

# 做好饲料原料的粉碎和搅拌，生产优质猪饲料

作者：Joe D. Hancock

美国堪萨斯州立大学 动物科学系

译者：秦崇德(上海市农业科学院畜牧兽医研究所)

## 前言

在当今的养猪业中，养猪者或营养师无不在猪的喂养中特别注意能量和氨基酸及其两者间的比率以及维生素和矿物质最佳添加量等问题。选购价格合理的优质原料并将这些原料加工成全价日粮，对于猪场的总利润率来说也具有同样的重要性，但是良好的饲料加工方法却经常得不到应有的重视。本文的目的是对饲料原料粉碎和搅拌的基本方面作一综述，旨在最大限度提高饲料原料和全价猪日粮的营养价值。

## 饲料的粉碎

Fraps(1932)报告，高粱经粉碎后其中养分的消化率高于整粒高粱，朝着现代流行的谷物加工技术迈出了第一步。Aubel(1945,1955)也报告说，饲喂粉碎高粱而非整粒高粱时饲料利用率得到了改善。Woodsman等(1932)报告，在以燕麦为基础的日粮中，当燕麦的颗粒比较小的时候日粮的消化率得到了提高。然而，这些报告没有指出谷物的粉碎程度要多高才会使猪的生产性能达到最高。

Wondra等(1995b)用锤片式粉碎机将玉米分别粉碎到1000、800、600和400微米的几何平均粒度(ASAE,1983)；他们报告说，当玉米粒度从1000微米减小到600微米时，粉碎机的能耗仅略有增加(从每吨2.7千瓦时增加到每吨3.8千瓦时，见图1)。然而，当粒度再减小200微米(达到几何平均粒度400微米)，所消耗的能量就达到粉碎到600微米时的二倍以上(每吨8.1千瓦时)。平均粒度从1000微米减小到600微米时生产率也仅略微降低，而粉碎到400微米时则生产率明显降低。数据清楚地表明：将玉米粉碎到较小粒度时，粉碎机能耗增加而生产率降低。Healy等(1994)在将一种玉米和两种高粱(一种硬胚乳高粱和一种软胚乳高粱)分别粉碎到900、700和500微米粒度并采集了粉碎数据。不同谷物的粉碎特性是各不相同的，粉碎玉米时的能耗大于粉碎任何一种高粱时的能耗(表1)。粉碎硬胚乳高粱时的能耗和粉碎软胚乳高粱时的能耗相差无几。Baker(1960)还发现，高粱比玉米容易粉碎，而玉米又比燕麦容易粉碎。Silver(1932)报告，粉碎玉米时的能耗少于粉碎大麦时的消耗，粉碎大麦时的能耗又少于粉碎燕麦时的能耗。

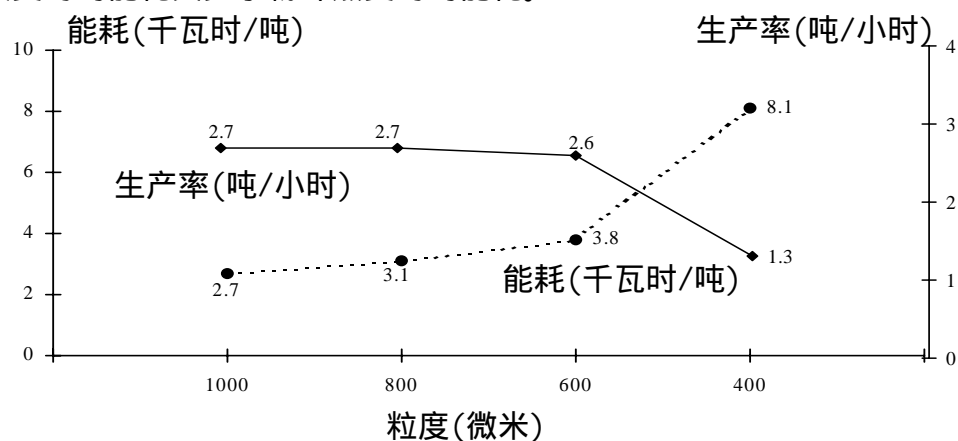


图1 用锤片式粉碎机粉碎玉米时的能耗和生产率(Wondra等, 1995b)

Hedde 等(1985)报告,在日粮粒度从粗颗粒(<20%的粉碎谷物能通过 1.2 毫米筛)减小为细颗粒(>80%的粉碎谷物能通过 1.2 毫米筛)时,肥育猪的增重提高了 8%。Lawrence(1983)报告,当燕麦粒度由粗(>1000 微米)变细(<600 微米)时,增重/耗料比提高了 12%。Goodband 和 Hines(1988)对保育期仔猪饲喂以大麦和乳清为基础的日粮,大麦粉碎到平均粒度为 768 微米和 635 微米。他们报告说,大麦粉碎到 635 微米时猪的增重比 768 微米时提高 5%。Mavromichalis 等(1998)报告,当小麦粒度从 1300 微米减小到 600 微米时,保育期仔猪的增重和饲料转化率分别改善 10%和 9%。他们还报告说,小麦粒度从 1300 微米减小到 600 和 400 微米时,肥育猪的生长都得到了改善。

