

制作高质量猪饲料的热加工技术(制粒、膨胀、挤压)

Joe D. Hancock堪萨斯州立大学, 动物科学系

前言

饲料原料经粉碎搅拌之后,可作为粉料直接饲用,也可投入进一步的加工,通常是热加工或加热加压并用。饲料工业这类“热加工”最普遍的形式有制粒、烘烤、蒸汽压片、以及挤压/膨胀。烘烤常用来制作全脂大豆产品(例如烤大豆);但用来加工谷类并不多见。蒸汽压片常规地用来为围栏饲养的牛加工高粱,但不用来制作猪饲料。挤压是加工全粒大豆的首选方法;但如用来加工猪饲料中的谷类,通常认为不合算(断奶仔猪和产奶母猪的饲料或许除外)。于是,制粒和制粒的猪饲料成为以往40年极受欢迎的技术和产品。

制粒

从饲料制造商的角度看,制粒的好处包括减少饲料搅拌后的分级、提高容重、减少粉尘、更便于搬运。此外,养猪场常抱怨用细粉碎的谷类饲料(粒度 $<600\mu\text{m}$)在料仓和喂料器中流动性差。制粒可以消除结拱现象,使含有细粉碎原料的饲料在使用中减少麻烦。

Hanke 等(1972)、Baird(1973)、Wondra 等(1995b)报道,颗粒饲料能提高ADG(平均日增重)。但其他许多科学家报道,制粒对生长速度没有显著影响(如:NCR-42 Committee on Swine Nutrition, 1969)。尽管如此,综合表1的全部数据来看,饲喂颗粒饲料的生长-育肥猪,其ADG平均提高6%,增重效率提高6-7%。

关于饲喂颗粒饲料的猪之所以会改善生长情况的原因,众说纷纭。Skoch 等(1983a)认为制粒提高了饲料容重并减少细粉,使得饲料的适口性更好。但经常观察到饲喂颗粒饲料的猪的饲料摄入量减少,改善适口性的说法与此不符。Wondra 等(1995b, c)试验报道,制粒提高了DM(干物质)、N(氮)、和GE(总能)的消化率。Jensen 和 Becker(1965)认为,制粒使淀粉糊化,从而更易被酶分解。尽管有人说制粒过程的条件不足以使淀粉糊化,但其他人认为,制粒当中的加热、水

表1 制粒对猪生长表现的影响^a

文 献	猪体重 Kg	猪头数	粉料			颗粒		
			ADG	ADFI	G/F	ADG	ADFI	G/F
NCR-42 Committee on Swine Nutrition(1969)	20-91	556	0.77	-	0.31	0.78	-	0.32
Hanke 等(1972)	58-99	379	0.75	-	0.29	0.80	-	0.31
Baird(1973)	15-100	120	0.69	2.52	0.270	0.72	2.43	0.292
Tribble 等(1975)	29-100	192	0.66	-	0.265	0.68	-	0.291
Harris 等(1979)	70-100	98	0.61	2.34	0.261	0.66	2.34	0.282
Tribble 等(1979)	59-98	144	0.62	2.52	0.244	0.70	2.56	0.273
Skoch 等(1983a)	49-98	60	0.77	2.39	0.323	0.84	2.44	0.344
Wondra 等(1995b)	55-115	160	0.96	3.22	0.297	1.00	3.16	0.318

^a Tribble 等(1975, 1979)和 Harris 等(1979)用的是高粱为主的饲料,其他都用玉米为主的饲料。

合、剪切确实能分裂淀粉和蛋白质的分子结构，使之对水解酶类更为敏感。另外，许多研究者更倾向于将喂颗粒料改善生产表现归因于减少了饲料浪费。如果只是增重效率提高，这种说法还能成立，但却不能解释为什么经常观察到饲喂颗粒饲料的猪的养分消化率和增重速度也得以提高。

关于提高消化率的原因是否在于饲养方式的改变，或消化道与颗粒饲料及粉状饲料发生反应的方式有所不同（例如食糜流动的改变），或者在于热加工的某种直接影响（例如淀粉糊化、蛋白变性），这些都还有待研究。无论如何，在集约畜牧生产区猪的养分排泄问题正在引起环保关注，而Wondra 等 (1995b)报道，制粒可使干物质和氮的排泄分别减少23%和22%。因此能够提高养分消化率减少养分排泄的谷类加工技术，对养猪业都有特殊的意义。目前政府规章正考虑对畜牧生产各个方面进行认真评价，目标是尽量少产生废物。因此，能够尽量提高养分消化率的加工方法具有特殊的重要性。

粒 度

从机器效率角度考虑，用很薄的环模生产大直径颗粒，能用最少的时间和电力获得最大的制粒机产量。Lavorel 等(1984)进行了一个哺乳试验，对2.5mm、3mm、5mm的颗粒进行评价。作者报道说，在断奶后头2周内，饲喂2.5mm颗粒的断奶仔猪的生长速度比饲喂5mm颗粒的仔猪要快；再后2周（14-28天），饲喂不同粒度颗粒的猪的生长情况没有差别。关于粒度对生长-育肥猪的影响有几份资料，归纳于表2。Luce 等(1973)用直径 4.8mm、6.4mm、9.6 mm的颗粒饲料饲养育肥猪，报道说，喂高粱为主的饲料的猪，颗粒粒度对猪的生长情况几乎没有影响；但用小麦为主的饲料喂

表2 粒度对猪生长表现的影响

文 献	阶 段	猪头数	粒度 mm	ADG kg	ADFI kg	G/F
Luce 等(1973)	生长-育肥	208	4.8	0.82	2.49	0.33
			6.4	0.85	2.59	0.33
			9.5	0.82	2.49	0.33
Luce 等(1973)	生长-育肥	144	4.8	0.75	2.14	0.35
			6.4	0.72	2.14	0.34
			9.5	0.71	2.15	0.33
Harris 等(1979)	生长-育肥	66	4.8	0.66	2.17	0.30
			6.4	0.66	2.50	0.26
Tribble 等(1979)	生长-育肥	108	4.8	0.71	2.42	0.29
			6.4	0.71	2.83	0.25
			12.7	0.68	2.44	0.28
Hanrahan (1984)	生长-育肥	1,360	5.0	0.49	1.94	0.25
			10.0	0.49	1.99	0.25

