

挤压工艺基础¹

挤压工艺的应用、发展和加工技术

EXTRUSION BASICS

THE USES , DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY INVOLVED IN THE PROCESS OF EXTRUSION

Mi an Ri az 博士 挤压技术主任
美国德州 A & M 大学 食物蛋白开发中心

挤压加工是这样一种工艺过程，即：迫使食品/饲料原料在一种或几种工艺条件下(如搅拌、加热、剪切)流动通过压模，令物料成形和/或喷发干燥(Rossen and Miller , 1973)。换句话说，挤压加工将几种作业合并一起进行，包括搅拌、熟化、揉合、剪切、成形、成粒。

在当今的食品工业中，挤压机是指一种带螺旋特点(即一个带叶片的旋转螺杆，十分严密地安装在一个圆筒内输送流体)连续地加工一种产品的机器。挤压机可以设计成包括各种作业，如粉碎、搅拌、匀质、熟化、冷却、抽真空、成形、切割及装袋。并非所有挤压机都是属于熟化/组织化类型的。

挤压加工的优点

与其他食品/饲料加工技术相比，食品/饲料挤压加工技术的主要优点有：

适应能力强——只需改变少数原料和挤压机操作条件即可制作多种多样的产品。在满足消费者对新产品需求方面，挤压机具有突出的适应能力。

产品特点多样——可以制作各种各样形状、质地、颜色和外观的产品，这是用其他加工方法难以作到的。

能效高——挤压机是在较低水分下进行熟化的，因此再干燥的负担较轻。

成本低——挤压加工的成本低于其他熟化成形工艺，可节约原料费 19%，人工费 14%，节约投资 44%。

生产率和自动化程度高——挤压机提供一个连续的高产量工艺过程，可以实行

¹ 原文载于 Petfood Industry, Jan. 2000 ; 中文单行本编号 FE3-2000

充分自动化控制。

产品质量高——挤压加工是高温短时加热 (HTST) 的工艺过程，减少了营养成分降解，同时改善了蛋白质（通过变性）和淀粉（通过糊化）的消化率。

多种功能

挤压机具有多种功能，包括：

- 1) 将不令人满意的原材料进行匀质和结构重组，使其结构和外形更具吸引力。
- 2) 将原材料加热/熟化以改善淀粉消化率；钝化有毒成分或抗营养成分，如大豆中的抗胰蛋白酶；将产品灭菌。
- 3) 将原材料组合（聚结，压实）为成形产品。
- 4) 控制产品密度，如制作沉性或浮性鱼饲料。
- 5) 几条挤压生产线同时加工，将出机的料流合并在一起，如制作夹心食品和宠物饲料。

发 展

在以往 200 年中，挤压工艺和挤压机同时在几类工业中发展起来 (Janssen, 1978; Harper)。重要日期如下：

1797——英国的 Joseph Bramah 首次运用挤压原理，研制了一个手动活塞压力机挤压无缝铅管。后来有人用类似设备制作陶管、瓦片、肥皂和通心面。

1869——英国的 Fellows 和 Bates 研制了第一台为人所知的双螺杆连续挤压机，最初用来制作肉肠。

1873——Phoenix Gummiwerke AG 开发了第一台单螺杆挤压机，最初用来加工橡胶。

40 年代后期——对改进动物饲料外观、适口性和消化率的需求导致熟化挤压机的开发，首次被广泛接受的干的现代狗饲料“Gains Homogenized Meal”（意为均衡膳食）上市。

50 年代后期——有了加压的预调制器，可将饲料原料在 100℃ 以上预熟化。

60 年代——半湿的宠物饲料、预糊化淀粉之类的预熟化谷物食品原料和饼干粉上市。还开发了外观似肉的组织化大豆产品。这类产品在工业界叫作组织化植物蛋白 (texturized plant protein, 简称 TPP) 和组织化大豆蛋白 (textured soy protein, 简称 TSP)。Archer Daniels Midland Company 公司取得“Texturized Vegetable Protein”