表1 玉米、硬胚乳高粱和软胚乳高粱的加工特性以及粉碎至不同粒度的经济分析<sup>a</sup>

项 目	玉 米			硬胚乳高粱			软胚乳高粱		
	900	700	500	900	700	500	900	700	500
几何平均粒度(微米) <sup>b</sup>	919	702	487	902	741	512	888	715	497
对数正态标准差(微米) <sup>c</sup>	1.9	1.9	1.7	2.1	2.0	1.9	2.0	1.8	1.8
表面积(平方厘米/克) <sup>d</sup>	61	79	106	65	77	107	64	75	107
粉碎能耗(千瓦时/吨)	5.3	9.2	15.7	1.7	2.4	3.8	1.9	2.5	4.3
生产率(吨/小时)	1.76	0.97	0.63	5.95	4.12	2.37	4.48	3.43	1.89
粉碎成本(美元/吨) <sup>e</sup>									
固定	1.59	2.89	4.41	0.47	0.68	1.18	0.62	0.81	1.48
可变	0.53	0.92	1.57	0.17	0.24	0.38	0.19	0.25	0.43
总计	2.12	3.81	5.98	0.64	0.92	1.56	0.81	1.06	1.91
增重成本(美元/100千克) <sup>f</sup>	36.18	35.33	35.63	39.49	38.63	37.09	39.51	37.48	36.82

<sup>a</sup> 谷物由对辊式粉碎机粉碎;资料来源:From Healy等(1994);

<sup>b</sup> ASAE(1983);

<sup>c</sup> ASAE(1983);

<sup>d</sup> ASAE(1983);

<sup>e</sup> 数值来自McEllhiney(1983). McEllhiney(1983)提出的成本扩大了10%;电价为0.06美元/千瓦时;

<sup>f</sup> 根据等重原则,用粉碎谷物替代的日粮饲喂保育期仔猪(36~57日龄)的生产性能计算而得。

Giesemann等(1990)报告,对肥育猪饲喂玉米和一种青铜高粱,当日粮粒度从1500微米减小到640微米时,增重得到了改善。这些数据总的来说与Cabrera等(1994)报告的数据相一致:软胚乳高粱和硬胚乳高粱在粒度从800微米减小到400微米时,增重分别提高了7%和6%。Wondra等(1995b)将玉米粉碎到1000微米~400微米不等的粒度,结果表明玉米的粒度每减小100微米则增重/耗料比改善1.3%。的确,对文献进行全面检索的结果表明,对于生长猪来说,一般的规律是:玉米粒度每减小100微米则增重/耗料比提高1.2%~

1.4%。表2显示了用粉碎至不同粒度的谷物对生长猪进行饲喂的一些试验结果。

遗憾的是，旨在测定饲料加工对泌乳母猪生产性能影响的试验为数很少。一般都承认，传统日粮制度也许满足不了高产母猪的营养需要。现已证明，增加母猪的采食量能够改善母猪的生产性能 (Brooks 和 Cole,1972;Reese 等 ,1982;King 和 Williams,1984;Brendemuhl等,1987)。最常用的以增加母猪养分摄食量的方法是通过向日粮中添加更多的蛋白质和(或)脂肪(增加这两者的添加量都会增加日粮成本)从而增高日粮的养分含量。令人惊奇的是，极少有人关注如何提高日粮中已有养分的消化率。

表2 谷物粒度对猪生长性能的影响

项 目	粒 度			体 重 (千克)	猪 数	谷 物	参 考 文 献
	粗 (>1000 微米)	中 (700 ~ 900 微米)	细 (<600 微米)				
日增重(千克)	0.71	0.79	0.74	19 ~ 55	36	玉米	Mahan等(1966)
增重/耗料	0.337	0.329	0.341				
日增重(千克)	0.62	0.74	0.73	25 ~ 70	72	燕麦	Lawrence (1983)
增重/耗料	0.322	0.366	0.362				
日增重(千克)	0.68	-	0.73	35 ~ 97	160	玉米	Hedde等(1985)
增重/耗料	0.266	-	0.288				
日增重(千克)	0.686	-	0.719	32 ~ 91	192	玉米	Gi esemann等(1990)
增重/耗料	0.257	-	0.279				
日增重(千克)	0.696	-	0.699	32 ~ 91	192	高粱	Gi esemann等(1990)
增重/耗料	0.259	-	0.272				
日增重(千克)	-	1.00	0.99	54 ~ 120	70	高粱	Cabrera等(1994)
增重/耗料	-	0.295	0.316				
日增重(千克)	-	1.02	1.04	54 ~ 120	70	高粱	Cabrera等(1994)
增重/耗料	-	0.290	0.307				
日增重(千克)	0.98	0.98	0.99	55 ~ 115	160	玉米	Wondra等(1995b)
增重/耗料	0.298	0.305	0.321				
日增重(千克)	0.88	-	0.91	67 ~ 115	160	小麦	Mavromi chali s 等 (1998)
增重/耗料	0.285	-	0.322				