猪，4.8mm颗粒所得ADG比9.5 mm颗粒的要高，所得肉/料比也比6.4mm和9.5mm颗粒的要高。Harris 等(1979)认为，饲喂4.6mm颗粒的猪，育肥效率比饲喂6.4mm颗粒的要高。然而，同一实验室同时进行的研究(Tribble 等, 1979)表明，给育肥猪饲喂粒度在4.6-12mm直径范围内的颗粒饲料，其ADG或肉/料比均无差异。因此，在这涉及粒度的几份报告中，关于粒度对猪生长情况的真实影响缺少一致性。大家还相信，小猪喜好小颗粒，大猪喜好大颗粒；因此，需要多种尺寸的环模，以

适应多种饲料的加工。

关于猪饲料的最佳粒度问题,Traylor等(1996)进行了几个试验以查明粒度对哺乳期仔猪和育肥猪生长的影响。哺乳试验中,用断奶仔猪(平均初重5.4 kg)进行29天的生长测定,日粮处理包括一个玉米为主的粉料对照和2mm、4mm、8mm及12mm颗粒饲料。从0到5天,颗粒饲料使ADG提高25%,肉/料比提高36%(表3);但粒度不影响生长表现。从0到29天的试验全程,与粉料对照相比,制粒提高肉/料比4%,4mm颗粒的肉/料比最大。育肥试验中,用80头阉公猪(平均初重58 kg)饲喂以玉米-豆粕为主的日粮,颗粒粒度处理与哺乳试验相同。结果是增重速度不受制粒的影响,但饲喂颗粒饲料的猪的肉/料比趋于改善(表4)。随粒度加大,ADG提高,以4mm颗粒的肉/料比最高。这样看来,为不同大小的猪制作几种不同粒度的颗粒饲料是不必要的。进一步说,一个4-5 mm的环模对哺乳期和育肥期的猪都是适宜的。这一结果说明,为从断奶到上市的猪制作饲料,可以使用单独一种环模,这意味着可能大幅度节省不少时间和金钱。

表3 粒度对哺乳期仔猪生长表现的影响^a

项 目	粉 料	颗粒直径, mm				标准误
		2	4	6	8	
0至5天						
ADG, g ^b	124	151	148	165	158	12
ADFI, g	153	134	132	162	142	11
肉/料 ^b	0.810	1.127	1.121	1.019	1.113	0.061
0至29天						
ADG, g	358	362	371	362	364	7
ADFI, g	537	510	516	541	532	11
肉/料比 ^{bcd}	0.667	0.710	0.719	0.669	0.684	0.012

^a根据 Traylor 等 (1996). 总共210 头猪, 每个处理6个猪圈。

^b粉料与颗粒比较 (P < 0.04).

^c粒度的线性效应 (P < 0.05).

^d粒度的三次效应 (P < 0.04).

表4 粒度对育肥猪生长表现和胃形态特征^a

项 目	粉 料	颗粒直径, mm				标准误
		2	4	6	8	
ADG, kg ^b	1.03	0.94	1.01	1.02	1.05	0.22
ADFI, kg ^{bc}	3.01	2.62	2.76	2.85	3.05	0.69
肉/料 ^{bc}	0.342	0.361	0.365	0.357	0.343	0.007
末肋脂肪厚mm	24.6	23.2	23.1	23.6	23.4	1.0
屠宰率 %	72.4	72.4	72.5	72.5	72.1	0.3

^a根据 Traylor 等 (1996). 总共80头猪, 每个处理8个猪圈。

^b粒度的线性效应 (P < 0.07).

^c粉料与颗粒比较 (P < 0.08).

颗粒质量

颗粒质量的含义是颗粒可以经受反复搬运而不过分破裂的能力。测定颗粒质量，饲料工业界通常采用Young (1970)提出的“振动箱”方法，并已公布为官方ASAE方法(ASAE, 1987)。Reimer (1992)提到许多因素可影响颗粒质量，影响最大的是饲料配方、粒度、和预调制(图1)。我们在堪萨斯州立大学的经验证实，饲料配方有明显的影响，例如配方采用了小麦(Traylor 等, 1999)或蜡质胚乳谷物(Froetschner等, 1998)时就是这样。我们的试验还观察到，颗粒持久性随饲料粒度减小而改善(Wondra等, 1995b)。另一方面，以谷物-豆粕为主的配方，在搅拌机里添加> 1或2%脂肪，制出的颗粒往往质量不佳(Stark, 1994)。因而有若干因素会影响颗粒质量。但是我们仍然还想知道，颗粒质量对于养猪的效益究竟有多重要。

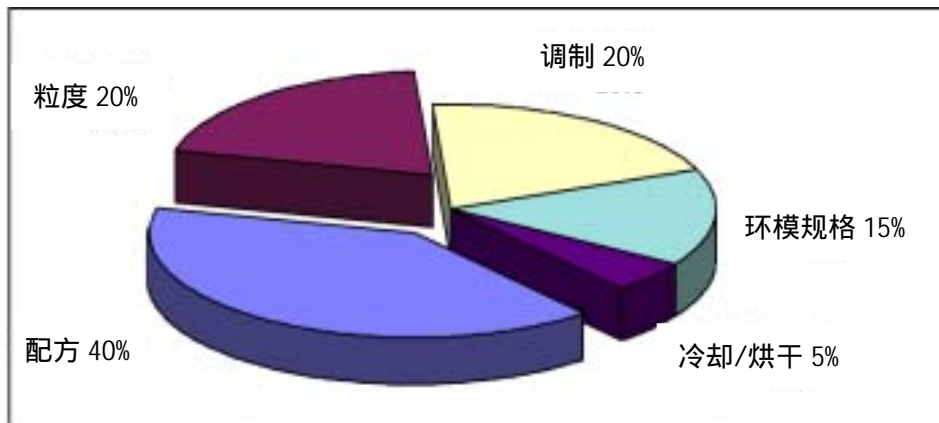


图1 影响颗粒持久性的因素 (引自 Reimer, 1992)。

为了搞清颗粒质量(指日粮中的细粉百分数)对动物生长的影响,Stark 等(1994)用哺乳期仔猪和育肥猪进行了一系列试验。两个哺乳期仔猪试验将一种粉料对照日粮与含细粉多达30%的日粮作比较。与粉料对照日粮相比,制粒使肉/料比提高12-15%;与过筛(去除细粉)颗粒相比,25-30%的颗粒细粉使肉/料比下降3-4%。育肥试验的猪,用过筛颗粒日粮饲喂与用粉料日粮饲喂相比,其ADG和肉/料比分别提高3%和5%(表5)。颗粒的细粉量不影响ADG,但肉/料比随细粉含量增加而下降。最坏的结果是当饲喂的日粮含细粉很多(20-40%)时,养猪的效益一点也不比饲喂粉料对照日粮的更好。Amornthewaphat 等(1999)用育肥猪进行过类似试验,结果是生长效率随颗粒细粉含量增加而直线下降,颗粒中细粉从0升到50%,与粉料对照相比的肉/料比增长幅度从7%降为2%。所以,如果制粒操作不当造成过多细粉(或许也就是20-40%),制粒的增效作用就会迅速消失。