和“TVP”(意义仍为组织化植物蛋白)的版权。

80年代——双螺杆挤压机制造在欧洲已有35年历史,直到80年代早期才在美国引起明显兴趣。

90年代早期——开发了第三代弱剪切-低热挤压机(reduced shear/heat extruders)、预调制器、直接蒸汽注入和带放气孔的机镗。

尽管基本原理仍然可用,但一些较早的挤压机分类系统已经被一些新的设计废弃。以往二十年,随着食品、宠物饲料和其他饲料的制造普遍进入大规模、集中化和高度自动化的进程,许多早期的低产量小型机器已被搁置起来,现在只有历史意义了。

挤压机设计曾经是相当专用的,而现在是在一个基本的驱动装置上,配备按标准设计制造的预调制器、螺杆节段、机镗、压模和切刀,取得所需要的剪切、加热/冷却、产品成形的效果。在这场改革中,早期用来制作爆裂小食品的苛奈(collet)型挤压机已基本被经常绝热操作的短L/D熟化挤压机代替,许多冷成形通心面压力机正被一步熟化成形的双螺杆挤压机代替。

词 汇

以下是一些基本词汇:

喂入料 挤压机内加工的原料或混合料。

预调制器 一种调节原材料水分和温度的装置,可以使原材料进入挤压机之前部分或完全熟化。

螺杆 将物料输送通过挤压机的部件(图1)。

螺片 螺杆的螺旋形输送表面,将物料向前推进(图1)。

螺距角 螺片对螺根轴线的角度(图1)。

螺根 螺杆的轴杆部分,螺片围绕其上(图1)。

蛇管 一种中空的分节螺杆元件,装在组合式螺杆的轴杆上,选择适合的蛇管节段可以组成各种剖面和作用的螺杆。

剪切锁(蒸汽锁、剪切环、环形锁) 一种环状装置,将组合式螺杆上的各螺旋节段锁在一起。空隙很小,从而使剪切加强并减少蒸汽朝机镗冷却段回流。

空心螺杆 将实心螺杆或轴钻成空心轴,使热的或冷的液体流通。有的可带喷嘴让蒸汽喷注到物料中。

剪切 一种揉捏、搅拌作用,使输送的物料匀质、受热。

啮合或带切口螺杆 一种有一段缺螺片的螺杆。通常是将短管（螺柱）穿过挤压机机膛壁进入无螺片区段，以加强制品剪切。蒸汽也可通过短管孔内安装的阀门注入物料中。

机膛 筒状部件，挤压机螺杆在其中转动。

冷却/加热套筒 机膛外围的空心套筒，可流通冷水、蒸汽或热油之类的加热介质。在有些地方，机膛采用直接电热可能更好。

机膛区段 一个分成几节的机膛区段，可以有自己的冷却/加热套筒。这些节段可以刻直沟或刻螺旋沟，常与蛇管螺杆等长。生产中往往将不同类型的机膛区段组装一起以增强蛇管节段的作用。

