

# 食品挤压机的研究现状

孙一源  
(江苏工学院)

张岩  
(山东粮油进出口公司)

石曙东  
(湖北师范学院)

**提 要** 概述了挤压食品的工艺特点和产品,重点综述了国际食品挤压机的发展和研究现状,指出了国际的研究导向和国内的某些突破以及存在的问题,供研究参考。

**关键词** 食品挤压机 研究现状 进展

## 1 挤压膨化食品的特点及其设备

利用圆形机筒内的 Archimedes 螺杆挤压食品物料,在高温(100~200℃)高压(1~10MPa)下使主要成分发生变化,谷物中的淀粉产生凝胶化( $\alpha$ 化)、油料作物的植物蛋白产生组织化,谷物中的脂肪含量大幅度地降低,氨基酸却增加,使稻壳或茎秆等纤维松散化,提高其营养价值、消化吸收率或原料的利用率,近30年来,得到迅速发展,主要挤压产品见表1。近十年,国内出现各类挤压膨化食品不下20余种,正方兴未艾。

近两年国内市场的膨化食品甚多,继卜卜星之后是虾球(斯乃克),多味麦圈、虾条、椰球、膨香酥等等,甚受人们特别是儿童青睐。

制造挤压产品的设备为挤压机。它最先用于生产塑料制品,后来才有商用玉米膨化机应市。80年代中期美国新泽西州罗杰斯大学的食物先进工艺研究中心(Center for Advanced Food Technology, CAFT, 凯夫特中心),将食品挤压蒸煮列为三大研究领域之一<sup>[1]</sup>。食物物料在高温高压的挤压机内,利用物理的方法,使大分子的淀粉、蛋白质和脂肪切断成为小分子的物质,引起化学性质的变化,由量变引起质变,CAFT及我们的试验均表明,经挤压膨化的玉米粉,其中的淀粉裂解为糊精和糖(如还原糖含量增多,由原料中的1.0%~1.32%增至产品中还原糖达2.1%~6.22%,膨化玉米果原料中不加糖,也会有甜味,可认为是还原糖增多所致),这一过程一般是在口腔内完成,在唾液中酶的作用才会使淀粉裂解,成为糊精和麦芽糖等,挤压膨化中的糊化技术,相当于消化器官的延伸,是一种“科学而理想的食品加工新工艺”<sup>[1]</sup>,更令人不解的是,经挤压膨化的玉米粉中的粗脂肪竟会下降60%,甚至全部消失。膨化后的玉米果的水溶性增加40%以上,淀粉 $\alpha$ 化程度在98%以上<sup>[2]</sup>,因此食品挤压蒸煮机,不仅是机械加工设备,而可认为是一种新型的生物化学反应器,对其变化机理,有待深入研究,可以预计,这一新的加工工艺将在改造传统的酿造工业<sup>[2]</sup>,创制更科学的工程食品,发展新的饲料加工工业等诸多方面发挥重要的作用。

表 1 主要挤压产品

Tab. 1 Main products of extrusion

产品类型	品名	原料	添加物料	设备	进料水分(%)
小吃食品	玉米膨化果 第三代小吃食品	玉米、大米、 小麦、土豆等	变性淀粉、植物油、奶 粉、蛋、大豆蛋白、营 养强化剂、色素、盐 糖、味精等	高剪切力膨化果 挤压机 蒸煮、成型挤压机	<12 20~35
谷物即 食食品	薄脆饼、饼干、面 点、面包屑、面包 棒等	谷物	淀粉(普通或变性) 糖、盐、调味剂、奶粉、 乳化剂等	蒸煮挤压机或成 型挤压机	25~35
营养食品	高纤维食品、高 蛋白食品等	全麦粉、全玉米 粉、大豆粉及花 生粉等	浓缩大豆蛋白、奶粉、 奶酪、蛋白酸钠、维生 素、微量元素	按产品要求选取 不同挤压机	15~25
面团(糊)食品	方便面、速煮面 条、通心粉	谷物粉	按不同风味选用不同 配料	低剪切力面团挤 压机	20~35
粉料	汤用粉料 老人、婴儿食品、 代乳粉、营养食 品	谷物、豆类及块 茎类	芹菜汁、菠菜汁、卷心 菜汁、胡萝卜汁、甜 菜、洋葱、大蒜等 全脂或脱脂植物蛋 白、奶粉、谷朊	高、低剪切力挤 压机均可视物性 的不同选用	12~25
糖果食品	硬糖、太妃糖、口 香糖、牛奶巧克 力等	制糖果原料	按需选用	双螺杆食品挤压 机	少量
植物蛋白	肉类添加物、人 造素肉	大豆、脱脂棉籽、 花生、菜籽、向日 葵	一般无需其它原料	高中剪切力单、 双螺杆挤压机	35~50
酿造业预处理	制酒、醋、制糖焙 原料	谷物(糯米、大 麦)豆类及块茎 类	无	高中剪切力挤压 机	13~18
其它食品	香肠等、粉丝	肉类、绿豆、早米 粉、山芋	谷物、盐、香料等	挤压机、粉丝挤 压机	<38