表5 颗粒饲料的细粉含量对育肥猪生长表现的影响^a

项 目	粉料	细粉含量						标准误
		0%	20%	25%	40%	50%	60%	
Stark 等(1994) ^a								
ADG, kg	0.93	0.97	0.97	-	0.96	-	0.94	0.02
肉/料	0.362	0.379	0.360	-	0.361	-	0.355	0.008
Amornthewaphat 等(1999) ^b								
ADG, kg	0.89	0.96	-	0.93	-	0.90	-	0.01
肉/料	0.359	0.384	-	0.379	-	0.367	-	0.008

^a总共80头猪，每个处理8个猪圈。

^b总共384头猪，每个处理4个猪圈。

制粒机预调制器

解决颗粒饲料中的细粉影响动物生长的问题，饲料的正确调制成了第一道防线。预调制器通常作为制粒机的一个配件购买，其作用是在制粒前加热、加水（蒸汽）。物料在制粒前的调制可以软化颗粒，使蛋白质和碳水化合物变成胶黏状。这样做的目的在于制作能持久的颗粒。

标准的蒸汽预调制器里，物料加热到70 或80 （依配方而定），只滞留几秒。也可以用另一种长时预调制器（又叫双层预调制器），有几分钟的滞留时间，可让蒸汽更好地渗入粉粒状的饲料原料中，以加强淀粉糊化和蛋白变性。这项技术在水产饲料制造中广泛采用，使饲料可以下沉并在水中保持形状。

压缩机和膨胀机可以与蒸汽预调制器并用，以进一步提高颗粒质量。将这两种机器安放在蒸汽预调制器与制粒机之间，利用高压进一步增强在预调制器里开始的淀粉糊化和蛋白变性。膨胀机比压缩机更复杂也更昂贵些，二者的作业原理与挤压机稍有不同，属于高温短时工艺。同挤压机一样，膨胀机一直被用来生产全脂大豆粉(Cao等, 1998a, b)。不过，膨胀机最初是设计用来调制配合饲料的，认为其好处主要是提高颗粒饲料质量(Peisker, 1994b)。Traylor 等(1999)证明，膨胀机加工使以玉米、高粱、小麦次粉、小麦为主要原料的颗粒饲料的持久性指标分别提高39%、20%、6%、3%。膨胀机加工的其它好处是配方灵活（例如，在搅拌机里添加5-7%脂肪不会破坏颗粒质量）、减少制粒机环模磨损、提高制粒机产量（多达25%）、让饲料灭菌，还可减弱一些抗营养成分的活性。不过，关于膨胀机工艺对猪的生长影响，几乎没有什么发表的资料。

Peisker (1994a)报道，与一种未处理过的仔猪相比，用30%经过膨胀处理的麦麸和一种膨胀加工的完全饲料饲养哺乳期仔猪，提高了增重效率。但是，Hongtrakul 等(1996)和 Johnston 等(1999b)却报道说，给断奶仔猪饲喂膨胀加工的仔猪配合饲料使ADG下降。Peisker (1996)用育肥猪进行研究，结果是，饲喂膨胀加工的饲料与饲喂一种粉状对照饲料相比，ADG提高8%，肉/料比提高7%。后来，Johnston 等(1999c)又报道，用膨胀加工的散料或颗粒饲料喂养育肥猪，其增重效率比用经过长时间或短时间调制的饲料要高。Johnston 等(1999a)用玉米和高粱为主的饲料喂养育肥猪，得出干物质和总能的消化率高低顺序如下：膨胀机调制颗粒 > 标准蒸汽调制颗粒 > 粉状对照饲料，膨胀机调制颗粒的增重效率也往往最高。最后，Park等(1998)报道，一种小麦为主的饲料，经过传统的蒸汽调制再制粒后比粉状对照提高增重效率2%，而先膨胀后制粒比粉状对照提高增重效率7%。

由此看来，膨胀加工至少对生长期和育肥期的猪是有好处的。不过，添置这种新型设备之前，务必仔细考虑机器价格（30-50万美元）及其保养维修的需要。

颗粒粘合剂

有些饲料厂家和养猪场采用颗粒粘合剂，这像是为提高颗粒饲料质量所做的最后选择。颗粒粘合剂，顾名思义，是为了制作更持久的颗粒而添加到饲料中的化合物。粘合剂有各种形式，较普通的产品有磺化木质素(lignosulfonates, 造纸副产品)、膨润土钠盐或钙盐(从粘层开采)、半纤维素抽提物(硬质纤维板副产品)、变性淀粉产品(糊胶凝化谷物淀粉，在蒸汽调制中可增强“胶黏度”)。奇怪的是，关于这些可提高颗粒质量的粘合剂在饲料中的有效浓度问题，几乎没有发表的资料，至于这些粘合剂对猪生长的影响，资料就更少了。

Lindemann等(1993)报道，膨润土钠盐和水合硅酸铝钠钙可以改善有黄曲霉毒素的玉米饲养的

猪的生长，但对无毒素玉米饲养的猪没有影响。他们的试验不是为评价粘土作为颗粒粘合剂设计的，所以试验用的饲料是粉料。Tribble等(1980)报道，一种变性淀粉产品(Nutri-Binder™)可提高颗粒质量而不影响育肥猪的生长(但没有颗粒持久性指标数据)。Starkey和Hancock(未发表)发现，当磺化木质素钙盐在饲料中的浓度从0增加到2%时，制粒的能耗减少，制粒机产率和颗粒持久性指标改善(表6)。我们在随后一个试验中发现，按制造商推荐浓度添加0.5%磺化木质素，使一种简单的玉米-豆粕育肥颗粒饲料的持久性指标从59%提高到73%。但颗粒质量提高并没有使育肥猪的生长情况比饲喂不加粘合剂的颗粒饲料的猪有所改善(表7)。不过应当提到，这些未加粘合剂的颗粒饲料是打包后直接送到我们试验场的，细粉不象一般未加粘合剂的比较软的颗粒饲料那样，经过饲料厂/养猪场的传送带、货车、筒仓一系列过程。

总之，颗粒粘合剂确能提高颗粒的持久性和硬度。至于靠粘合剂提高的颗粒质量是否能改善猪的生长，还有待验证。

表6 一种粘合剂对玉米-豆粕为主的育肥猪饲料的制粒性能和颗粒质量的影响^a

项 目	对 照	磺化木质素钙盐, %		
		0.5	1	2
产率, kg/h	1,031	1,097	1,183	1,289
能耗, kWh/ton	9.7	9.3	8.6	7.9
颗粒持久性, % ^b	53.1	66.8	73.3	80.0
筛网处细粉, %	25.7	17.4	13.5	9.5

^a 未发表资料 (Starkey 和 Hancock).