L/D（长度/直径）比 机膛内沿至出口端的距离，除以机膛内径。食品挤压机 L/D 比在 1:1 至 5:1。

模板 使制品出机时成形的末端装置。可在模板上直接钻孔，或将模板做成圆孔状，装上设计复杂、可能用耐磨材料制成的压模嵌入件，使物料成形。

颗粒 用挤压机成形并切割的无论什么形状的散粒，有时叫作苛奈（collet）。

压模有效厚度（die land） 指压模模孔直径不变部分（物料从中通过）的长度。较长的有效厚度使物料的反压加大，对颗粒的压缩也加大。

切刀 将挤压物切割成所要求的长度的装置。

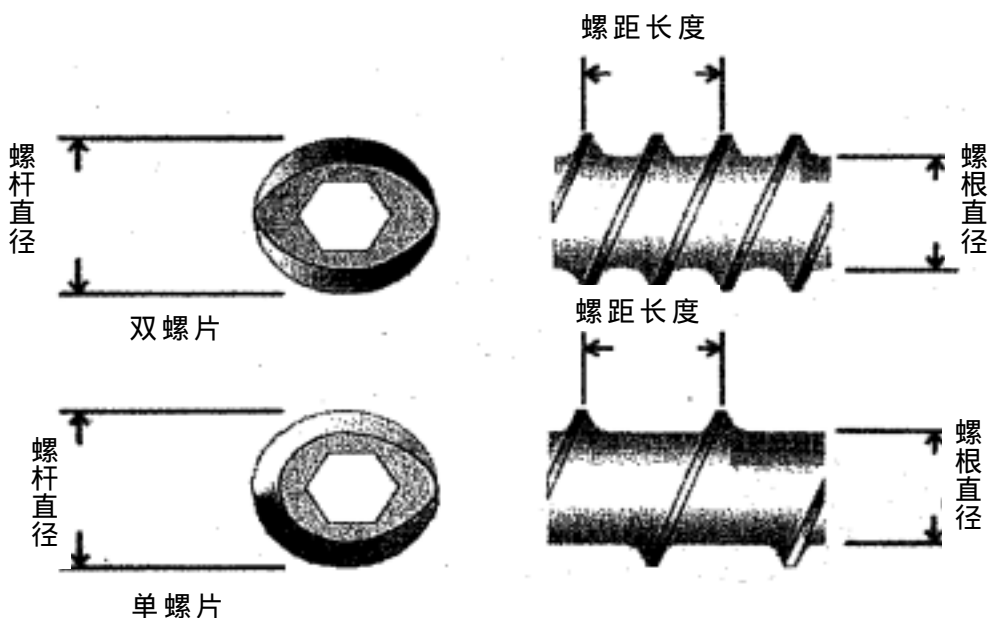


图1 螺杆词汇（经 Wenger Manufacturing 许可引用）

挤压机分类

1. 单螺杆挤压机

单螺杆挤压机 (SSE), 螺杆的螺片深度变浅可使压缩加强, 螺杆高速旋转可加强剪切力和转化为热能的机械能输入, 摩擦使得物料变热。

机膛装有通蒸汽的套筒, 使物料在融化区增加受热。为提高产量和效率, 普遍使用预调制器, 在原料进入挤压机之前进行蒸汽处理使之预热。

实心单螺杆挤压机

这种挤压机从喂料端到出料端, 螺根逐渐加粗, 使固定螺距的螺片逐渐变浅, 致使机内物料容量逐渐减小。如未经预调制, 干的物料在第一个喂料区就被着湿搅拌, 然后在传输区被压实, 在融化区熟化, 通过成形压模出料, 被一个旋转切刀切成要求的长度。在输送区的压缩比可高达 5 : 1。

这种挤压机还装有若干套筒, 可以进行机膛加热和冷却。例如, 喂料端后面的区段在运行中可以冷却以保持物料粘度, 并防止蒸汽从熟化区回流; 如想要制品膨胀, 靠近压模端的机膛可以保持热的状态, 如不想要制品膨胀, 则保持冷的状态使物料温度低于水的沸点。当压实的物料在机膛内壁上擦抹并朝着模板形成的反压力向前输送时, 即产生剪切力。

分节单螺杆挤压机

一个有分节螺杆和机膛的单螺杆挤压机剖面示于图 2。在这里, 螺杆的螺根直径不变, 靠改变螺片的螺距产生压缩作用。这种情况下, 物料从全螺距螺杆节段压送到有双螺旋线、半螺距螺片的螺杆节段而被压缩。改变剪切程度有两种方法:

1) 利用剪切锁加大直径, 使压力增加而迫使物料进入邻近的螺杆节段。

2) 选择有直沟的机膛, 或选择螺旋沟机膛。有直沟的机膛搅拌和剪切更强, 因为在螺片和机膛壁之间的滑动更大。

实心螺杆挤压机仍然用于特殊的低压熟化和成形。不过, 分节螺杆和机膛节段在螺杆-机膛定制设计和部件更换上有明显的通用性和灵活性, 大多数单螺杆挤压机和双螺杆挤压机都使用它。

按剪切程度分类

按修改的 Harper 方法, 单螺杆挤压机的种类有:

1) 冷成形 (通心面类) 挤压机: 是有平滑机膛、深螺片、低螺杆转速的弱剪切机, 原先用来加工着湿的粗粒粉, 使之通过压模而几乎不熟化。

2) 高压成形挤压机: 是有沟槽机膛和压缩螺杆的弱剪切机。通常用来挤压预

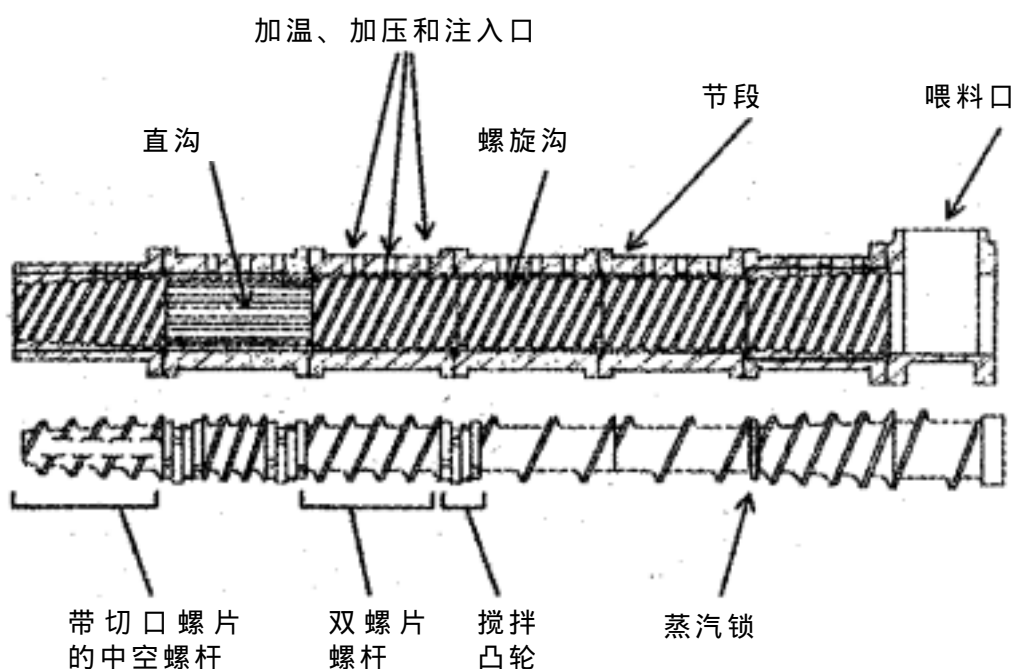


图 2 有分节螺杆和机镗的单螺杆挤压机横截面。这些节段在机镗定制设计和部件更换方面有相当的可变性。(经 Wenger Manufacturing 许可引用)

糊化过的谷物和其他面团，制作供进一步烘干、爆胀或油炸的颗粒。物料温度要低，以防产品在压模出口爆胀。

3) 弱剪切熟化挤压机：是中度剪切机，有强压缩螺杆和沟槽机镗以加强搅拌。可以给机镗或螺杆输入热量以“熟化”物料（灭菌、酶的钝化、蛋白质变性、淀粉糊化），但要避免在压模爆胀。用这种机器可以制作软-湿饲料和仿肉干之类的仿肉小食品。

4) 苛奈（Collet）挤压机：是有沟槽机镗的强剪切机，螺杆有若干浅螺片。一直用来制作脱脂玉米楂爆裂小食品。其原料较干（水分 12%），温度迅速升到 175℃，淀粉糊精化并部分糊化，经过压模出料时立即脱水爆胀，形成脆的膨化卷或叫 collet。这种机器最初的螺杆很短（ $L/D = 3 \sim 1$ ），但已开发了螺杆较长的（ $L/D = 1 \sim 10$ ）机器，主要靠摩擦生热制作 collet。一种进口的“collet 型”短 L/D 挤压机在美国用来加工动物饲料。collet 一词有多种含义，其中之一是指为提高溶剂浸提效果而将油料挤压制得的粗颗粒。

5) 强剪切熟化挤压机：强剪切机器，螺杆的螺片深度和/或螺距不等而具有高压比、高温和不同程度的爆胀。起初是利用来自塑料工业的长机镗（ $L/D = 15-25 \sim 1$ ）

挤压机，现已有了许多改型设计用于食品加工。

现在各种各样的螺杆和机膛设计还有加热和冷却选择。有的机器装备有调制室以进行饲料原料的预着湿和预热。有一种挤压熟化机的设计是将物料处于最高温的时间减少到最低限度，Smith (1976) 和 Linko 等人 (1981) 将它取名为高温短时装置；因为是热和压力促使物料在加工中流动，所以这种挤压熟化机也叫作“热塑挤压机”(Last, 1979)。