Wondra等(1995e)用粉碎成4种粒度的玉米(1200微米、900微米、600微米和400微米)配合成日粮饲喂头胎母猪。采食量随玉米粒度从1200微米减小到400微米而增加，养分的消化率也随之提高(图2)。采食量的增加以及养分消化率的明显提高，导致消化能摄入量增加14%以及窝仔增重提高11%。此外，由于养分消化率随玉米粒度的减小而提高，粪中干物质排泄量减少了21%，粪中氮排泄量减少了31%。粪中养分排泄量的减少对于减轻猪场粪便管理的负担有着明显而直接的作用。

如前所述，对饲料原料进行粉碎导致生长猪和泌乳母猪生产性能的改善，在很大程度上是由于养分消化率的提高。Owsley等(1981)报告，高粱粒度减小(从1262微米减小到

471微米)改善了生长猪对干物质、淀粉、氮和总能的表现消化率(根据回肠末端和全消化道的测定)。Giesemann等(1990)报告,在以玉米为基础的日粮中,当玉米粒度从1500微米减小到640微米时,生长肥育猪对干物质、氮和总能的消化率得到了提高。Sauer等(1977)测得,当饲喂细磨小麦时,回肠氨基酸表观回收率显著低于饲喂碎粒小麦时。Lawrence(1967,1970)报告,饲喂以玉米、高粱和大麦为基础的日粮的回收率,养分消化率随着谷物粒度的减小而提高。Ohh等(1983)认为,饲料细磨后表面积的增加以及食糜流动性的提高(因而能够更充分地与消化酶相互混合),可能与猪日粮消化率的提高有关。