^b ASAE (1983).

表7 一种粘合剂对育肥猪的生长表现和养分消化率的影响^{ab}

项 目	对照粉料	对照颗粒饲料	0.5% 磺化木质素
颗粒持久性, %	-	59	73
ADG, kg	1.05	1.09	1.08
ADFI, kg	2.88	2.77	2.81
肉/料	0.365	0.390	0.384
DM 消化率, %	89.4	89.5	89.9
N消化率, %	88.4	88.7	88.3

^a 未发表资料 (Starkey 和 Hancock).

^b 每个猪圈2头猪，每个处理8个猪圈

谷物和配合饲料的挤压加工

饲料原料和饲料的挤压加工几乎一直局限于加工宠物饲料和水产饲料，这些饲料可以提高价格来弥补增加的加工成本。但是，近来一些资料表明，用挤压加工的谷物和大豆养猪，其生长表现和(或)养分消化率比用粉碎谷物-豆粕-动/植物油脂饲料养猪有所改善。既然挤压技术提供了多种专门用途，不妨对这项技术进行一些讨论。

挤压加工并非一个新概念，这项技术用在人的食品加工上已有50多年(Ferret, 1991)，用来制造各种产品，从干酪酥饼到糖果，到富含蛋白的肉类补充剂。要挤压的原料从仓库送到搅拌筒，

喂入挤压机机镗。机镗里有一系列的锁、模、孔，从进口到出口愈来愈窄。被挤压的物料通过机镗时经受愈来愈高的压力、摩擦，以致在15-40大气压下短短30秒内温度从室温加热到135-160 °C。被挤压的物料出机镗时，蒸汽从制品外逸，压力骤降引发剧烈膨胀。蒸汽散失可使被挤压物料的水分下降一半之多，这取决于最初含水量。从营养观点看，挤压机普遍的有利作用是淀粉的剪切、糊化，蛋白质的变性和剪切，微生物和一些有毒物质的破坏，以及脱水作用。

Noland 等(1976)报道，用富含单宁的高粱饲养哺乳期仔猪，挤压加工可以改善能量和氮消化率，但对生长表现没有影响。Herkelman等(1990)报道，玉米挤压加工不影响哺乳期仔猪对氮和赖氨酸的利用，但挤压玉米的能值[即增加的消化能(DE)和代谢能(ME)]比粉碎玉米高。Fadel 等(1988)挤压加工了一种大麦大豆混合料，在回肠末端检测的干物质消化率、总能消化率、淀粉消化率、和氮消化率分别提高12%、12%、16%、11% (表8)。Hancock等(1991a)报道，用挤压加工的高粱代替锤磨粉碎机加工的高粱，饲养育肥猪不影响ADG，但增重效率提高5%；肉/料比提高的同时，干物质和氮的消化率分别提高8%和23%。用挤压大豆代替豆粕和豆油也使增重效率提高5%；但用含有挤压高粱加挤压大豆的饲料喂猪，所得增重效率最高(比对照提高10%)。

第二个试验(Hancock等, 1991b)，作者报道说，将粉碎的高粱、豆粕、豆油混合，挤压加工后用作育肥猪饲料，结果提高了肉/料比以及干物质和氮的消化率；将挤压的全大豆与粉碎的高粱混合然后再挤压，使肉/料比进一步提高(比对照组高18%)。最后，Hancock 等(1992)报道，分别以玉米、高粱、小麦、大麦为主的饲料，用来喂养育肥猪，挤压加工的饲料与用锤磨粉碎机简单粉碎的饲料相比，肉/料比分别提高4%、9%、6%、3%。养分的消化率平行于肉/料比的差别；玉米的干物质和氮的消化率比其它谷物的平均值高；高粱和小麦比大麦易于消化，挤压谷物比粉碎谷物易于消化。作者在结论中强调说，与粉碎的玉米对照相比，挤压的玉米和高粱为主的饲料可获得更高的肉/料比和养分消化率。Skoch等(1983b)研究过制粒与挤压对以玉米-小麦次粉为主的饲料在饲养生长/育肥猪方面的营养价值，结果是制粒和挤压加工都提高肉/料比和总能消化率，但对ADG没有影响。

表8 大麦挤压加工提高育肥猪的养分表观消化率^a

项目	表观消化率, %			
	回 肠		全部肠道	
	粉碎	挤压	粉碎	挤压
DM	55.6 ^b	62.0 ^c	77.4	78.0
GE	57.9 ^b	64.9 ^c	74.6	79.6
淀粉	83.7 ^b	96.9 ^c	97.0	99.7
N	62.4	69.2	74.1	80.6

^a 引自 Fadel et al. (1988).

^{b,c} 同一栏带不同上标字母的平均值之间有差异 (P < 0.05)。

可见，多纤维饲料(如小麦次粉)和多淀粉饲料(如谷物)的挤压加工能够促进养分利用。但是，谷物或完全饲料的挤压加工增加了成本(估计每吨11-15美元)，这对制作猪的常规饲料来说过于昂贵。但这并不排斥用挤压工艺提高专用饲料(如仔猪糊状饲料)或高价原料(如蛋白粉)营养价值的可能性。

挤压加工的大豆

在各种养分当中（如碳水化合物、蛋白质、脂肪、维生素、矿物质），文献报道大部分是关于蛋白源的挤压加工。进一步说，任何关于挤压加工对蛋白饲料的影响的讨论，主要部分无疑要涉及大豆蛋白。