2. 双螺杆挤压机

双螺杆挤压机 (TSE) 在一个机膛内有两个平行螺杆，横截面呈 8 字形。TSE 在七十年代开始用于食品加工 (图 3)。

TSE 通常比同样产量的 SSE (单螺杆挤压机) 贵一倍半，但其质量控制和加工灵活性使它仍受食品/饲料工业青睐。TSE 有下列优点：

1) 可以加工稠的、多油的、粘的或非常湿的原材料和其他一些在 SSE 中会打滑的材料 (用 TSE，脂肪添加可高达 25%)。

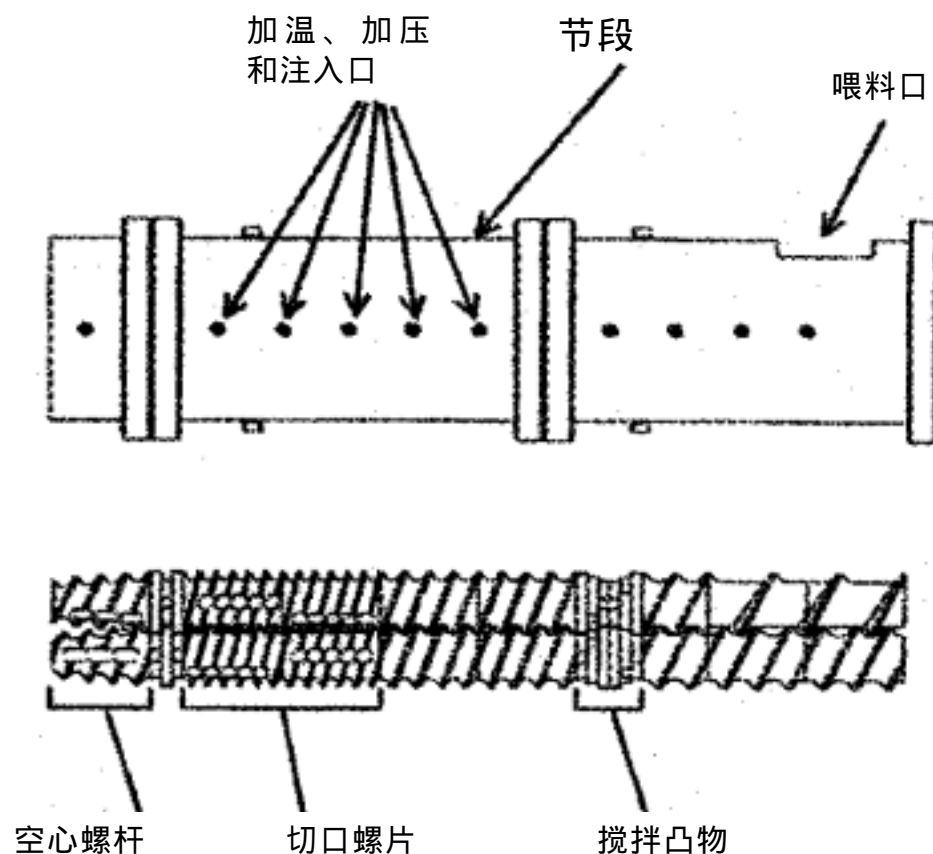


图 3 一种双螺杆挤压机横截面图，横截面呈 8 字型的机膛内有两个平行螺杆 (经 Wenger Manufacturing 许可引用)

2) 小零件磨损比 SSE 轻。

3) 可加工的原料粒度范围宽 (从细粉到粒状), 而 SSE 只能加工特定范围粒度的材料。

4) 由于螺片是正向泵吸, 机膛内物料流通更为均匀。

5) 由于自拭特点, 清理很方便。

有四种可能的双螺杆挤压机:

1) 非啮合同向旋转;

2) 非啮合相对旋转;

3) 啮合同向旋转;

4) 啮合相对旋转。

这几种类型都有产品。非啮合双螺杆挤压机可作为两个分离的并列螺杆运行, 各有不同的充满度和出料。自拭型的同向旋转啮合双螺杆挤压机在美国非常盛行, 不过, 在用相对旋转啮合双螺杆挤压机加工需要高泵吸压力的原材料方面, 兴趣日增 (图 4)。