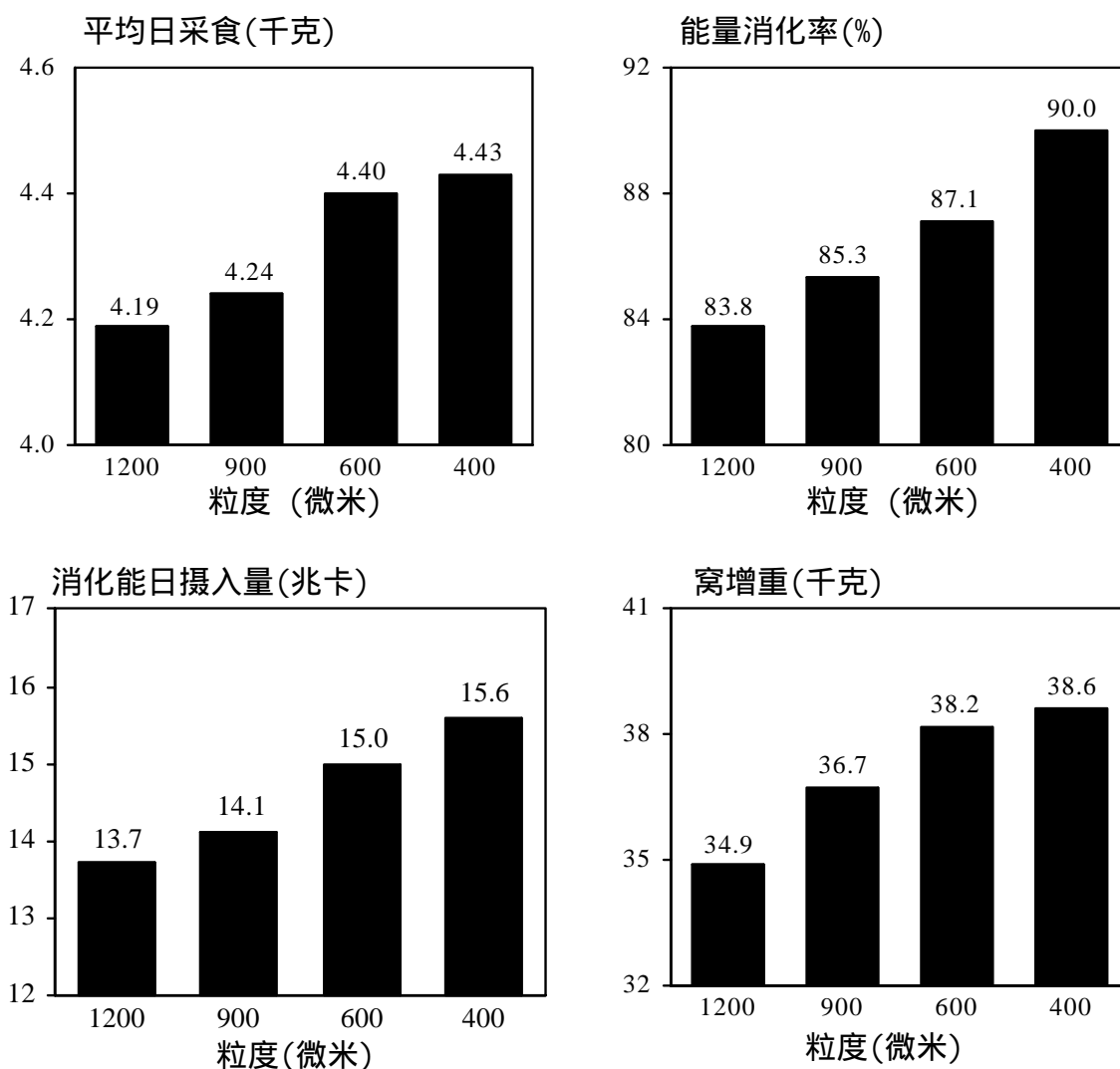


图2 玉米粒度对头胎母猪泌乳性能、能量表观消化率和能量摄入量的影响(Wondra 等, 1995e)

表3 玉米粒度对泌乳期二胎母猪养分代谢的影响<sup>a</sup>

项 目	玉米粒度(微米)			
	1200	900	600	400
干物质消化率(%) <sup>b</sup>	82.2	85.2	85.6	88.1
氮消化率(%) <sup>c</sup>	80.7	85.6	86.9	88.5
生物学价值(%)	55.0	62.7	62.0	57.0

氮存留率(克/天) <sup>c</sup>	50.9	63.0	63.3	56.7
总能消化率(%) <sup>b</sup>	81.9	85.5	86.3	89.9
总能存留率(兆卡/天) <sup>b</sup>	13.2	14.1	14.4	14.3
消化能(千卡/千克日粮) <sup>b</sup>	3513	3668	3705	3857
代谢能(千卡/千克日粮) <sup>b</sup>	3399	3572	3601	3745

<sup>a</sup> 摘自Wondra等(1995d), 均为表观值;

<sup>b</sup> 粒度减小的线性效应( $P < 0.02$ );

<sup>c</sup> 粒度减小的二次效应( $P < 0.04$ )。

Wondra等(1995d)对38头泌乳期二胎母猪饲喂以玉米-豆粕为基础的日粮, 其中玉米分别粉碎至1200微米、900微米、600微米和400微米。结果表明, 干物质、氮和总能的消化率都随玉米粒度从1200微米减小到400微米而提高(表3)。以玉米粒度为400微米的日粮中消化能值和代谢能值最可见, 保育期仔猪、肥育猪和泌乳母猪的试验数据表明, 饲料经过细磨后, 猪的生产性能有显著改善。此外, 细磨导致的养分消化率明显改善, 无疑对于观察到的生长性能和泌乳性能的改善有很大作用。

### 粉碎机类型

在可用来进行饲料粉碎的各种粉碎机(摩擦粉碎机, 爪式粉碎机, 锤片式粉碎机, 对辊式粉碎机, 等等)中, 锤片式粉碎机和对辊式粉碎机最常用。锤片式粉碎机的操作比对辊式粉碎机简单, 不太需要照看, 即使粉碎多种不同的饲料时也是如此。对辊式粉碎机在粉碎时产生的热量少于锤片式粉碎机, 并且也因此而效率较高(Heimann,1983)。McEllhiney(1983)提出了对辊式粉碎机相对于锤片式粉碎机的一些优点, 例如: 粉碎时耗电量较少, 噪音较小, 可较精确地控制粉碎谷物的粒度, 谷物的水分损失(即缩小)较少, 保养成本比较低。Vermeer(1993)从经济上将锤片式粉碎机和对辊式粉碎机作了比较, 结果表明: 从粉碎机及其相关设备的成本来看, 锤片式粉碎机的成本仅及对辊式粉碎机的一半; 然而, 锤片式粉碎机的马达较大, 接入电力时花费的成本为对辊式粉碎机的两倍, 因此其初始投资成本仅稍有下降。

