

挤压膨化与后添加技术在饲料工业中的应用（1）

金征宇

1 挤压膨化技术

挤压膨化技术应用于饲料工业始于 20 世纪 50 年代的美国，主要用于加工宠物食品，对其进行预处理以改进消化性和适口性，也用于生产反刍动物蛋白补充料的尿素饲料 (L. Moscicki, 1982)。到了 20 世纪 80 年代，挤压技术已经成为国外发展速度最快的饲料加工新技术，它在加工特种动物饲料、水产饲料、早期断奶仔猪料及饲料资源开发等方面具有传统加工方法无可比拟的优点 (Borello, C. 1985)。

挤压技术在我国饲料工业中的应用尚属起步，有着广阔的发展前景。本文结合饲料工业的发展，就挤压过程中饲料成分的变化，挤压技术在饲料资源开发、饲料产品开发及饲料加工中的应用等方面作一概述。

1.1 挤压过程中饲料营养成分的变化

1.1.1 挤压过程中碳水化合物的变化

碳水化合物是饲料中的主要组成成分，通常在饲料中占到 60%~70%，因此是影响挤压饲料特性的主要因素。

1.1.1.1 淀粉

挤压作用能促使淀粉分子内 1-4 糖苷键断裂而生成葡萄糖、麦芽糖、麦芽三糖及麦芽糊精等低分子量产物，致使挤压后产物淀粉含量下降。但挤压对淀粉的主要作用是促使其分子间氢键断裂而糊化。淀粉的有效糊化使挤压处理不仅改善了饲料的营养，而且有利于饲料成粒，从而提高饲料加工品质。

淀粉在挤压过程中糊化度的大小受挤压温度、物料水分、剪切力、螺杆结构及在挤压机内的滞留时间、模头形状等因素影响。一般规律是高水分、低温挤压使淀粉部分糊化，低水分、高温挤压有利于提高淀粉的糊化度，且使淀粉部分裂解为糊精。

淀粉有直链淀粉与支链淀粉之分，它们在挤压过程中表现出不同的特性。就膨化度而言，总的趋势是淀粉中直链淀粉含量升高则膨化度降低，有报道说 50% 直链淀粉与 50% 支链淀粉混合挤压可得到最佳的膨化效果。另外，来源不同的淀

粉其挤压效果也存在差异,小麦、玉米和大米中的谷物淀粉具有较好的膨化效果,块茎淀粉不仅具有很好的膨化性能而且又具有十分好的黏结能力。

1.1.1.2 纤维

纤维在饲料中通常充当填充剂。由于用于挤压的纤维原料及挤压采用的设备和工艺条件不同,对挤压过程中纤维数量的变化文献报道差异较大。Fornal 等对荞麦与大麦的挤压研究,Wang 等对小麦和小麦麸皮的研究表明,挤压后的纤维数量降低,而 Bjorck (1984)、Ostergard (1989) 分别对全麦粉及全大麦粉挤压研究的结果正好同上述相反;至于 Silijestron(1986)及 Schweizer(1986)研究则认为全麦粉在挤压过程中其总纤维含量不发生变化。但对挤压过程中纤维质量变化的研究结果较为一致,均表明纤维经挤压后其可溶性膳食纤维的量相对增加,一般增加量在 3%左右,表 1 是 Wang 等在不同条件下分别对整粒小麦与小麦麸皮挤压后纤维变化的研究结果。这种结果是挤压过程中的高温、高压、高剪切作用促使纤维分子间价键断裂,分子裂解及分子极性变化所致。由于可溶性膳食纤维对人体健康具有特殊的生理作用(Gordon, R. Huber, 1991; Cummings, J. H, 1978), 因此采用挤压手段开发膳食纤维无疑是一个很好的方法,但对动物是否同样具有作用尚未见报道。

饲料工业中的纤维原料主要来源于玉米、饼粕和糠麸。在挤压过程中,其规律一般是膨化度随纤维添加量增加而降低,但不同来源的纤维或纤维纯度不同对膨化度的影响有明显差异,其中以豌豆和大豆纤维的膨化能力为好,它们在以淀粉为主原料的饲料中添加量达到 30%对最终产品的膨化度也无显著影响,而象燕麦麸及米糠,由于它们含有较高的蛋白质及脂肪,其膨化能力就很差。

表 1 挤压对纤维品质的影响

材料与处理条件*	膳食纤维/%**		
	总纤维	不溶性纤维	可溶性纤维
整粒小麦:			
未处理小麦	14.0	12.8d	1.25d
200rpm, 103℃, 21%	13.3c	11.3c	1.97cd

300rpm, 117℃, 20%	13. 1c	11. 2c	1. 94cd
400rpm, 119℃, 21%	13. 4c	11. 2c	2. 19bc
麸皮:			
未处理麸皮	55. 4a	53. 7a	1. 72cd
200rpm, 109℃, 20. 5%	54. 0b	51. 0bc	2. 96b
300rpm, 137℃, 18. 2%	54. 7ab	51. 8b	2. 89b
400rpm, 140℃, 21. 8%	54. 4ab	50. 2c	4. 25a

