。

## 3 双螺杆挤压技术的发展前景

食品成分十分复杂,通常是若干种原料混合在一起加工,进入挤出机的物料更是由多种复杂多变的生物高分子混合构成,而且,食品挤压过程往往或高或低地伴随着一定量的水分进行,构成所谓的低湿挤压加工和高湿挤压加工。两种水分含量不同的挤压蒸煮加工,对挤压系统运行的影响也有极大差别,因此双螺杆挤压机在物理模型建立和数学模型求证方面存在困难,这也是挤压技术面临的最大问题。这一问题的解决,将会大大提高双螺杆挤压技术的研究水平。

从世界食品发展潮流看,挤压食品占有重要地位。由于它能为消费者提供色、香、味、营养俱全的食品,是其它食品加工手段不可比拟的。发达国家已把蒸煮挤压食品单列为一大类食品,并在保健食品挤压技术、功能性食品挤压技术、超临界流体挤压技术、米粉挤压技术、点心与早餐等即食谷类食品加工、挤压太空食品等方面开展了广泛深入的研究。我国在这一新兴领域也开展了一些研究工作,但尚缺乏深度及广度。因此从事该领域的研究将大有作为。

目前有关双螺杆挤压膨化机在水产饲料加工中的报道很多。但对有关鱼肉双轴挤出组织化的研究尚缺乏系统性。水产品不但将成为人们摄取动物蛋白质的主要来源之一,而且也可以缓解人增地减、食品不足、优质蛋白质缺乏的问题。利用双螺杆挤压技术研究开发低值水产资源,将具有显著的综合效益。

## 参考文献(References):

- [1] 刘俊荣. 鱼肉蛋白质组织化方法的研究与应用[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13 (3): 72-78.  
LIU Jun-rong. Studies on texturization of fish protein and its applications[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1998, 13 (3): 72-78. (in Chinese)
- [2] 陈迎春. 食品高压加工设备及其应用(I)[J]. 包装与食品机械, 1999, 17(3): 30-32.  
CHEN Ying-chun. Food high pressure processing equipment and its application (I)[J]. *Packaging and Food Machinery*, 1999, 17(3): 30-32. (in Chinese)
- [3] Liu S X, Peng M. Development of a new meat analog through twin-screw extrusion of defatted soy flour-lean pork blend [J]. *Food Science and Technology International*, 2005, 11(6): 463-472.
- [4] 王洪武, 周建国, 林炳鉴. 双螺杆挤压机工艺参数对组织蛋白的影响[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(2): 54-57.  
WANG Hong-wu, ZHOU Jian-guo, LIN Bing-jian. Effect of processing variables of twin-screw extrusion to texturization of compound soybean protein[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2001, 16(2): 54-57. (in Chinese)
- [5] 魏益民, 康立宁, 张波, 等. 高水分大豆蛋白组织化生产工艺和机理分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 193-197.