## 2 国外食品挤压机的的发展简况

第一台单螺杆挤压机产生于 1920 年,主要用于热塑料挤压,而用于食品的单螺杆挤压机于 1935 年在美国出现。1946 年 Adams Crop 才有商业用玉米膨化机应市<sup>[3]</sup>。40 年代、50 年代膨化饲料挤出机有很大发展。60 年代大多将挤压机用于谷物加工的预处理。近 30 多年来,英、美、法、原苏联、日、荷、意、波、葡、德、瑞士诸国已研制生产了各类食品挤压机,有的大量投产三四十年来,形成了市场。70 年代欧美的方便食品中,35% 由食品挤压机生产。1980 年底,欧洲共同体成员国的食品热处理的国际协作计划(Cost-91 计划)中,挤压膨化技术占有重要地位;1984 年日本农林水产省成立了双螺杆食品挤压机开发利用研究组,有 26 家公司参加。Harper<sup>[3]</sup>列举了 20 余家挤压机生产厂,据悉,目前 21 个国家中,大型挤压膨化机组共有 350 多台套正在使用,尚未包括加工通心粉的机组。多数产品的自动化水平较高,成套供应生产线,有代表性的国外挤压机生产厂见表 2。有四类 Wanger, Werner & Pfeleider Corp (C37 型), Mapi, Creusot-Loire 公司的挤压机,已经引进,有的经消化吸收,研制了供国内市场的食品挤压机,已取得良好的经济效益与社会效益。

表2 国外主要食品挤压机

Tab. 2 The foreign representative food extruders

国别	厂名	产品主要型号及规格	说明
美国	Anderson-Ibec (爱迪生埃别克厂)	螺杆直径 11.4、15.2、20.3、25.4cm 四种,生产小吃食品(低密度)、家畜饲料(中密度)、植物组织蛋白(高密度)	1900 年生产螺旋榨油机, 1958 年推出卧式膨化机
	Bonnot 公司(邦诺脱)	螺杆直径由 5.75 至 25.4 cm 五种,主电机功率由 14.9~298.0 kW 主要产品为小吃食品、家畜饲料、植物组织蛋白	具有悠久历史,始于陶器挤压,并能为用户提供应用性试验
	Sprout-waldron (斯波洛特-瓦尔特朗公司)	SW-450、SW-775 螺杆直径各为 11.4 和 20.3 cm,主电机功率为 56 kW 和 37~112 kW,产品与上两公司相同	1958 年起大量制造蒸煮挤压机
	Wenger(温格公司)	X-20、25(80 年代产品),155、175、200、100PF 等,螺杆直径各为 8.3、13.3、18.4、20.9 和 24.1cm,主电机功率 22~186kW X-25 为可调机筒及螺杆组合式机型,能生产多种食品如高蛋白食品,谷物早点、糕点、人造素肉等	全世界最大的食品挤压机厂之一,国内已引进。
	杜佛机械公司	TX-80、TX-138 双螺杆挤压机,产量较高(1000kg/h)	由计算机控制
德国	Werner - Pfeleiderer Corporation(威尔耐-佛利特公司)	双螺杆挤压机 C-37(Contioua-37),主机功率 16~870 kW,C45 型锥形双螺杆食品挤压机	1985 年北京义利食品厂引进 C-37,90 年代轻工部引进十套,靖江生产的康力派麦圈即是其中的一套
	Brabender(布拉本达公司)	Do-Corder E 可测定谷物流变特性的由计算机控制并数据处理的试验型食品挤压机,20DN 螺杆直径为 19mm,长 380mm 单、双螺杆挤压机并配有多种配件	1923 建立的食品-塑料试验仪器厂 国内很多单位引进该厂机型在国内外销售亦较多
日本	上田铁工所,富士制作所,恩努匹公司	EP-50、EP-100 膨化饲料、食品米粉、粉丝挤压机,方便面生产线 MC-1102-RZ-8 米膨化挤压食品	方便面生产线为畅销一流产品可用于油炸食品
意大利	Pavan - Mapimpianti (帕万-马布机械股份公司)	MPE-膨化食品挤压机 G/F-油炸食品挤压机 谷物早餐食品 主要产品一通心粉挤压机,RC27/A 双螺杆食品挤出机	有 50 多个公司,公布于英、美、西德、日本、澳大利亚等国,1973 年建立 Map 公司为 Pavan 分公司,1986 年北京蛋品厂,湖北襄樊食品厂,轻工部北京食品发酵研究所等引进
瑞士	Buchler, Bubler - Miag (布勒公司)	面条、通心粉挤压机、膨化食品挤出机,生产多种食品	
波兰	Polimex-Cekop Ltd (波莱梅黑-舍克尔公司)	T-459、S-60 挤压机生产膨化玉米果,用双风扇冷却,生产小吃食品、饲料、植物组织蛋白	
法国	Creusor - Loire 由 Clextral 公司生产的半生产型挤压机	BC-45 双螺杆食品挤压机 BC-75、92、105、160 等,同向转动生产麦圈,脆性饼干、糖果等	无锡轻工业学院食品工程系引进,并在此设备上作硕士、博士课题的研究