*表列挤压条件分别为挤压机螺杆转速、出模料温及出模物料水分。

**同一列上标有不同字母的表示其差异显著 (P<0. 05)。

1. 1. 1. 3 亲水胶体

胶体主要用于水产饲料的生产, 通常有阿拉伯胶、果胶、琼脂、卡拉胶和海藻酸钠等亲水胶体, 它们经挤压后其成胶能力将普遍下降。在挤压过程中其亲水特性还将影响常规的挤压条件, 降低挤压产品的水分蒸发速率及冷冻速率, 提高产品的质构性能。对于一个特定的产品, 在选择亲水胶体时胶体的粘稠性、成胶性、乳化性、水化速率、分散性、口感、操作条件、粒径大小及原料来源等因素均得慎重考虑。

1. 1. 1. 4 糖

糖具有亲水性, 在挤压过程中将调控物料的水分活度, 从而影响淀粉糊化。挤压的高温、高剪切作用使糖分解产生羰基化合物, 从而同物料中的蛋白质、游离氨基酸或肽发生美拉德反应, 影响挤压饲料的颜色。另外, 在挤压过程中添加一定量的糖能有效地降低物料的粘度, 从而提高物料在模口出口时的膨化效果, 这一点对控制水产饲料的沉浮性有一定的帮助。因此, 在挤压饲料中糖除了起提供能量作用外, 主要是作为一种风味剂、甜味剂、质构调节剂、水分活度与产品颜色调控剂而被应用, 通常使用的糖有蔗糖、糊精、果糖、玉米糖浆、糖蜜、木糖和糖醇。

1. 1. 2 挤压过程中蛋白质的变化

蛋白质受挤压机腔内高温、高压及强机械剪切力作用，导致蛋白质最终变性。这种变性使蛋白酶更易进入蛋白质内部，从而提高消化率。但就蛋白质品质而言，不同的挤压条件对其影响不一，这主要取决于挤压过程中有效赖氨酸的损失。总的趋势是在原料水分低于 15%，挤压温度高于 180℃的条件下，挤压时水分愈低，温度愈高，赖氨酸损失越大，蛋白质的生物学效价就愈低 (Maclean, W. C., 1983; Noguchi, A., 1982; Bjorck, I. 1983)。适当改变挤压工艺条件，如降低饲料中葡萄糖、乳糖等还原糖含量，提高原料水分含量 (Tossavainen, O. S., 1986) 等可有效减少美拉德反应的发生。K. Dahlin (1993) 等通过不同条件下对玉米、小麦、黑麦和高粱等 8 种谷物的处理结果表明：在原料水分为 15%，挤压温度为 150℃，转速为 100rpm 的条件下挤压，产品蛋白质的生物学效价与未处理原料相比得到显著提高 (Dahlin, K., 1993)。

1.1.3 挤压过程中脂肪的变化

挤压作用会使甘油三脂部分水解，产生单甘油脂和游离脂肪酸，因此从单纯处理来看，挤压过程将降低油脂的稳定性，但就整个产品而言，挤压产品在贮藏过程中游离脂肪酸含量的升高显著低于未挤压样品，这主要归结于挤压使饲料中的脂肪水解酶、脂肪氧化酶等促进脂肪水解的因子失活。

脂肪及其水解产物在挤压过程中能同糊化的淀粉形成络合物，从而使脂肪不能被石油醚萃取。这种络合物的形成使脂肪不易从产品中渗出而给产品一个很好的外观。这种络合物在酸性的消化道中能解离，因此也不影响脂肪的消化率。

脂肪对饲料的质构、成型和适口性等作用较大，但从总体看脂肪的存在不仅影响最终挤压产品的质量 (主要是膨化度)，甚至可能影响整个挤压过程的顺利进行。例如对脱脂大豆粉的挤压，其脂肪的含量不应超过 1%；在饲料工业的膨化料生产中，单螺杆挤压机油脂添加量在 0%~12% 时，对挤压效果无影响，当添加量在 12%~17% 范围时，添加量每增加 1% 产品的容重就增加 16g/L，添加量继续增大则效果更差，当超过 22% 时则产品就失去了一般挤压的特性。因此挤压应以含油量低的原料为好。

1.1.4 挤压过程中维生素、矿物质及风味物质的变化

维生素在加工过程中能否保留下来，很大程度上取决于加工条件。挤压过程中，热敏性维生素如 VB1、叶酸、VC、VA 等是最容易受到破坏的几种，而其他维

生素如烟酸、VH、VB12 比较稳定。从生产方便性看，挤压之前添加维生素优于挤压后添加，但必须超量添加以克服挤压过程维生素部分损失对动物营养的影响。有资料报道，在挤压之前添加维生素，不仅挤压过程中会对维生素产生破坏，而且挤压之后，产品在储藏过程中维生素的损失会加快。所以挤压物料的维生素可能在挤压之后添加更为经济。