- WEI Yi-min, KANG Li-ning, ZHANG Bo, et al. Processing and mechanism of high moisture textured soy protein[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006,22(10):193-197. (in Chinese)
- [6] Alvarez V B, Smith D M, Morgan R G, et al. Restructuring of mechanically deboned chicken and nonmeat binders in a twin-screw extruder[J]. *Journal of Food Science*, 1990,55(4):942-946.
- [7] Aoki K, Hara F Ohmichi. Texturization of surimi using a twin screw extruder[J]. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 1989,36:748-753.
- [8] Kitagawa M, Nishi K. Studies on the extrusion cooking of marine products: 1. utilization of sardine with extrusion cooking[J]. *Journal of Hokkaido Fisheries Experimental Station*, 1987,44:151-168.
- [9] 王龔, 刘俊荣, 刘臣, 等. 低值鱼蛋白组织化模拟食品的研究[J]. 水产科学, 2008,27(1):17-19.  
WANG Cui, LIU Jun-rong, LIU Chen, et al. Utilization of low value fish protein textured by extrusion cooking as imitated seafood products[J]. *Fisheries Science*, 2008,27(1):17-19. (in Chinese)
- [10] Keitaro Suzuki, Kenichi Ohtsubo. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005,18:303-316.
- [11] Diaye S N, Rigal L. Extraction of hemicelluloses from poplar, populus tremuloides, using an extruder-type twin-screw reactor: a feasibility study[J]. *Bioresource Technology*, 1996,57:61-67.
- [12] 徐树来. 挤压技术加工膳食纤维的研究进展[J]. 农机化研究, 2004(5):49-50.  
XU Shu-lai. The research progress of processing food fibre by extrusion technology[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2004(5):49-50. (in Chinese)
- [13] 孙兰萍, 许晖. 挤压法制备米糠膳食纤维的研究[J]. 食品工业科技, 2005(4):98-100.  
SUN Lan-ping, XU Hui. Preparation of rice-bran soluble dietary fiber by extrusion[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2005(4):98-100. (in Chinese)
- [14] Ph Evon, Vandenbossche V. Direct extraction of oil from sunflower seeds by twin-screw extruder according to an aqueous extraction process: Feasibility study and influence of operating conditions[J]. *Industrial Crops and Products*, 2007, 26:351-359.
- [15] Amalia Kartika I, Pontalier P Y. Extraction of sunflower oil by twin screw extruder: Screw configuration and operating condition effects[J]. *Bioresource Technology*, 2006,97:2302-2310.
- [16] 侯传亮. 双螺杆挤压机在农产品加工中的应用[J]. 农业装备与车辆工程, 2006(7):6-8.  
HOU Chuan-liang. Application of the twin-screw extruder in the production of agricultural products[J]. *Agricultural Equipment & Vehicle Engineering*, 2006(7):6-8. (in Chinese)
- [17] Sumathi A, Ushakumari S R, Malleshi N G. Physico-chemical characteristics, nutritional quality and shelf-life of pearl millet based extrusion cooked supplementary foods[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2007,58(5): 250-362.
- [18] 王文贤, 刘学文, 谢永洪, 等. 鸡肉-大米膨化食品双螺杆挤压工艺参数的优化研究[J]. 农业工程学报, 2004,20(6):223-226.  
WANG Wen-xian, LIU Xue-wen, XIE Yong-hong, et al. Optimization of extrusion cooking conditions of extrusion-cooked chicken-rice snack with twin-screw extruder[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004,20(6):223-226. (in Chinese)
- [19] 左春桢, 马成林, 张守勤. 双螺杆挤压加工玉米面膨化食品的工艺和配方研究[J]. 农业工程学报, 2000,16(3):91-93.  
ZUO Chun-cheng, MA Cheng-lin, ZHANG Shou-qin. Study on cooking extrusion conditions and formula of corn snack by twin screw extruder[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2000,16(3):91-93. (in Chinese)
- [20] Onwulata C I, Konstance R P, Smith P W, et al. Physical properties of extruded products as affected by cheese whey[J]. *Journal of Food Science*, 1998,63(5): 814-818.
- [21] 张炳文, 祁国栋, 汝医, 等. 利用双螺杆挤压技术生产高蛋白早餐营养粉的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2000,15(6):58-62.  
ZHANG Bing-wen, QI Guo-dong, RU Yi, et al. Producing high-protein nutritious rice-flour for breakfast by bi-screw extrusion[J]. *Chinese Cereals and Oils Association*, 2000,15(6):58-62. (in Chinese)
- [22] Plahar W A, Onuma Okezie B. Development of a high protein weaning food by extrusion cooking using peanuts, maize and soybeans[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2003,58:1-12.
- [23] 张敏, 李宏军, 高志诚. 挤压膨化加工对食品中营养成分的影响[J]. 北方园艺, 2003(1):63-64.  
ZHANG Min, LI Hong-jun, GAO Zhong-cheng. The effects of extrusion cooking on food nutritional aspects[J]. *North-*