几千年来中国人就知道，大豆经过熟化、发酵或其它加工后，是人体的极好食物。87年前已有人发表论文(Osborne 和 Mendel, 1917)，显示大豆经过热处理后显著提高饲喂小鼠的营养价值。所以关于挤压的早期研究，就是用挤压作为一种热处理手段，并将豆粕和饲料级油脂的费用与挤压大豆的费用进行了比较，决定采用挤压大豆。简而言之，首先要决定的是添加油脂是否合算。对养猪而言，油脂不一定会改善增重速度，但饲料中每添加1%油脂可使增重效率提高2%。还必须考虑到添加油脂的物理效果（减少设备中的粉尘），提高饲料的养分密度也是营养师在热天动物采食量下降时所希望的。下面是一个确定饲喂挤压大豆是否合算的简单公式：

$$\text{效益} = 0.81 \text{豆粕} + 0.17 \text{油脂} - (\text{大豆} + \text{加工}),$$

其中：

效益 = 饲喂1ton挤压大豆增加的经济效益（正或负）

0.81—加工的大豆含蛋白质低于豆粕的调整系数（例：38%粗蛋白/47%粗蛋白=0.81）

豆粕—1ton含粗蛋白47%的豆粕的价格

0.17—大豆脂肪含量（18%）减豆粕脂肪含量（1%）的修正系数

油脂—1ton饲料级油脂的价格

大豆—1ton生大豆的价格

加工—挤压加工1ton大豆的价格

这些计算假定的条件是全脂大豆的饲料价值与豆粕加饲料级油脂的饲料价值相等。这可能对也可能不正确。Hancock 等(1990a; 1991c)试验证明，用挤压加工取代干烘烤可提高哺乳期仔猪对大豆蛋白的利用率。在一次蛋白品质分析中显示，用带有及不带有Kunitz胰蛋白酶抑制因子的大豆饲养哺乳期仔猪时，挤压加工比烘烤提高ADG21%（图2）。饲喂低抗胰蛋白酶挤压大豆的猪，其ADG也比饲喂正常加工的豆粕加豆油的猪高14%。氮和干物质的消化率变化趋势相同，用低抗胰蛋白酶和（或）挤压大豆饲养的猪有所改善。为了进一步了解烘烤大豆和挤压大豆的营养价值，Kim 等（2000b）在两个代谢试验中饲养了90头猪（体重5 kg和10 kg）。用刚断奶猪（5kg）做的

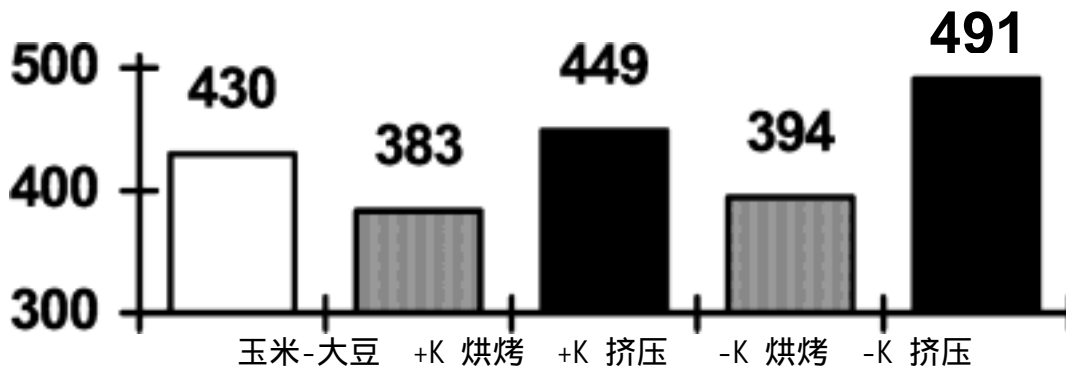


图2 挤压加工对于带有Kunitz胰蛋白酶抑制剂基因表达(+K)或不带该基因表达(-K)的大豆饲喂哺乳期仔猪的生长速度的改善效果。

每个处理5个猪圈，每圈4头猪，初重7.5 kg，饲养5周（引自Hancock等，1990a）

试验中，猪的氮消化率、生物学价值、氮存留百分率、总能消化率、代谢能百分率、以及绒毛高度等指标，挤压大豆都高于烘烤大豆；氮消化率、生物学价值和氮存留百分率几个指标，低抗胰蛋白酶大豆高于常规加工大豆。对大一些的猪（10 kg）来说，在进行大豆处理试验之前使之适应保育猪的环境条件，各种大豆的养分利用率都好一些，但在养分消化率和利用率方面，挤压大豆仍高于烘烤大豆，低抗胰蛋白酶大豆仍高于普通大豆。作者根据他们的发现提出异议，认为NRC1988指定的“热加工大豆”的ME（代谢能）值（3,624 kcal/kg），对烘烤大豆来说过高，5 kg猪高了368 kcal/kg，10 kg猪高了150 kcal/kg；相反，对挤压大豆来说，这ME值过低，5 kg猪低了230 kcal/kg，10 kg猪低了438 kcal/kg。Kim等（2000a）进一步验证了大豆热加工产品营养价值的这项差异，他们得出，生长期的猪对赖氨酸的理想消化率，就豆粕、烘烤大豆、挤压大豆、和加工时添加一种挤压助剂（亚硫酸钠）的大豆而言，分别是83%、67%、86%、和88%。可惜新的NRC（1998）仍然将所有全脂大豆制品都归于“热加工大豆”，尽管生产全脂大豆制品的各种加工方法之间确有差异。现在大家一致认为，养分消化率的改善是挤压大豆营养价值高的主要原因。但是，关于促使营养价值改善的物理/化学机理是有争议的，特别在挤压大豆饲养的小猪生物价值和绒毛高度高于烘烤大豆这一结果上。

挤压比烘烤增加的能值一直被归因于使大豆脂肪球破裂而易被脂肪酶分解。蛋白消化率的提高也可照此归因于蛋白局部变性而易于接受蛋白酶的作用。但是，挤压加工造成的变性远非温和变化，而是让原来的蛋白质发生化学基团的变化，连接键断开、分子分解、形成新的连接键和新的结构。挤压不仅使蛋白分子易被酶分解，还会使某些生物学活性（如胰蛋白酶抑制因子和凝集素）失活。这方面还有大量资料（Barratt等，1978；Kilshaw和Sissons，1979；Seegraber和MorriII，1979；Dunsford et al.，1989；Li等，1990）表明，大豆的主要储藏蛋白（conglycinin[?]和 α -conglycinin）具有抗原性质。用热的水合乙醇抽提制出了具有低抗原性的大豆制品（Sissons等，1979，1982）。抗原性的下降被认为是抗豆滴定度较低、在幼龄反刍动物中消化性改善的原因。Hancock等（1990b,c）报道，大豆片进行热处理前用乙醇抽提，用来饲喂哺乳期仔猪可提高增重速度和效率、养分消化率，绒毛也更大。如果大豆片加工不足或过度，这样的结果更为明显。所以，无论是用挤压处理或用水合乙醇抽提使生物活性蛋白变性、或二者并用（像工业上制作大豆浓缩蛋白的作法），无疑都能提高最终产品的营养价值。