挤压过程中，矿物质一般不会被破坏，但是具有凝固特性的新聚合物的形成可能会降低某些矿物质的生物效价，例如植酸可能同 Zn、Mn 等络合，形成不为动物消化的化合物。

由于挤压时的高温、高水分将分解风味物质，且具有挥发性的风味物质在模头口将随水蒸汽一起蒸发而大部分散失。因此，加工过程中风味剂的添加都采用挤压后添加。

2 挤压技术与饲料加工

2.1 挤压技术与饲料产品

随着饲料工业的发展及对挤压技术的进一步认识，目前，挤压技术被广泛用于生产浮性、半浮性及沉性的水产饲料，甚至用于生产断奶仔猪的补料及用于断奶仔猪的幼畜饲料。

对于水产饲料的生产，同传统的蒸汽调质与环模制粒相比，挤压不仅能精密有效地控制饲料的漂浮性及沉降速率，而且还能使饲料具有更好的水稳定性、颗粒完整性及更强的吸收油脂能力。这些优点有助于提高饲料的消化率、延长饲料的保质期、提高饲料的转换率和降低水质污染。至于仔猪饲料的生产，则挤压不仅能使饲料具有良好的适口性和易消化性，而且与传统颗粒饲料相比，动物饲用这些饲料腹泻的发生率相对较少。

挤压技术在饲料产品生产中的另一个应用就是制备反刍动物尿素淀粉饲料。将高淀粉谷物和尿素等混合经挤压使淀粉接近于凝胶化程度，并与非结晶状的尿素紧密结合。反刍动物食用这种产品后不仅能降低尿素在动物瘤胃中的释氨速度，而且还能提高淀粉的发酵速度，从而保持同氨的同步释放，提高菌体蛋白的合成速率，使得尿素的使用更为安全有效。

2.2 挤压技术与饲料资源开发

2.2.1 全脂大豆挤压

一定操作条件下的挤压不仅能有效地使大豆中的抗营养因子如抗胰蛋白酶、脲酶等失活，而且其高温、高压和高剪切的瞬时作用有利于蛋白质变性、淀粉糊化和大豆油细胞破裂，从而使 3 者的消化率提高。许多研究表明挤压可显著提高大豆的饲养价值。挤压全脂大豆与传统的豆饼(粕)加油脂的饲料相比，不仅在饲养效果上具有优越性，在饲料加工中也克服了添加油脂对生产设备的要求及产品质量的影响，更为可取的是全脂大豆通过挤压能有效消除其中一些使动物、特别是早期断奶仔猪过敏的因子，从而克服了饲喂豆粕加油脂型饲料引起的仔猪消化紊乱、肠粘膜出现炎症、导致仔猪下痢的症状。这使挤压全脂大豆应用于仔猪饲料具有豆粕加油脂型饲料无可比拟的优越性，从而越来越受到饲料加工者的欢迎。

2.2.2 羽毛类角蛋白挤压

羽毛类角蛋白资源丰富，价格低廉。它不仅粗蛋白质含量高达 80%以上，是一种潜在的蛋白质饲料，而且其胱氨酸含量也较高(6%~7%)，用于饲料可降低价格昂贵的蛋氨酸添加，因此，开发羽毛角蛋白资源，使之成为饲料原料意义重大。

金征宇等(1996e, f)以挤压机作为反应处理器，利用挤压机腔高温、高压和高剪切的环境及挤压过程中外加添加剂的方法进行羽毛挤压，使羽毛在消化率达到饲用要求(胃蛋白酶的消化率>75%)的同时，各种氨基酸生物学效价与高压水解羽毛粉无差异，从而不仅克服了传统高压水解或酸碱水解所需设备投资大、能耗高、劳动强度大和环境污染严重等缺点，而且初步实现了羽毛加工连续化的生产工艺，为资源的合理利用提供了新的开发途径。

2.2.3 油料饼粕的挤压脱毒

油料饼粕是饲料工业最主要的蛋白质原料，但由于它们大多含有干扰蛋白质消化或影响畜禽健康的抗营养因子或有毒物质，因此在使用中受到一定的限制。资料表明，挤压机的高温高压环境或以挤压机作为反应器，在挤压过程中添加适当的添加剂，能有效消除或降低饼粕中的有害因子。

例如，挤压过程中添加石灰，能显著减少蓖麻籽饼粕的蓖麻毒和 CB-IA 过敏素的含量；添加 5%强碱和 1%硫酸亚铁，在 150℃条件下挤压，可使油菜籽与大豆混合物的芥子甙总量减少 80%(但脲可能升高)，花生粕中添加 0%~2.5%NH₄OH，在 175~180℃条件下挤压，则黄曲霉素或残留量可减少到原来的 20%以下。田菁

籽粉经挤压，其有毒成分生物碱含量由原来的 1.917%降至 0.260%，这种有效的降毒方法，大大提高了油料饼粕的利用率。