### 3 国外食品挤压的研究简况

国外在食品挤压技术方面,进行了多项研究,如物料的粘度模型、表现粘度和模型(弹性元件—Maxwell 模型的组合),也对压力、温度、机筒内的滞留时间与产品质量、淀粉的 $\alpha$ 化程度进行试验研究,也有人导出流率与能耗的估算公式,还有从量纲分析研究建立功率与无量纲项间的关系,但都还处在发展之中。

1985年美国新泽西州(New Jersey)州立大学食品科学系、化工系、机械系与新泽西州通用食品公司等合作,研制了外壳和螺杆都是透明的试验用双螺杆挤压机,内部充满液体油料替代物料,并加入示踪物,以双光杆轴替代螺纹杆,利用二维激光多普勒流速仪,测定双螺杆啮合区内的多相流、湍流和涡流,还应用有限元法对物料微粒的流速进行分析,试图对食品挤压机内物料的受力、运动(速度与加速度)和流变特性作较深入的研究,已取得一批成果。

1990年8月初在美新泽西州,由CAFT食品科学与加工工艺中心,新泽西州农业试验站和Rutgers大学的烹饪学院联合举办食品挤压与流变学国际学术讨论会,其主题即将挤压蒸煮机视为“生物化学反应器”,从工程、挤压中的质量、流变、物理化学变化等方面进行专题交流,发表论文47篇,除美国,还有西德、英国、日本、中国、韩国等代表出席。当今世界,对挤压蒸煮机已具有新的认识,是一个独特的、可以高温瞬时、多工序循序完成的特殊生物化学反应器,为创制多品质、多风味的工程食品提供了良好的装备,正在作较为深入系统的研究,具有广阔前景。

### 4 国内食品挤压机的简况

70年代后期,国内开始生产食品挤压机,1979年北京食品研究所等单位研制小型自热式食品膨化机。80年代初苏州第二米厂和山东食品发酵工业研究所先后研制挤压膨化机,苏州第二米厂的健儿粉即由单螺杆挤压机生产,投放市场后较为畅销。80年代中期,开始引进或消化吸收德国的Wener-Pfleiderer Corp的C-37(40万美元),意大利(RC27/A型双螺杆挤压机,22万美元)法国的Cletral公司的BC-45双螺杆食品挤压机等。80年代后期大量国产膨化食品应市,如扬州多味麦圈,靖江康力派(亦是麦圈),上海的司乃克(Snak)、卜卜星、膨香思(酥)等,可与广州亨联公司的亨氏麦圈竞争。国内的主要挤压机见表3。除表中所列的四类外,尚有面条、糍粑、年糕\*等多种具有中国特色的风味挤压食品。但至今尚未有专营食品挤压机的专业公司,也缺乏对挤压工程食品的足够重视,当然尚未形成市场,这些均应引起企业界的关注,这是一个很有发展前途的新产业。