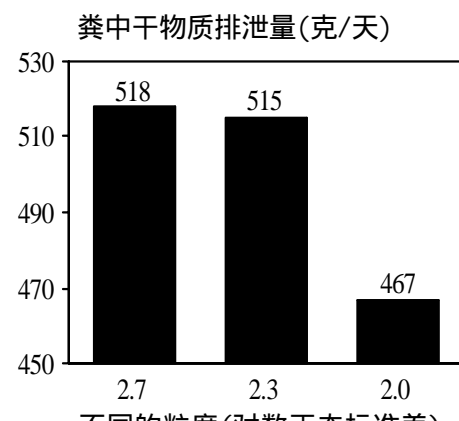
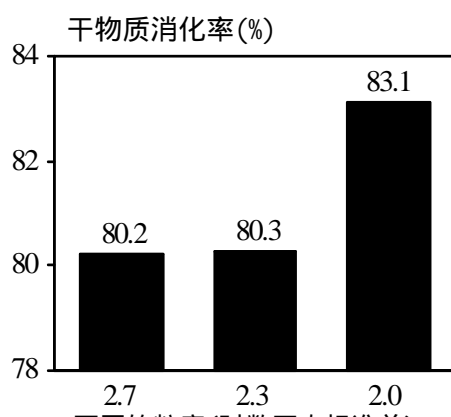
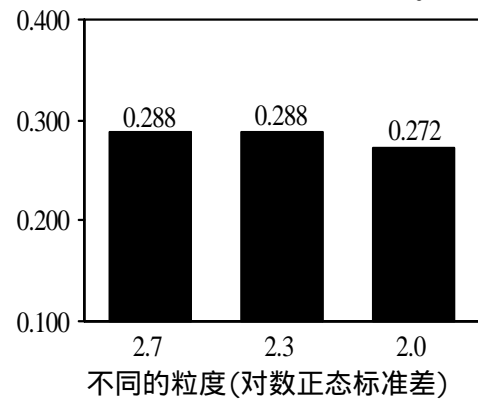
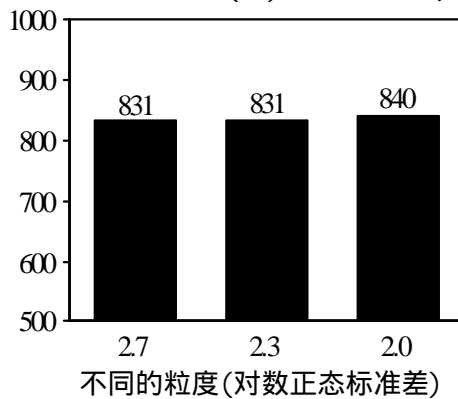


图3 粒度均匀度未影响增重和饲料转化率,但干物质消化率和粪中干物质排泄量则随粒度

均匀度的提高而分别提高和减少(Wondra等,1995c).

关于对辊式粉碎机和锤片式粉碎机对猪生长性能的影响,有些人认为对辊式粉碎机粉碎所得谷物的粒度较为均匀一致(即平均粒度的对数正态标准差较低),因而具有营养学意义。Wondra等(1995c)报告了一个试验,该试验中的处理如下:(1)对辊粉碎粗粒玉米和细磨玉米相互混合,粒度的对数正态标准差较大,为2.7;(2)采用锤片式粉碎机粉碎玉米,玉米粒度的对数正态标准差为2.3;(3)采用对辊式粉碎机对玉米进行粉碎,粒度的对数正态标准差为2.0。所有三个处理中的玉米平均粒度相近。对数正态标准差较小时,干物质、氮和总能的消化率较高,但未见生长性能有差异(图3)。

据该文作者在同一文中报告,在第二个试验中给猪饲喂分别由锤片式粉碎机和对辊式粉碎机粉碎的玉米,粉碎粒度均分别为800微米和400微米。锤片式粉碎机粉碎的玉米,800微米粒度和400微米粒度的对数正态标准差分别为2.5和1.7,对辊式粉碎机粉碎玉米的相应值则分别为2.0和1.9。饲喂800微米粒度玉米时,对辊式粉碎机粉碎玉米的养分消化率高于锤片式粉碎机粉碎玉米的消化率(表4)。但是,饲喂400微米粒度的玉米时,仍然以对辊式粉碎机粉碎的玉米为高,尽管粒度400微米时以锤片式粉碎机粉碎玉米的对数正态标准差略低。这表明了存在着独立于对数正态标准差效应的粉碎机类型效应。Reece等(1985)报告,与对辊式粉碎机粉碎的玉米相比,锤片式粉碎机粉碎玉米的颗粒比较近似于球形,颗粒的边缘也较为均匀一致。球形会减弱消化酶对其的作用,因而锤片式粉碎机粉碎玉米中养分的消化率就比较低。对这一解释很难进行验证,但是谷物颗粒的形状影响谷物营养价值的可能性是很令人感兴趣的。同样有趣的是这样的观察报告:相对于锤片式粉碎机粉碎的谷物来说,对辊式粉碎机粉碎的谷物具有比较均匀一致的粒状颗粒,因而具有比较高的流动性和比较好的处理特性。

