

饲料粉碎粒度对营养和加工成本的影响¹

PARTICLE SIZE REDUCTION, NUTRITIONAL IMPACT VS. COST

Keith C.Behnke 博士，美国堪萨斯州立大学谷物科学系

Robert Goodband 博士，美国堪萨斯州立大学动物科学系

Joe D.Hancock 博士，美国堪萨斯州立大学动物科学系

前 言

谷物是多数家畜日粮的主要能量来源。谷物生产者不仅要关注谷物成分，而且还应关心如何加工谷物使其养分能被家畜充分利用。饲料费用占畜产品生产总成本的 65%—75%，因此提高原料利用率对控制生产成本具有重大影响。差不多所有饲料原料都要进行某种方式的饲料粉碎(原文：particle size reduction，直译即降低粒度——译注)。粉碎可以加大谷物的表面积，从而可与消化酶系和化学物更好地发生反应，并使饲料处理、搅拌混合及进一步加工更加容易进行。不过，精细粉碎会增加饲料加工的能量费用，还可能导致家畜消化道溃疡、饲料结拱和粉尘问题。因此，精细粉碎所增加的费用必须由提高饲料转化率抵销，才有所值。

饲料粉碎费用

饲料粉碎费用很大程度上反映在两个方面：1)碾磨一定量谷物所需的能量；2)粉碎时每千瓦小时的生产率。我们在堪萨斯州立大学进行的一项研究(Wondra 等人，1995b)，用锤片粉碎机将玉米粉碎到平均粒度为 1000 μm (微米，下同)、800 μm 、600 μm 、400 μm 。当粒度从 1000 μm 降到 600 μm 时，粉碎能量略增(从 2.7kW.h/t 增到 3.8kW.h/t)(图 1)；但是粒度再降低 200 μm (达到几何学平均粒度 400 μm)，所需能量比粉碎到 600 μm 的能量要大两倍多(即 8.1kW.h/t)。粒度从 1000 μm 降到 600 μm ，生产率略有下降；而粉碎到 400 μm ，则生产率明显下降。这些数据清楚地证明，玉米粉碎到更小粒度时，能量消耗加大且生产率下降。我们的另一个试验(Healy 等

¹ 首次发表于 1999 年 6 月

人, 1994), 是用一个三联辊磨(three-high rollermill)将玉米和两种高粱(一种硬质胚乳, 另一种软质胚乳)粉碎到平均粒度为 900 μm 、700 μm 、500 μm 。实验结果证明, 不同的谷物有不同的碾磨特性, 与两种高粱相比, 玉米粉碎耗能较大, 生产率较低。高粱粉碎到 500 μm 所需能量比玉米粉碎到 900 μm 要少。Baker(1960)也发现, 高粱比玉米易于粉碎, 而玉米又比燕麦易于粉碎。