些专用的家畜饲料（如给刚断奶的牛和猪饲喂的豆制品）。但是，从大量的试验资料看（表9），特别是饲料的脂肪和能量相等的情况，挤压加工的大豆，即使不比豆粕加油脂强3-5%，也至少是与后者相等。

表9 饲喂挤压大豆的动物生长表现与饲喂豆粕的比较

作者	生长阶段	与豆粕比较的变化百分率				处理条件
		ADG	增长效率	胴体瘦肉率	N表观消化率	
Carlisle等(1973)	保育期仔猪	1	10	-	-	脂肪和GE不相等
Faber和Zimmerman (1973)	""	6%	12%	-	2%	用豆油使GE和CP: GE相等
Jurgens (1982)	""	9%	1%	-	-	用豆油使ME和赖氨酸: ME相等
Myer 和 Froseth (1983)	""	11%	8%	-	-	用2% 动物脂肪使CP: ME相等
Jurgens (1983)	""	4%	4%	-	-	用豆油使ME和赖氨酸: ME相等
Marty 和 Chavez (1993)	""	-	-	-	15%	脂肪和GE不相等
Kim 等 (1998b)	""	3	5%	-	-	养分/能量比不相等
Kim 等 (1998b)		相同	9%	-	-	用豆油使养分/能量比相等
Noland 等(1969)	生长-育肥	1%	相同	-	-	用动物脂肪使 GE 和CP: GE相等
Koch 等 (1970)	" "	2%	2%	-	-	脂肪和GE不相等
Carlisle 等(1973)	" "	3%	12%	-	-	脂肪和GE不相等, 试验1
Carlisle 等(1973)	" "	7%	7%	3%	-	脂肪和GE不相等, 试验2
Bayley和Summers (1975)		-	-	-	3%	脂肪不相等
Myer 和 Froseth (1983)		4%	9%	-	-	用2%动物脂肪使赖氨酸: ME相等
Rudolph 等(1983)		-	-	-	15% (回肠)	脂肪不相等
Jurgens (1985)		9%	9%	2%	-	脂肪和ME不相等
Wahlstrom等(1986)		5%	8%	4%	-	脂肪和ME不相等
Hancock 等(1991b)		1%	5%	-	7%	用豆油使ME和赖氨酸: ME相等
Marty 和 Chavez (1993)		-	-	-	5	脂肪和GE不相等
Kim 等 (1998a)		5%	14%	4%		养分/能量比不相等

参考资料

- Amornthewaphat, N., J. D. Hancock, K. C. Behnke, R. H. Hines, G. A. Kennedy, H. Cao, J. S. Park, C. S. Maloney, D. W. Dean, J. M. Derouchey, and D. J. Lee. 1999.** Effects of feeder design and pellet quality on growth performance, nutrient digestibility, carcass characteristics, and water usage in finishing pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 1)* 77:55 (Abstr.).
- ASAE. 1987.** Wafers, pellets, crumbles-definitions and methods for determining density, durability, and moisture content. *Am. Soc. Agric. Eng. Standard S269.3*. p 318. Yearbook of Standards.
- Baird, D. M. 1973.** Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth, and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 36:516.
- Barratt, M. E. J., P. J. Strachan, and P. Porter. 1978.** Antibody mechanisms implicated in digestive disturbances following ingestion of soya protein in calves and piglets. *Clin. Exp. Immunol.* 31:305.
- Bayley, H. S., and J. D. Summers. 1975.** Nutritional evaluation of extruded full-fat soybeans and rapeseeds using pigs and chickens. *Can. J. Anim. Sci.* 55:441.
- Cao, H., J. D. Hancock, J. M. Jiang, J. R. Froetschner, J. S. Park, K. C. Behnke, and R. H. Hines. 1998a.** Effects of expander processing (after steam conditioning) on the nutritional value of whole soybeans in nursery pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 1)* 76:183 (Abstr.).
- Cao, H., J. D. Hancock, J. M. Jiang, J. R. Froetschner, J. S. Park, C. S. Maloney, K. C. Behnke, and R. H. Hines. 1998b.** Effects of expander processing on nutritional value of whole soybeans in nursery pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 76:49 (Abstr.).
- Carlisle, G. R., D. H. Baker, B. G. Harmon, and A. H. Jensen. 1973.** Roasted and extruded soybeans in diets for swine. p 11. *Proc. Illinois Pork Industry Day*, December 4.
- Dunsford, B. R., D. A. Knabe, and W. E. Haensly. 1989.** Effect of dietary soybean meal on the microscopic anatomy of the small intestine in the early weaned pig. *J. Anim. Sci.* 67:1855.
- Faber, J. L., and D. R. Zimmerman. 1973.** Evaluation of infrared-roasted and extruder-processed soybeans in baby pig diets. *J. Anim. Sci.* 36:902.
- Fadel, J. G., C. W. Newman, R. K. Newman, and H. Graham. 1988.** Effects of extrusion cooking of barley on ileal and fecal digestibilities of dietary components in pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 68:891.
- Ferket, P. R. 1991.** Technological advances could make extrusion an economically feasible alternative to pelleting. *Feedstuffs* 63(9):1.
- Froetschner, J. R., J. D. Hancock, K. C. Behnke, B. W. Senne, and Z. J. Cheng. 1998.** Effects of sorghum genotype and processing method on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 1)* 76:182 (Abstr.).
- Hancock, J. D., R. H. Hines, G. E. Fitzner, and T. L. Gugle. 1991a.** Effect of extrusion processing on the nutritional value of sorghum and soybeans for finishing pigs. p 113. *Proc. 17th Biennial Grain Sorghum Utilization Conference*, February 17-20, Lubbock, TX.
- Hancock, J. D., R. H. Hines, and T. L. Gugle. 1991b.** Extrusion of sorghum, soybean meal, and whole soybeans improves growth performance and nutrient digestibility in finishing pigs. p 92. *Kansas State Univ. Swine Day*, Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. 641.
- Hancock, J. D., R. H. Hines, B. T. Richert, and T. L. Gugle. 1992.** Extruded corn, sorghum, wheat, and barley for finishing pigs. p 130. *Kansas State Univ. Swine Day*, Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. 667.
- Hancock, J. D., A. J. Lewis, D. B. Jones, M. A. Giesemann, and B. J. Healy. 1990a.** Processing method affects the nutritional value of low-inhibitor soybeans for nursery pigs. p 52. *Kansas State Univ. Swine Day*, Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. of Prog. No. 610.
- Hancock, J. D., A. J. Lewis, P. G. Reddy, D. B. Jones, and M. A. Giesemann. 1991c.** Extrusion processing

of low-inhibitor soybeans improves growth performance of nursery pigs fed protein-adequate diets. p 40. Kansas State Univ. Swine Day, Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. of Prog. No. 641.