表4 粉碎机类型和谷物颗粒大小对于谷物特性以及猪对谷物养分利用率的影响<sup>a</sup>

项 目	锤片式粉碎机		对辊式粉碎机	
	800微米	400微米	800微米	400微米
谷物特性				
平均粒度(微米)	826	419	793	415
粒度的对数正态标准差	2.5	1.7	2.0	1.9
生长性能				
平均日增重(千克)	0.93	0.96	0.96	0.92
增重/耗料	0.284	0.308	0.291	0.305

表观消化率(%)				
干物质 <sup>bc</sup>	82.5	86.0	86.6	87.3
氮 <sup>bc</sup>	72.1	80.1	76.0	82.6
总能 <sup>bc</sup>	81.2	86.7	85.9	87.7
排粪量(克/天)				
干物质 <sup>bc</sup>	517	396	397	347
氮 <sup>bc</sup>	18.4	12.6	16.3	10.9

<sup>a</sup> 摘自Wondra等(1995c); 试验猪共128头, 平均始重55千克, 平均末重112千克;

<sup>b</sup> 锤片式粉碎机与对辊式粉碎机的比较( $P < 0.03$ );

<sup>c</sup> 800微米对400微米的比较( $P < 0.001$ )。

可见, 提高饲料粒度的均匀度(即采用对辊式粉碎机)能够提高养分的消化率, 但这一效应看来并不伴随着生长性能可预测的改善。因此, 饲料业将注意力集中在减小平均粒度而使生产性能稳步改善, 而没有注意到提高粒度均匀度可导致微妙的变化。由于注意以尽可能容易的方法来减小粒度, 所以锤片式粉碎机一直就是人们在猪饲料生产中特别喜爱使用的粉碎机。

## 日粮的搅拌

搅拌机的类型有多种多样, 最常用的立式螺旋式搅拌机、卧式桨叶式搅拌机和卧式螺带式搅拌机。对于这三类搅拌机来说, 建议的搅拌时间分别为15分钟左右、6~7分钟以及3~4分钟(Wilcox和Unruh, 1986)。经验表明, 这些类型搅拌机中的任何一种, 只要有足够的搅拌时间, 都能达到令人满意的搅拌均匀度。因此, 饲料加工商和营养师应该注重搅拌均匀度而不应将搅拌时间作为最终的关注对象。

从饲料加工的角度来看, 最佳的搅拌方法要求投入最少的时间、电力和人力。因此, 需要有一个标志适当(并非最低)搅拌均匀度的标准。该标准通常是饲料中某种养分或标记物分布的变异系数(CV), 而Beumer(1991)、Lindley(1991)以及Wicker和Poole(1991)已提出该变异系数应为 10%。然而, 在实践中, 没有一种正式的试验方法来检测搅拌均匀度。对于药物、维生素和结晶氨基酸在饲料中的分布, 已经采用了化学分析法, 但该法十分费时, 成本又高, 而且结果的变异很大。金属元素分析法比较精确, 研究人员多年来就已采用的一种方法是将氧化铬颗粒添加入一批饲料之中, 然后测定铬在饲料中的分布, 以此作为搅拌均匀度的度量。然而, 铬的测定(象大多数其它矿物质的测定一样)比较复杂并且费时, 而且往往还需要昂贵的设备。一种在饲料业日益受到欢迎的试验方法是Quantab®盐(实际是氯离子)测定。以这种方法来测定搅拌均匀度, 已经普遍取得了相当的成功, 但在日粮含有多种不同来源的盐(例如: 乳清, 鱼粉, 血制品, 食盐)时效果并不令人满意, 因为这时很难对结果进行解释。在这类有问题的场合, 常常应用有色铁屑法(Microtracer™法)。将经过水溶性染料着色的铁屑添加于搅拌机中, 然后对成品饲料取样, 对样品中的铁屑进行计数。然而, 还是存在这样一个问题: 所有各种方法在测定成品饲料营养价值的差别上究竟有多高的准确度呢?

Holden(1988)指出, 仅仅一批饲料搅拌不当很少会引起生长猪的严重问题, 因为一批饲料在极短时间内就会被吃完。Traylor等(1994)用断奶猪进行了一个为期21天的生长试验, 用双螺带搅拌机进行饲料搅拌, 设置四个不同的搅拌时间处理: 0分钟、0.5分钟、2

分钟和4分钟。搅拌时间从0分钟增加到0.5分钟,使铬浓度分布均匀度的变异系数(试验中以氧化铬作为标记物)从107%降低到了28%(表5)。当搅拌时间延长到4分钟时,日粮均一度得到了进一步提高(变异系数达到12%)。增重和肉料比随搅拌时间从0分钟增加到0.5分钟而明显提高,但对于搅拌时间进一步延长到4分钟则没有多大反应。他用同样的搅拌时间长度处理来搅拌肥育猪的日粮,结果表明(表6)生长性能没有因日粮变异系数从54%(0分钟搅拌)降低到 < 10%(4分钟搅拌)而受影响。饲喂不同处理日粮的猪之间,骨骼强度也没有差别,表明了最低程度的日粮搅拌并未对猪的钙或磷的状态造成问题。至