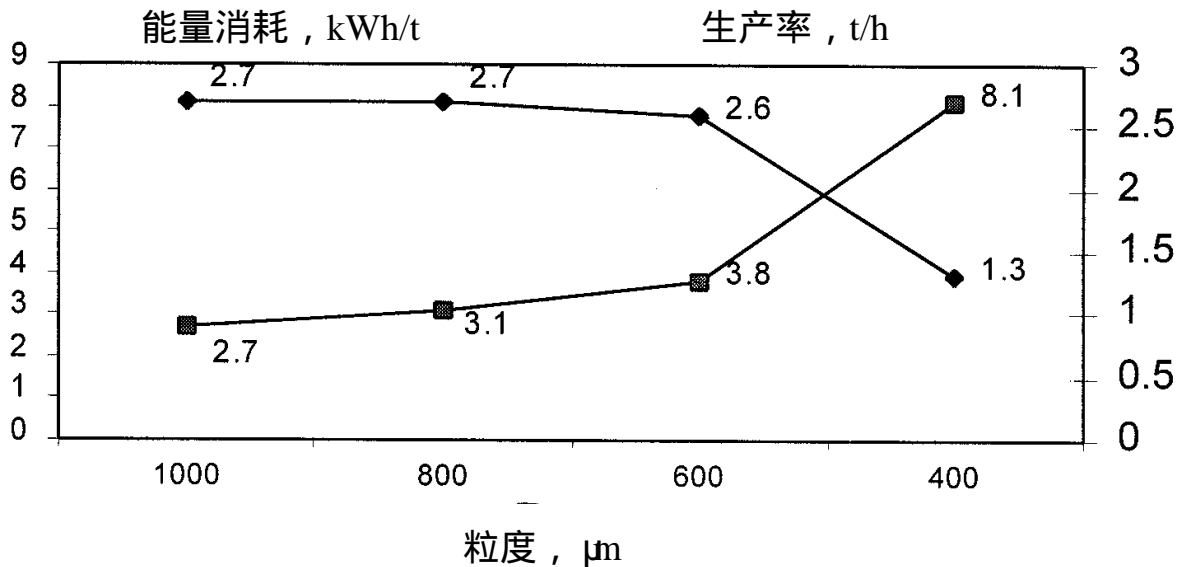


图1 用锤片粉碎机加工玉米的能量消耗和生产率
(Wondra 等人, 1995a)

我们应用 McEllhiney(1986)的费用分析法来分析我们的粉碎数据, 认为可以分成可变的电力费用和各种固定费用, 包括折旧、利息、税金、保险、保养、修理、劳力。粉碎总费用高低不等, 从硬质高粱粉碎至平均粒度 900 μm 的总费用 0.64 美元 / 吨, 到玉米粉碎至平均粒度 500 μm 的总费用 5.98 美元 / 吨。两种高粱粉碎至 500 μm 的费用均低于玉米粉碎至 900 μm 的费用。为了确定谷物粉碎可能造成的营养价值变化, 以重量 / 重量比率将粉碎的谷物掺进哺乳期仔猪的日粮中, 用这日粮饲喂 240 头猪进行 35 天生长分析。这个试验的费用分析表明, 当粒度从 900 μm 降到 500 μm 时, 日粮费用因粉碎费用加大而增加, 但是, 日粮费用的这点增加被提高的谷物利用率抵销有余, 结果是三种谷物在降低粒度之后每 100kg 增重的费用都有所下降。可见, 在决定如何在一种谷物的粉碎上取得最大效益的时候, 应当把粉碎费用与预期改善家畜生产表现之间的差额考虑进去。

饲料粒度与家畜生产表现

关于养猪和其他家畜日粮的最佳粒度问题，一直有许多含糊不清之处，这是一贯存在多种多样日粮粒度分级方法所造成的。近来已经建立了更为精确的粒度分级法，是按颗粒的几何学平均粒径（以 μm 为单位）分级，还附有颗粒的几何学平均标准差（表示粒度分布）。这种方法可以更精确的确定粒度，也使我们可以对数据作出更好的解释。

由于在家畜年龄、谷物类型和饲料粒度之间的相互影响，一些反映粒度对家畜生产表现的影响的数据变得更加复杂化。一般地说，年幼的猪咀嚼饲料的能力比生长育肥猪更强，因此精细粉碎在改善饲料利用率方面的效果，对育肥猪最为明显。不过，无论家畜多大年龄，精细粉碎或碾磨都会使饲料利用率有所改善。

饲料粒度对幼猪生产表现的影响

在堪萨斯州立大学进行的一项研究(Ohh 等人,1983)说明了饲料粒度对幼猪生产表现的影响。这项研究用 192 头猪(初始体重 7—8kg)饲喂以玉米或高粱为主的日粮。用配备 3.2mm 筛板(细)或 4.8mm 筛板(粗)的锤片粉碎机粉碎谷物；同时，每种谷物还用辊磨碾碎，靠调节磨辊间隙和进料速度磨成粗、细两种规格。精细粉碎或碾磨都如所预期地降低了日粮的平均粒度。尽管粒度差异并未影响平均日增重，但精细粉碎或精细碾磨都提高了饲料转化率(表 1)。将这些数据按谷物类型和加工方法归纳汇总，并只按粒度进行分级，则饲料转化率的提高看来是由于养分消化率提高的结果(表 2)。这些数据表明，粒度在 700 μm 至 800 μm 之间的饲料转化率最高。

日粮中的谷物类型也影响猪对降低饲料粒度的反应。最近一些用大麦之类的高纤维饲料原料进行的研究结果表明，这种类型的原料经过精细粉碎可使其饲养价值大为提高。一个大学的研究比较了不同粒度的大麦和高粱(milo)对幼猪的饲养效果(表 3)。大麦用配备 3.2mm 筛板(细)或 4.0mm 筛板(中等)的锤片粉碎机粉碎，高粱配以 4.0mm 筛板。虽然饲喂高粱日粮的猪比饲喂大麦日粮的猪增重较快，但饲喂细碎大麦比饲喂中等粒度大麦生长更快。饲喂中等粒度大麦(768 μm)的猪，其饲料转化率最低，而饲喂细碎大麦(635 μm)和高粱(624 μm)日粮的猪在饲料转化率方面结果相同。