- ern Horticulture, 2003(1):63-64. (in Chinese)
- [24] Alonso R, Aguirre A, Marzo F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in feba and kindey beans[J]. **Food Chemistry**, 2000,68:159-165.
- [25] Singh D, Chauhan G S, Suresh I, et al. Nutritional quality of extruded snakes developed from composite of rice broken and wheat bran[J]. **International Journal of Food Properties**, 2000(3):421-431.
- [26] 刘俊荣. 热塑挤压蒸煮技术对鱼肉蛋白质组织化的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2005.
- [27] 张欣,徐慧. 挤压技术在谷类食品加工中的应用[J]. 河北农业科学, 2008,12(6):90-91.  
ZHANG Xin, XU Hui. Application of extrusion technology on grain processing[J]. **Journal of Hebei Agricultural Sciences**, 2008,12(6):90-91. (in Chinese)
- [28] Lawton B T, Henderson G A, Derlakta E J. The effect of extruder variables on gelatinization of cornstarch[J]. **Can J Chem Eng**, 1972,50(4):168.
- [29] Chiang B Y, Johson J A. Gelatinization of starch in extruded products[J]. **Cereal Chem**, 1977,54(3):436-441.
- [30] Bhattacharya M, Hanna M A. Extrusion processing of wet corn gluten meal[J]. **Food Sci**, 1986,50(5):1508-1510.
- [31] Shivendra Singh, Shirani Gamlath, Lara Wakeling. Nutritional aspects of food extrusion; a review[J]. **International Journal of Food Science and Technology**, 2007,42:916-929.
- [32] 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, 2005,20(2):33-36.  
WEI Yi-min, JIANG Chang-xing, ZHANG Bo. Effects of processing parameters on extrudant qualities[J]. **Chinese Cereals and Oils Association**, 2005,20(2):33-36. (in Chinese)
- [33] Bjorck I, Asp N G. The effects of extrusion cooking on nutritional value[J]. **Journal of Food Engineering**, 1983(2):281-308.
- [34] Guzman T R, Chefte J C. Thiamine destruction during extrusion cooking as an indicator of the intensity of thermal processing[J]. **International Journal of Food Science and Technology**, 1987,22:549-562.
- [35] Marty C, Berset C. Degradation of traps-B-carotene during heating in sealed glass tubes and extrusion cooking[J]. **International Journal of Food Science and Technology**, 1986,51:698-702.
- [36] Camire M E, Camire A L, Krumhar K. Chemical and nutritional changes[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 1990,29:35-57.
- [37] Alonso R, Rubio L A, Muzquiz M, et al. The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals[J]. **Animal Feed Science and Technology**, 2001,94:1-13.

(责任编辑:秦和平)

## 《食品与生物技术学报》2010年征稿征订启事

《食品与生物技术学报》(双月刊)是教育部主管、江南大学主办的有关食品科学与工程、生物技术与发酵工程及其相关研究的专业性学术期刊,为CSCD核心期刊、全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国期刊方阵双效期刊,目前被美国化学文摘(CA)等国内外10余家著名检索系统收录。主要刊发食品科学与工程,食品营养学,粮食、油脂及植物蛋白工程,制糖工程,农产品及水产品加工与贮藏,动物营养与饲料工程,微生物发酵,生物制药工程,环境生物技术等专业最新科研成果(新理论、新方法、新技术)的学术论文,以及反映学科前沿研究动态的高质量综述文章等,供相关领域的高等院校、科研院所、企事业单位的教学、科研等专业技术人员、专业管理人员以及有关院校师生阅读,热忱欢迎广大读者订阅。

《食品与生物技术学报》,双月刊,A4(大16K)开本,144页,全年6期,每册定价15.00元,全年定价90元。邮发代号:28-79,全国各地邮局均可订阅。

《食品与生物技术学报》编辑部