Hancock, J. D., E. R. Peo, Jr., A. J. Lewis, and J. D. Crenshaw. 1990b. Effects of ethanol extraction and duration of heat treatment of soybean flakes on the utilization of soybean protein by growing rats and pigs. *J. Anim. Sci.* 68:3233-16

Hancock, J. D., E. R. Peo, Jr., A. J. Lewis, and R. A. Moxley. 1990c. Effects of ethanol extraction and heat treatment of soybean flakes on function and morphology of pig intestine. *J. Anim. Sci.* 68:3244.

Hanke, H. E., J. W. Rust, R. J. Meade, and L. E. Hanson. 1972. Influence of source of soybean protein and of pelleting on rate of gain and gain/feed of growing swine. *J. Anim. Sci.* 35:958.

Hanrahan, T. J. 1984. Effect of pellet size and pellet quality on pig performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10:277.

Harris, D. D., L. F. Tribble, and D. E. Orr, Jr. 1979. The effects of meal versus different size pelleted forms of sorghum-soybean meal diets for finishing swine. p 57. Proc. 27th Annual Swine Short Course, Texas Tech University, Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-144.

Herkelman, K. L., S. L. Rodhouse, T. L. Veum, and M. R. Ellersieck. 1990. Effect of extrusion on the ileal and fecal digestibilities of lysine in yellow corn in diets for young pigs. *J. Anim. Sci.* 68:2414.

Hongtrakul, K., J. R. Bergstrom, R. D. Goodband, K. C. Behnke, I. H. Kim, W. B. Nessmith, M. D. Tokach, and J. L. Nelssen. 1996. The effect of ingredients processing and diet complexity on growth performance of the segregated early-weaned pig. p 43. Kansas State Univ. Swine Day, Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. 772.

Jensen, A. H., and D. E. Becker. 1965. Effect of pelleting diets and dietary components on the performance of young pigs. *J. Anim. Sci.* 24:392.

Johnston, S. L., J. D. Hancock, R. H. Hines, G. A. Kennedy, S. L. Traylor, B. J. Chae, and I. K. Han. 1999a. Effects of expander conditioning of corn- and sorghum-based diets on pellet quality and performance in finishing pigs and lactating sows. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12:565.

Johnston, S. L., R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke, S. L. Traylor, B. J. Chae, and I. K. Han. 1999b. Effects of expander conditioning of complex nursery diets on growth performance of weanling pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12:395.

Johnston, S. L., R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke, S. L. Traylor, B. J. Chae, and I. K. Han. 1999c. Effects of conditioners (standard, long-term, and expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12:558.

Jurgens, M. H. 1982. Performance of early-weaned pigs fed extruded soybean products. p 1. Iowa Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. AS-535-E. Jurgens, M. H. 1983. Performance of early weaned pigs fed extruded soybean products. p 1. Iowa Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. AS-539-E.

Jurgens, M. H. 1985. Performance and carcass measurements of growing-finishing pigs fed extruded soybean products. p 1. Iowa Agric. Exp. Sta. Rep. of Prog. No. AS-570-E.

Kilshaw, P. J., and J. W. Sissons. 1979. Gastrointestinal allergy to soybean protein in preruminant calves.

Antibody production and digestive disturbances in calves fed heated soybean flour. *Res. Vet. Sci.* 27:361.

Kim, I. H., J. D. Hancock, L. L. Burnham, G. A. Kennedy, R. H. Hines, and C. S. Kim. 1998a. Effects of feeding diets containing dry-extruded whole soybeans on growth, carcass characteristics, and stomach morphology in finishing pigs. *Kor. J. Anim. Nutr. Feed.* 22:73.

Kim, I. H., J. D. Hancock, M. R. Cabrera, J. H. Kim, and C. S. Kim. 1998b. Effects of alternative soy sources and dry-extruded whole soybeans, with or without adjustment for nutrient:calorie ratios in early-weaned pigs. *Kor. J. Anim. Sci.* 40:165.