表 1 玉米、高粱为主的日粮的粒度对幼猪生产表现的影响

| 谷物 | 磨碎机种类 | 粒度分级 | 颗粒平均粒径 (μm) | 平均日增量(lb) | 每日采食量(lb) | 饲料/增重 |
|----|-------|------|-------------|-----------|-----------|-------|
| 玉米 | 锤式粉碎机 | 细 | 624 | 1.01 | 1.73 | 1.70 |
| | | 粗 | 877 | 0.99 | 1.77 | 1.78 |
| | 辊磨 | 细 | 822 | 1.02 | 1.85 | 1.81 |
| | | 粗 | 1147 | 1.04 | 2.00 | 1.92 |
| 高粱 | 锤式粉碎机 | 细 | 539 | 0.96 | 1.72 | 1.78 |
| | | 粗 | 722 | 1.00 | 1.79 | 1.79 |
| | 辊磨 | 细 | 885 | 1.00 | 1.91 | 1.92 |
| | | 粗 | 1217 | 0.94 | 1.82 | 1.94 |

^aOhh 等人, 1983.

表 2 玉米和高粱的粒度对表观消化率的影响

| 粒度 (μm) | 消化率 (%) | | | 饲料/增重 |
|--------------|---------|------|------|-------|
| | 干物质 | 蛋白质 | 能量 | |
| <700 | 86.1 | 82.9 | 85.8 | 1.74 |
| 700 to 1,000 | 84.9 | 80.5 | 84.4 | 1.84 |
| >1,000 | 83.7 | 79.1 | 82.6 | 1.92 |

Ohh 等人, 1983

表 3 大麦粒度对幼猪生产表现的影响

| 项目 | 谷物 | 大麦 | 大麦 | 买罗高粱 |
|----------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 筛孔大小, in : | 1/8 | 3/16 | 3/16 |
| | 粒度, μm : | 634 | 767 | 623 |
| 日增重, lb | | 0.85 ^b | 0.81 ^c | 0.97 ^b |
| 日采食量, lb | | 1.44 ^b | 1.44 ^b | 1.62 ^a |
| 饲料转化率 | | 1.70 ^a | 1.70 ^b | 1.69 ^a |

^{abc} 上标不同的数据之间有差异 (P<0.05)。

Goodband 等人, 1985

饲料粒度对生长育肥猪的影响

家畜生产表现的提高虽然不是先进加工技术唯一的好处，但却是最为直观、最易测量、也最受日粮产品最终使用者(即家畜饲养者)青睐之处。有少数试验表现降低饲料粒度可提高增重速度，但更为典型的是提高增重效率。Mahan 等人(1966)和 Lawrence(1983)的试验结果表明，随着谷物的粉碎粒度由粗到细，增重饲料比加大。Gieseemann 等人(1990)也报道，用玉米或一种青铜色高粱品种饲喂育肥猪，降低饲料粒度可提高增重效率。我们的一项研究(Wondra 等人，1995b)，用粒度范围在 1200 μm 至 400 μm 的玉米饲喂育肥猪，使增重饲料比提高了 8%。综合我们的几个试验所得数据，看来大致有这样一个经验估计，即用粒度范围在 1200 μm 至 400 μm 之间的玉米饲喂处于生长期的猪，平均粒度每降低 100 μm 可使增重饲料比提高 1.3%。可见，掌握适宜的碾磨是取得养猪最佳生产表现的一个有效途径。

饲料粒度对母猪生产表现的影响

适宜碾磨的好处也同样适用于经产母猪，这一点相当重要。大家都知道，传统饲料不能满足高产母猪的营养需要，增加母猪的养分摄入量即可提高其生产表现(Brooks and Cole,1972；Reese 等人，1982；King and Williams,1984；Brendemuhl 等人，1987)。增加母猪养分摄入，最常用的方法是添加蛋白质和 / 或脂肪以提高日粮的养分密度(这也增加了日粮费用)。另一个办法是让母猪感到舒适而增加饲料摄入量，譬如在炎热夏季喷水或喷雾。这个办法会增加饲料摄入量，但可惜也增加了粪便排泄量而使养分更多地流失。奇怪的是，几乎一直没有人考虑到第三条途径，就是设法提高日粮中已有养分的消化率。