### 5 国内的研究简况

国内有一批高校和研究所进行食品挤压技术及装备的研究。早在1986年,黑龙江商学

\* 江西万年机械厂生产的年糕机,近八年已累计生产万台,每台售价仅600元(不包括电机)较畅销

院吴孟等就发表了谷物膨化技术的研究与应用方面的论文<sup>[4]</sup>,1987年北京农业工程大学沈再春等研制了6SLG54-18型双螺杆食品挤压机,又有多名研究生在该机上进行了试验研究,还进行了单螺杆食品膨化机的膨化物料的性能方面的研究<sup>[9]</sup>,从高分子物理、高聚物流变学原理等,研究了物料的膨化机理并用扫描电镜观察了膨化玉米、糯米物料的结构,还作了一些生化分析,具有一定的深度。从1987年之后,江苏工学院研究生在单螺杆挤压机上进行了工况参数(压力、温度、流量、功耗、转速等)和物理及物料的线流变特性测定,并进行多项生化试验,如测定了膨化指数、吸水指数、水溶性指数、还原糖、淀粉的 $\alpha$ 化程度和脂肪含量测定,发现玉米粉的脂肪含量经挤压膨化后下降60%,初步证实了挤压机是生化反应器的观点。并用相似理论设计了试验型挤压机,推导了流量与功率的估算公式等。黑龙江商学院杨铭铎在1988年发表了谷物膨化机理的研究<sup>[2]</sup>、谷物淀粉膨化 $\alpha$ 化的研究<sup>[5]</sup>和中国植物蛋白挤压的研究(新加坡国际学术会议)<sup>[6]</sup>,较系统深入地研究了淀粉、大豆的挤压与膨化机理。

表3 国内主要食品挤压机

Tab. 3 The representative food extruders in our country

类别	厂名	主要型号及特点	参考价/元	说明
植物蛋白挤出机	长春动力元件厂	BZD-95型半自动植物蛋白挤出机,生产豆花(素肉、腐皮等)	2.1万	多次改型,还有去腥机、去皮机,多次获奖,成套共9万元
	河南平顶山土豆加工机械研究所	PB-75型大豆喷爆机 MLFW-70型美乐福大豆蛋白组织化机,日处理豆粉1000kg,主电机4kW,加热圈1.5kW		还有清选机、脱皮机、榨油机、粉碎机、干态加压脱腥机、搅拌机、封口机配套供应
	长春工程食品研究所	全脂豆花机,生产素肉,蛋白质含量40%,赖氨酸6.55%	2~3万	年产千吨素肉厂投资约25万,获36届尤里卡金奖
	益阳空压机厂	PB-65A型大豆喷爆机		
谷物挤压膨化机	河南邓州市星光机械厂	GPH-S100型双螺杆食品挤出膨化机	17.5万	已生产7套,每套28万元有压片机、搅拌保温机、切割机
	北京食品研究所	小型自热式食品膨化机		1979年国内较早研制
	山东食品发酵工业研究所	SP-1型食品膨化机(属长机筒类)		
	长春拖拉机配件厂	ZJ65-1型挤出机		
	长春市103中学汽车配件厂	小型谷物膨化机,主机4kW,远红外加热1.5kW	940(电机)1800(12马力柴油机)	曾参加1985年全国科技成果交易会
	江西粮机厂	GPJ-33型膨化机		
	江西泰和联合收获机厂	PHJ-40谷物膨化机	2000	主电机7.5kW 40~50kg/h

续表 3

类别	厂名	主要型号及特点	参考价/元	说明
谷物挤压膨化机	河南汝南农机修造厂	P-60 谷物膨化机	270	主电机 4kW, 30kg/h
	四川安岳县农机厂	PH-44 型粮食膨化机	300	主电机 4kW, 15~20kg/h
	湖南桂阳县农机厂	XG-20 型谷物膨化机	650	主电机 3.7kW, 20kg/h
	浙江温岭县机械厂	自热式多功能膨化机	250(不连动力)	主电机 3~5kW