表5 搅拌时间对日粮均匀度和保育期仔猪生长性能的影响<sup>a</sup>

项 目	搅拌时间(分钟)				标准误	概率(P <)		
	0	0.5	2	4		线性	二次	三次
铬的变异系数(%) <sup>b</sup>	106.5	28.4	16.1	12.3	N/A <sup>c</sup>	N/A	N/A	N/A
平均日增重(克)	267	379	383	402	18	0.01	0.02	0.01
平均日采食(克)	598	711	701	720	22	0.01	0.08	0.02
增重/耗料比	0.446	0.533	0.546	0.558	0.017	0.01	0.03	0.02

<sup>a</sup> 摘自Traylor等(1994); 试验用猪为120头断奶猪(平均始重5.5千克), 每处理6圈, 每圈5头;

<sup>b</sup> 对每批饲料取10个样品测定;

<sup>c</sup> 不适用于搅拌分析。

少, 从数值上看, 饲喂0分钟搅拌(即变异系数54%)的日粮, 猪的平均日增重和肉料比最低, 胴体最肥, 不过, 这两个试验表明, 生长猪对于日粮均匀度可能不象以往认为的那么敏感, 因而变异系数达到比10%稍高一些的程度(也许是15%~20%)就足够。

表6 搅拌时间对日粮均匀度和肥育猪生长性能的影响<sup>a</sup>

项 目	搅拌时间(分钟)				标准误	概率(P <)		
	0	0.5	2	4		线性	二次	三次
铬的变异系数(%) <sup>b</sup>	53.8	14.8	12.5	9.6	N/A <sup>c</sup>	N/A	N/A	N/A
平均日增重(克)	777	807	793	787	15	-- <sup>d</sup>	--	--
平均日采食(克)	2.95	2.90	2.89	2.88	0.05	--	--	--
增重/耗料比	0.263	0.278	0.274	0.273	0.005	--	--	0.13
屠宰率(%)	73.7	73.3	73.1	73.0	0.2	0.04	--	--
背膘厚(毫米)	30.5	27.6	28.9	29.9	0.5	--	0.04	0.01
骨骼强度(千克力)	230	236	239	218	10	--	--	--

<sup>a</sup> 摘自Traylor等(1994); 试验用猪128头(平均始重56.3千克), 每处理4圈, 每圈8头;

<sup>b</sup> 对每批饲料取10个样品测定盐的变异系数;

<sup>c</sup> 统计学方法不适用于搅拌分析;

<sup>d</sup> 表示P > 0.15。

## 参考文献

ASAE. 1983. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. Am. Soc. Agric.

Eng. Standard S319. p 325. Yearbook of Standards.

**Aubel, C. E. 1945.** The comparative value of various sorghum grains as swine fattening feeds. Kansas Agric. Exp. Sta. Circ. 258:4.

**Aubel, C. E. 1955.** The comparative value of corn and whole and ground milo as swine fattening feeds. Kansas Agric. Exp. Sta. Circ. 320:24.

**Baker, R. J. 1960.** Factors that affect the granulation and capacity in grinding of corn, oats, and sorghum grain with a hammermill. M.S. Thesis. Kansas State Univ., Manhattan.

**Beumer, I. H., 1991.** Quality assurance as a tool to reduce losses in animal feed production. Adv. Feed Technol. 6:6.

**Brendemuhl, J. H., A. J. Lewis, and E. R. Peo, Jr. 1987.** Effect of protein and energy intake by primiparous sows during lactation on sow and litter performance and sow serum thyroxine and urea concentrations. J. Anim. Sci. 64:1060.

**Brooks, P. H., and D. J. A. Cole. 1972.** Studies in sow reproduction. 1. The effect of nutrition between weaning and remating on the reproductive performance of primiparous sows. Anim. Prod. 15:259.

**Cabrera, M. R., J. D. Hancock, R. H. Hines, K. C. Behnke, and P. J. Bramel-Cox. 1994.** Sorghum genotype and particle size affect milling characteristics, growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci. (Suppl. 1) 72:55 (Abstr.).

**Fraps, G. S. 1932.** Digestibility and production coefficients of pig feeds. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. 454.

**Giesemann, M. A., A. J. Lewis, J. D. Hancock, and E. R. Peo, Jr. 1990.** Effect of particle size of corn and grain sorghum on growth and digestibility of growing pigs. J. Anim. Sci. 68(Suppl. 1):104 (Abstr.).

**Goodband, R. D., and R. H. Hines. 1988.** An evaluation of barley in starter diets for swine. J. Anim. Sci. 66:3086.

**Healy, B. J., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, P. J. Bramel-Cox, K. C. Behnke, and R. H. Hines. 1994.** Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. J. Anim. Sci. 72:2227.