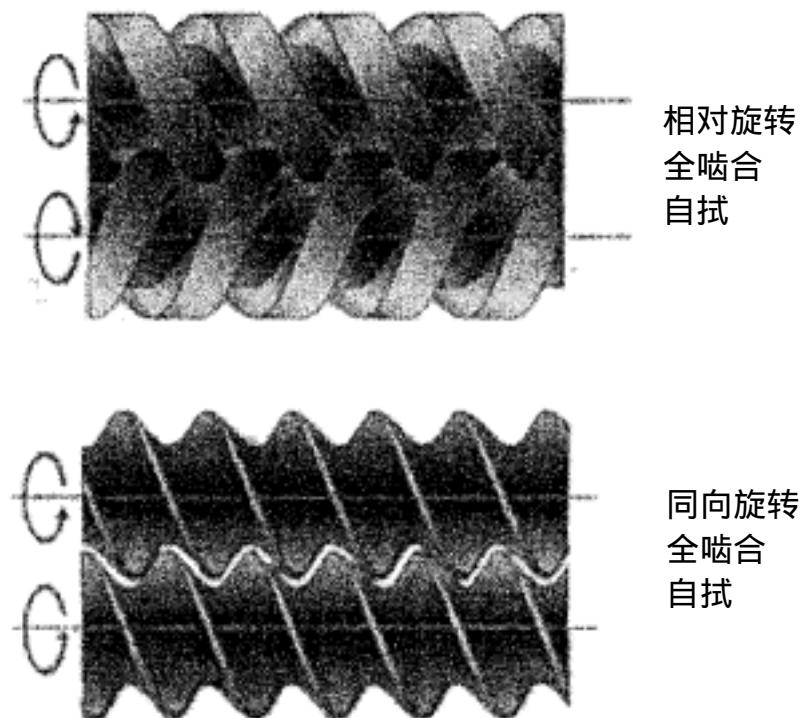


图 4 两种双螺杆挤压机 (经 Wenger Manufacturing 许可引用)

啮合双螺杆挤压机的价格一般比同样产量的单螺杆挤压机贵 50-150%，但具有如下优点：

1) 是正泵吸作用，减少了压模部位的波动。

2) 容易通过中试扩大为大规模生产。

这类挤压机在加工粘性原材料方面的能力，对生产多种形状产品的物料成形和填料特别重要。

选择什么样的挤压机

可供选择的挤压机种类之多足以使没经验的客户眼花缭乱。那么多的挤压机制造厂家能够竞争生存这一事实，说明多数厂家的产品都有其独到之处。选择适合的挤压机应考虑下列事项：

1) 加工产品类型。

2) 预期市场所能承受的挤压加工厂规模。

3) 可利用的资金和回收初期投资的允许期限。

4) 估计机器的相对能源需求，蒸汽、电力、及其他可能的机械能的当地价格。

5) 当地是否有熟练的机器操作、保养人员，能否从设备厂家得到指导和现场服务。

经过一段实践之后，食品/饲料加工厂熟悉了他的挤压机性能、机器特点和保养要求，公司的工程师、操作员和机械师的信心加强，这时就有可能进行技术革新进一步提高挤压机效率。如果拥有经验丰富的人员，购买二手货设备可能很实惠。如果食品/饲料加工厂家已经熟悉机器的磨耗特性，最好索取关于所有强化磨耗面（包括压模）的最初鉴定说明。自动控制可能是值得考虑的，可用于控制挤压机的上行物流作业和下行物流作业。在决定大笔投资之前，明智的做法是通过你的个人信息网和可能进行的中试，对你的打算再一次进行确认。

（刘瑞征 翻译）

参考文献

Harper, J.M. 1978. Extrusion processing of food. Food Technology 32(7):67-72.

Harper, J.M. 1981. Extrusion of Foods. Vols. I and II, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

Harper, J.M. 1986 Extrusion texturization of foods. Food Technology 40(3):70-76.

Janssen, L.P.B.M. 1978. Twin Screw Extrusion. Elsevier, New York.

Last, J. 1979. Thrmoplastic extrusion trials of some oilseed, legume and cereal proteins. CSIRO FL Res. Qtr. 39:25-29.

Linko, P., P. Colonna and C. Mercier. 1981. High-temperature, short-time extrusion. Advances in Cereal Science and Technology, Vol. IV Y. Pomeranz, ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, PP. 145-235.

Rossen, J.L. and R.C. Miller. 1973. Food extrusion. Food Technology 27(8):46-53.

Smith, O.B. 1976. Extrusion cooking. New Protein Foods. NM. Altschul, ed., Academic Press, New York, pp. 86-121.