- Kim, I. H., J. D. Hancock, and R. H. Hines. 2000a.** Influence of processing method on ileal digestibility of nutrients from soybeans in growing and finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13:192.
- Kim, I. H., J. D. Hancock, R. H. Hines, and T. L. Gugle. 2000b.** Roasting and extruding affect nutrient utilization from soybeans in 5- and 10-kg nursery pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13:200.
- Koch, B. A., R. H. Hines, and D. T. Lafferty. 1970.** Processed whole soybeans in growing-finishing rations. p 7. *Proc. Kansas State Univ. Swine Day.*
- Lavorel, O., J. Fekete, and M. Leuillet. 1984.** A comparative study concerning the utilization of pellets of different diameters by the weaned piglet. 14th French Swine Research Day. p 36. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris. 17
- Li, D. F., J. L. Nelssen, P. G. Reddy, F. Blecha, J. D. Hancock, G. L. Allee, R. D. Goodband, and R. D. Klemm. 1990.** Transient hypersensitivity to soybean meal in the early weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68:1790.
- Lindemann, M. D., D. J. Blodgett, E. T. Kornegay, and G. G. Schurig. 1993.** Potential amelioration of aflatoxicosis in weanling/growing swine. *J. Anim. Sci.* 71:171.
- Luce, W. G., I. T. Omtvedt, and C. V. Maxwell. 1973.** Effect of pellet size on pig performance. *J. Anim. Sci.*, 36:204 (Abstr.).
- Marty, B. J., and E. R. Chavez. 1993.** Effect of heat processing on digestive energy and other nutrient digestibilities of full-fat soybeans fed to weaner, grower, and finishing pigs. *Can J. Anim. Sci.* 73:411.
- Myer, R. O., and J. A. Froseth. 1983.** Extruded mixtures of beans (*Phaseolus vulgaris*) and soybeans as protein sources in barley-based swine diets. *J. Anim. Sci.* 57:296.
- Noland, P. R., C. A. Baugus, R. O. Lawrence, and Z. Johnson. 1969.** Potential role of extruded soybeans in swine rations. p 17. *Feed Bag Magazine*, October 18.
- Noland, P. R., D. R. Campbell, R. K. Gage, Jr., R. N. Sharp, and Z. B. Johnson. 1976.** Evaluation of processed soybeans and grains in diets for young pigs. *J. Anim. Sci.* 43:763.
- NRC. 1988.** Nutrient Requirements of Swine (9th Ed.). National Academy Press, Washington, DC. NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine (10th Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- NCR-42 Committee on Swine Nutrition. 1969.** Cooperative regional studies with growing swine: Effects of source of ingredient, form of diet, and location on rate and efficiency of gain of growing swine. *J. Anim. Sci.* 29:927.
- Osborne, T. B., and L. B. Mendel. 1917.** The use of soybean as food. *J. Biol. Chem.* 32:369.
- Park, J. S., J. D. Hancock, C. A. Maloney, H. Cao, and R. H. Hines. 1998.** Effects of expander processing of wheat-based diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 1)* 76:186 (Abstr.).
- Peisker, M. 1994a.** An expander's affect on wheat bran in piglet rations. *Extrusion Communique.* 7(2):18.
- Peisker, M. 1994b.** Influence of expansion on feed components. *Feed Mix.* 2(3):26.
- Peisker, M. 1996.** Expanders in the feed industry and economics of using them. *American Feed Industry Assoc. Nutrition Symposium.* St. Louis, MO.
- Reimer, L. 1992.** Conditioning. *Proc. Northern Crops Institute Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technol. Short Course.* p 7. **California Pellet Mill Co. Crawfordsville, IN.** **Rudolph, B. C., L. S. Boggs, D. A. Knabe, T. D. Tanksley, Jr., and S. A. Anderson. 1983.** Digestibility of nitrogen and amino acids in soybean products for pigs. *J. Anim. Sci.* 57:373.
- Seegraber, F. J., and J. L. Morrill. 1979.** Affect of soy protein on intestinal absorptive ability of calves by the xylose absorption test. *J. Dairy Sci.* 62:972.
- Sissons, J. W., R. H. Smith, and D. Hewitt. 1979.** The effect of giving feeds containing soya-bean meal treated or extracted with ethanol on digestive processes in the preruminant calf. *Br. J. Nutr.* 42:477.
- Sissons, J. W., R. H. Smith, D. Hewitt, and A. Nyrup. 1982.** Prediction of the suitability of soya-bean

products for feeding to preruminant calves by an in vitro immunochemical method. *Br. J. Nutr.* 47:311.

Skoch, E. R., S. F. Binder, C. W. Deyoe, G. L. Allee, and K. C. Behnke. 1983a. Effects of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* 57:922.

Skoch, E. R., S. F. Binder, C. W. Deyoe, G. L. Allee, and K. C. Behnke. 1983b. Effects of steam pelleting conditions and extrusion cooking on a swine diet containing wheat middlings. *J. Anim. Sci.* 57:929.

Stark, C.R. 1994. Functional characteristics of ingredients in the formation of quality pellets. In: *Pellet Quality*, a Ph.D. Dissertation, Kansas State University, Manhattan. Stark, C. R., K. C. Behnke, J. D. Hancock, S. L. Traylor, and R. H. Hines. 1994. Effect of diet form and fines in pelleted diets on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl. 1): 214. 18

Traylor, S. L., K. C. Behnke, J. D. Hancock, P. Sorrell, and R. H. Hines. 1996. Effects of pellet size on growth performance in nursery and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 74(Suppl. 1):67.

Traylor, S. L., K. C. Behnke, J. D. Hancock, R. H. Hines, S. L. Johnston, B. J. Chae, and I. K. Han. 1999. Effects of expander operating conditions on nutrient digestibility in finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12:400.

Tribble, L. F., D. D. Harris, and D. E. Orr, Jr. 1979. Effect of pellet size (diameter) on performance of finishing swine. p 59. Proc. 27th Swine Short Course, Texas Tech Univ., Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-144.

Tribble, L. F., and A. M. Lennon. 1975. Meal versus pelleted sorghum-soybean meal rations for growing-finishing swine. p 31. Proc. 23rd Annual Swine Short Course, Texas Tech Univ. Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-111.

Tribble, L. F., D. E. Orr, Jr., C. R. Richardson, and D. Tunmire. 1980. Value of a pellet binder for growing-finishing swine. Proc. 28th Annual Swine Short Course, Texas Tech Univ. Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-154.

Wahlstrom, R. C., B. S. Borg, and G. W. Libal. 1986. Extruded soybeans for finishing swine. p 1. South Dakota State Univ. Swine Day Rep. Wondra, K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, R. H. Hines, and C. R. Stark. 1995b. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:757.

Wondra, K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, and C. R. Stark. 1995c. Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2564.

Young, L.R. 1970. Mechanical durability of feed pellets. M.S. Thesis. Kansas State Univ., Manhattan.18 Traylor, S. L., K. C. Behnke, J. D. Hancock, P. Sorrell, and R. H. Hines. 1996. Effects of pellet size on growth performance in nursery and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*74(Suppl. 1):67.

Traylor, S. L., K. C. Behnke, J. D. Hancock, R. H. Hines, S. L. Johnston, B. J. Chae, and I. K. Han. 1999. Effects of expander operating conditions on nutrient digestibility in finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12:400.

Tribble, L. F., D. D. Harris, and D. E. Orr, Jr. 1979. Effect of pellet size (diameter) on performance of finishing swine. p 59. Proc. 27th Swine Short Course, Texas Tech Univ., Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-144.

Tribble, L. F., and A. M. Lennon. 1975. Meal versus pelleted sorghum-soybean meal rations for growing-finishing swine. p 31. Proc. 23rd Annual Swine Short Course, Texas Tech Univ. Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-111.

Tribble, L. F., D. E. Orr, Jr., C. R. Richardson, and D. Tunmire. 1980. Value of a pellet binder for growing-finishing swine. Proc. 28th Annual Swine Short Course, Texas Tech Univ. Agric. Sci. Tech. Rep. No. T-5-154.

Wahlstrom, R. C., B. S. Borg, and G. W. Libal. 1986. Extruded soybeans for finishing swine. p 1. South

Dakota State Univ. Swine Day Rep. Wondra, K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, R. H. Hines, and C. R. Stark. 1995b. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:757.

Wondra, K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, and C. R. Stark. 1995c. Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2564.

Young, L.R. 1970. Mechanical durability of feed pellets. M.S. Thesis. Kansas State Univ., Manhattan.