我们做过一项哺乳母猪试验(Wondra 等人，1995e)，用碾磨到 4 种粒度(1200 μm ，900 μm ，600 μm ，400 μm)的玉米配制日粮，饲喂 100 头初产母猪。当时担心细粉碎的玉米日粮适口性差，但情况并不如此，降低玉米粒度确实提高了饲料摄入量(图 2)。饲料摄入量的增加和养分消化率的明显提高使得可消化能(DE)摄入增加了 14%，一窝增重增加了 11%。由于降低粒度提高了养分消化率，粪便干物质(DM)减少了 21%，粪便排出的氮(N)减少了 31%。养分排泄量的减少对养猪农民处理粪便的负担立即产生了明显影响。

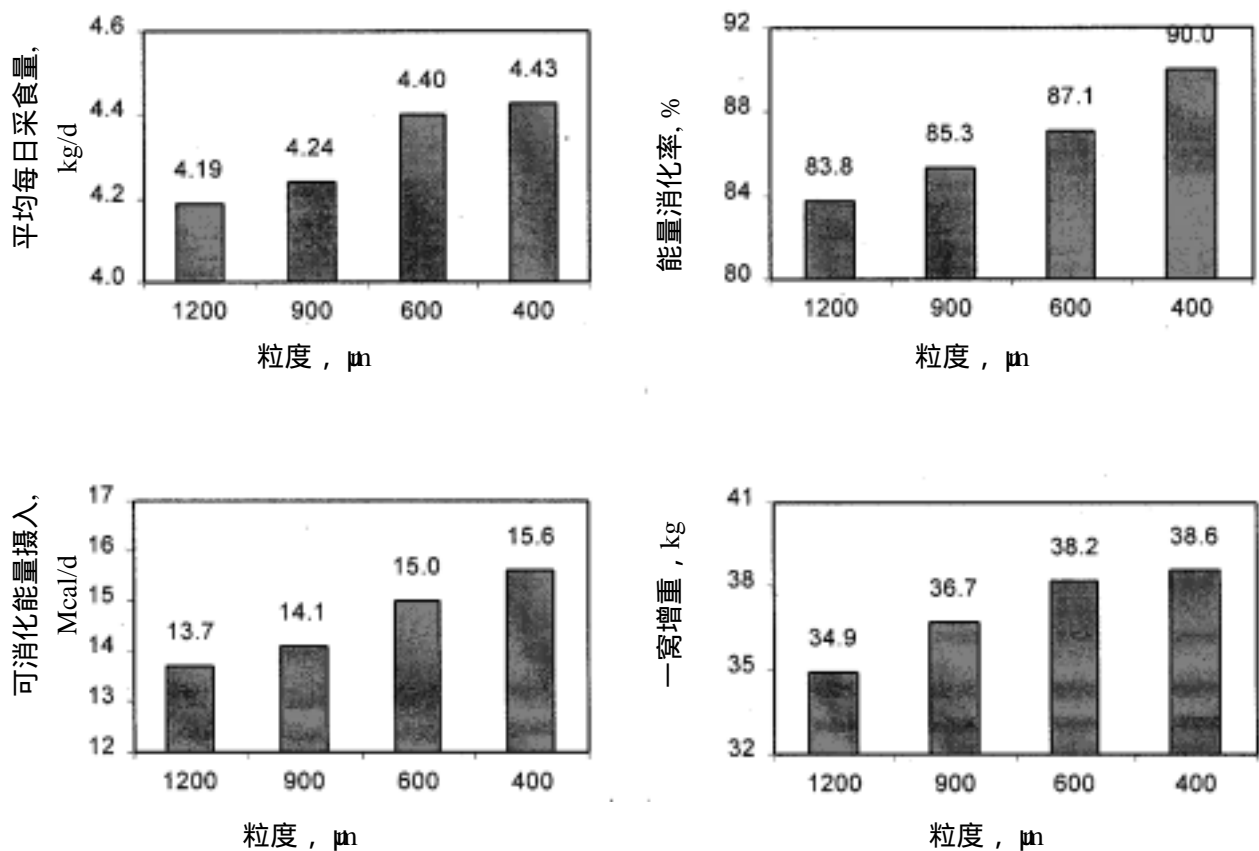


图 2 玉米粒度对初产母猪的哺乳表现、表现消化率和能量摄入的影响 (引自 Wondra 等人, 1995e)