**Hedde, R. D., T. O. Lindsey, R. C. Parish, H. D. Daniels, E. A. Morgenthien, and H. B. Lewis. 1985.** Effect of diet particle size and feeding H<sub>2</sub>-receptor antagonists on gastric ulcers in swine. J. Anim. Sci. 61:179.

**Heimann, M. A. 1983.** Energy consumption and machine efficiency in particle reduction: A roller mill and hammermill comparison. First International Symposium on Particle Size Reduction in the Feed Industry. Kansas State Univ., Manhattan.

**Holden, P. J. 1988.** Diagnosing feed mixing problems in swine herds. Agri-Practice 9(4):3.

**King, R. H., and I. H. Williams. 1984.** The effect of nutrition on the reproductive performance of first-litter sows. 2. Protein and energy intakes during lactation. Anim. Prod. 38:249.

**Lawrence, T. L. J. 1967.** High level cereal grain diets for the growing-finishing pig. II. The effect of cereal preparation on the performance of pigs fed diets containing high levels of maize, sorghum, and barley. J. Agric. Sci. (Camb.) 69:271.

**Lawrence, T. L. J. 1970.** Some effects of including differently processed barley in the diet of the growing pig. 1. Growth rate, food conversion efficiency, digestibility, and rate of passage through the gut. Anim. Prod. 12:139.

**Lawrence, T. L. J. 1983.** The effects of cereal particle size and pelleting on the nutritive value of oat-based diets for the growing pig. Anim. Feed Sci. Technol. 8:91.

**Lindley, J. A., 1991.** Mixing processes for agricultural and food materials: I. Fundamentals of mixing. Agric. Eng. Res. 48:153.

- Mahan, D. C., R. A. Pickett, T. W. Perry, T. M. Curtin, W. R. Featherston, and W. M. Beeson. 1966.** Influence of various nutritional factors and physical form of feed on esophagogastric ulcers in swine. *J. Anim. Sci.* 25:1019.
- Mavromichalis, I., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, R. H. Hines, J. M. Derouchey, B. W. Senne, and S. P. Sorrell. 1998.** Effects of enzyme supplementation and particle size of wheat-based diets on nursery and finishing pigs. p 239. Kansas State University Swine Day, Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. 819.
- McElhiney, R. R. 1983.** Roller mill grinding. *Feed Management.* 34:42.
- Ohh, S. J., G. L. Allee, K. C. Behnke, and C. W. Deyoe. 1983.** Effect of particle size of corn and sorghum grain on performance and digestibility of nutrients for weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 57(Suppl. 1):260 (Abstr.).
- Owsley, W. F., D. A. Knabe, and T. D. Tanksley, Jr. 1981.** Effect of sorghum particle size on digestibility of nutrients at the terminal ileum and over the total digestive tract of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 52:557.
- Reece, F. N., B. D. Lott, and J. W. Deaton. 1985.** The effects of feed form, grinding method, energy level, and gender on broiler performance in a moderate (21°C) environment. *Poult. Sci.* 64:1834.
- Reese, D. E., B. D. Moser, E. R. Peo, Jr., A. J. Lewis, D. R. Zimmerman, J. E. Kinder, and W. W. Stroup. 1982.** Influence of energy intake during lactation on the interval from weaning to first estrus in sows. *J. Anim. Sci.* 55:590.
- Sauer, W. C., S. C. Stothers, and G. D. Phillips. 1977.** Apparent availability of amino acids in corn, wheat, and barley for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 57:585.
- Silver, E. R. 1932.** Characteristics of feed mill performance. *Agric. Eng.* 13:31.
- Traylor, S. L., J. D. Hancock, K. C. Behnke, C. R. Stark, and R. H. Hines. 1994.** Uniformity of mixed diets affects growth performance in nursery and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl. 2): 59.
- Vermeer, M. E. 1993.** Roller mills versus hammermills: grinding economics. *Feed Management.* 44(9):39.
- Wicker, D.L., and D.R. Poole. 1991.** How is your mixer performing? *Feed Management* 42(9):40.
- Wilcox, R. A., and D. L. Unruh. 1986.** Feed mixers and feed mixing times. Kansas State Univ. Coop. Extension Service Bull. MF-829.
- 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.
- Wondra, K. J., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, K. C. Behnke, and K. R. Wondra. 1995d.** Effects of reducing particle size of corn in lactation diets on energy and nitrogen metabolism in second-parity sows. *J. Anim. Sci.* 73:427.
- Wondra, K. J., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, R. H. Hines, and K. C. Behnke. 1995e.** Reducing particle size of corn in lactation diets from 1,200 to 400 micrometers improves sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 73:421.
- Woodsman, H. E., R. E. Evans, and A.W.M. Kitchin. 1932.** The value of oats in the nutrition of swine. *J. Agric. Sci. Camb.* 22:657.