无锡轻工业学院丁霄霖、汤逢指导一批硕士、博士研究生,在玉米淀粉挤压、挤压加工中的食品风味等作了较深入的研究。西北农业大学杨林青指导研究生完成了单螺杆食品挤压蒸煮机机理的仿真研究,对改进美乐福的 WMPZ-10 型植物蛋白挤压机提出了有益的建议。江西工业大学熊兆凡等经五年试验研究和江西万年机械厂合作研制的 TSE-75 型双螺杆食品挤压机于 1991 年 12 月通过了江西省省级鉴定。国内也有一批单双螺杆食品挤压机问世,收到了良好的社会、经济效益。

食品挤压机的基础理论,大多仍沿用塑料机械的四个基本理论:固体塞输送理论、熔融理论、熔体输送理论和口模的成型理论。60 年代 Darnell(1956)提出的“固体塞流理论”经 Tadmor 和 Broyer 完善后,一直沿用至今。80 年代中期北京化工学院朱复华在开有透明窗的挤压机上,经观察、摄影和录象等方法,仔细研究了单螺杆塑化物理模型,和他的研究生们建立了“非塞流固体输送理论”,改良了熔融理论,求得非等温幕律流体的二维复合流场<sup>[7]</sup>,在此基础上研制成“高效高速挤压机新型螺杆”,获化工部、轻工部二等奖。1989 年 4 月在日本京都召开的第五次国际聚合物加工学术会议上,宣读了他们“非塞流挤压理论”,轰动了国际学术界,国际著名“聚合物工程与科学(PES)”也来约稿<sup>[8]</sup>。朱复华的新理论是挤压机基础研究中的新突破,是建立在可靠的物理模型基础上的数学模型,是科学、合理的,如能引用于食品挤压理论也将会有新的飞跃。

我们从玉米挤压膨化过程中观察到:经喂粉段将玉米粉散粒体输向压缩段(不是固体塞),在高温高压下,粉料密度逐渐增大,熔体也逐渐增多,粉料也从浅黄色逐步变为深黄色,开始熟化,呈胶凝糊化(即  $\alpha$  化)状态,此时已是流体,在此段中实现生化反应,如脂肪量下降,淀粉  $\alpha$  化,氨基酸增多,再经模头喷入低压室温区,即成膨化玉米果。这一过程,更符合“非塞流挤压理论”,在这方面还需开展更系统深入的研究。

## 6 结 论

食品挤压机在国内外均已批量生产,多数工业先进国家正在投入资金、人力、物力进行深入研究,正向“多功能、全自动、连续式、双螺杆食品挤压机”方向发展,从“生化反应器”的角度研究其挤压、蒸煮、膨化机理,为创制更科学的保健工程食品、研制更好的装备,是有广阔前景的。

## 参 考 文 献

- 1 丁霄霖. 食品工程专题考察组访美报告. 江苏省轻工业协会通讯第九期, 1990
- 2 杨铭铎. 谷物膨化机理的研究. 北京: 食品与发酵工业, 1988 (4): 7~15
- 3 Judson M Harper. Extrusion of Foods Vol. 1 I CRC Press Inc Boca Roton Florida, 1981
- 4 吴孟等. 谷物膨化机理和技术的研究. 中国粮油学报, 1986, 1
- 5 杨铭铎. 谷物淀粉膨化 $\alpha$ 化的研究. 中国粮油学报, 1988, 1
- 6 Yang Mingduo. Studies on vegetable protein expanding in China. 新加坡国际会议论文
- 7 朱复华. 单螺杆塑化挤出物理模型的研究. 流变学进展[二]. 北京: 学术期刊出版社 1986, 529~534
- 8 Fuhua Zhu. Studies on the theory of single screw plasticating extrusion part 1; A new experimental method for extrusion. Polymer Engineering and Science, 1991, 31(15): 1113~1122
- 9 沈再春等. 单螺杆食品膨化机物料膨化性能的试验研究. '91 全国包装和食品加工学术论会论文集. 第一集, 1~7

## The Present Status of Food Extruder Research

Sun Yiyuan

(*Jiangsu Technology Institute*)

Zhang Yan

(*Shandong Import and Export Corporation of Food and Oil*)

Shi Shudong

(*Hubei Teachers College*)

### Abstract

This paper summarizes the production and process characteristics of squeezing food, accentuates the development and present status of food extruder research in the world. It points out the study directions in the world and some of the research improvements at home, as well as the existing problems, gives the references for the relative study.

**Key words** Food extruder Present status of research Advance.