为了查明降低饲料粒度对家畜哺乳期间营养代谢的影响,我们用了 38 头二次临产母猪进行代谢试验(Wondra 等人, 1995d)。这些母猪喂的是以玉米—豆粕为主的日粮, 玉米分别粉碎至 1200 μm 、900 μm 、600 μm 和 400 μm 。试验结果表明, 随着玉米粒度从 1200 μm 降到 400 μm , DM 和 N 的消化率以及总能(GE)均得以提高(表 4)。用 400 μm 玉米配制的日粮取得的消化能和可代谢能(ME)最大。随玉米粒度从 1200 μm 降到 400 μm , 日粮的 ME 浓度从 3399kcal / kg 增至 3745kcal / kg。如果通过饲料配方增加同样幅度的能量密度, 需要添加 9% 豆油。蛋白质生物价值和 N 存留随粒度从 1200 μm 降至 600 μm 而升高, 但随粒度降至 400 μm 而下降。这是由于玉米的氨基酸构成所致。作为一种蛋白质来源, 玉米缺乏赖氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸, 而其他一些氨基酸如亮氨酸则过剩(NRC, 1988)。豆粕的氨基酸构成恰能弥补玉米之不足, 但是, 如果仅只提高玉米的消化率, 日粮的可消化非限制

氨基酸则很高，这些多余氨基酸的 N 会从尿中排出，因而降低了生物价值和 N 存留百分率。

从以上用哺乳期仔猪、育肥猪和泌乳母猪进行的几个试验，我们的数据表明，谷物的最佳粒度是 600 μm 或更低。我们对这个推荐意见是有信心的，但是仍然经常有人提问在这平均粒度之内的理想整齐度是多少。

表 4 玉米粒度对二次临产母猪营养代谢的影响

| 项 目 | 粒 度 , μm | | | |
|------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | 1,200 | 900 | 600 | 400 |
| DM 消化率 | 82.2 | 85.2 | 85.6 | 88.1 |
| N 消化率 | 80.7 | 85.6 | 86.9 | 88.5 |
| 生物价值 | 55.0 | 62.7 | 62.0 | 57.0 |
| N 存道 | 50.9 | 63.0 | 63.3 | 56.7 |
| GE 消化率 | 81.9 | 85.5 | 86.3 | 89.9 |
| GE 存留 | 13.2 | 14.1 | 14.4 | 14.3 |
| DE, Kcal/k | 3,513 | 3,668 | 3,705 | 3,857 |
| ME, kcal/k | 3,399 | 3,572 | 3,601 | 3,745 |

Wondra 等人, 1995a

锤片粉碎机与辊磨

养畜农民最常问的问题就是他们加工谷物应当用锤片粉碎机或是用辊磨。这两种机器都能将谷物加工到所想要的粒度，但必须从它们的优缺点来考虑哪一种最适合你的养殖场。不管你使用哪种磨碎机，维修是有效降低饲料粒度的关键。锤片粉碎机在锤片磨损后应将锤片更换。要检查锤尖与筛板之间的距离，防止间隙过大而增加磨损并降低粉碎效率。筛板也需要及时检查更换。新筛板的筛孔锐利，有助于在谷粒通过时起切割作用，通过的物料多了便使筛孔变钝。砂石或异物金属会让筛板出现大的孔洞，致使整粒谷物混入饲料中，这时需要更换新的筛板。在喂料口附近安装一块磁铁并注意清理谷物，可以减少这类问题发生。机器磨损程度随加工吨数而加重，但如锤片粉碎机每天运转 6 小时以上，应当每月至少检查两次磨损情况。

辊磨优于锤片粉碎机之处是加工后粒度更为整齐。这就消除了微细颗粒而可能改善猪的生产表现，因为微细颗粒可能会减少猪的进食量。一般来说，辊磨耗能少于锤片粉碎机。要达到养猪的日粮所要求的粒度，一台辊磨的能耗费用比一台锤片粉碎机减少 28%(表 5)。

表 5 锤式粉碎机与辊磨的能量费用比较
(按每千瓦小时 10 美元计)

| 机 器 | 粒 度 (μm) | 每公吨费用 (节能%) | |
|-------|--------------------------|----------------|-------|
| 锤式粉碎机 | 399 | \$1.56 | (16%) |
| 辊 磨 | 432 | \$1.31 | |
| 锤式粉碎机 | 647 | \$0.81 | (27%) |
| 辊 磨 | 659 | \$0.59 | |
| 锤式粉碎机 | 718 | \$0.65 | (28%) |
| 辊 磨 | 709 | \$0.47 | |
| 锤式粉碎机 | 928 | \$0.49 | (27%) |
| 辊 磨 | 810 | \$0.36 | |
| 锤式粉碎机 | 2,040 | \$0.35 | (86%) |
| 辊 磨 | 1,813 | \$0.05 | |

Hei mann, 1985

然而，辊磨对管理的要求较高，如果频繁地改换加工谷物的类型和质量，可能做不到保持稳定的粒度。用辊磨达到养猪的日粮所要求的饲料粒度，必须满足三个要求，即：(1)采用差速传动；(2)每英寸圆周长度上的磨齿数正确；(3)磨齿斜度适当。差速传动是指两个磨辊转动的速度比，两个磨辊以同样速度转动时速差为 1 : 1，但要达到最佳粒度和整齐度，建议让其中一个磨辊转快一些。有代表性的快辊转速应比慢辊快 25%—50%，或者说速差为 1.25—1.50 : 1。

磨辊上的磨齿也很重要，它在磨辊与谷粒接触时起剪切作用。斜度是指磨齿

与磨辊之间的关系，这斜度像是理发店招牌杆上的彩条或者螺钉上的螺纹。有代表性的磨齿斜度是每米辊体长度走斜 80mm 至 150mm。差速传动、磨齿数和磨齿斜度这些因素综合一起，便产生一种剪切力，这种力是将谷粒“切片”，而不是破碎。这样便可得到少带细粉更为整齐的粒度。

如同锤片粉碎机中谷粒大小与筛孔之间的关系一样，辊磨的磨齿与谷粒大小之间也有类似的关系(表 6)。稀的磨齿(每厘米 2.3 个磨齿)会将小谷粒卡在磨齿之间而碾磨不到。因此，每厘米磨齿数应随谷粒减小而相应增加。磨齿数不同的磨辊搭配一起会得到较细的粒度，例如，一个磨辊每厘米 3 齿，另一个 4 齿。

使用一段时间后，磨齿会受磨损而效率减弱。这也取决于加工的吨数和谷物中是否带有砂石和异物。当加工后的粒度很不稳定或饲料中出现整粒谷物时，这表明磨辊需要重新拉丝。可能是一年或更长一点时间需要这样处理一次，视加工吨数而异。

表 6 各种谷物的推荐辊磨磨齿数

| 谷 物 | 每英寸磨齿数 | | |
|----------|--------|-------|----------|
| | 粗 | 中 等 | 细 |
| 玉 米 | 6 | 8 | 10 |
| 小麦、大麦、燕麦 | 8 | 10 | 12 (或更细) |
| 高 粱 | 10 | 12-14 | 14 (或更细) |

Elliott, 1983

饲料粒度的整齐度

最近我们发表了一系列试验所得到的数据，这些试验是考察饲料粒度的整齐度对育肥猪的生产表现和养分消化率的影响(Wondra 等人，1995c)。第一个试验有下列几个处理：1)辊磨粗碾的玉米与精细粉碎的玉米按 40 60 混合，粒度标准差(S_{gw})大到 2.7；2)锤片粉碎机粉碎的玉米， S_{gw} 为 2.3；3)辊磨磨碎的玉米， S_{gw} 2.0。所有处理的玉米平均粒度都在 850 μ m 左右。当 S_{gw} 较小时，DM、N 的消化率和 GE 确实较高(图 3)，但生产表现没有差别。第二个试验的几个处理是分别用锤片粉碎机或辊磨将玉米磨至 800 μ m 或 400 μ m。锤片粉碎机磨碎的玉米，在 800 μ m 和

400 μm 粒度的 S_{gw} 分别是 2.5 和 1.7；辊磨磨碎的玉米，在上述粒度的 S_{gw} 分别是 2.0 和 1.9。用辊磨磨碎的玉米喂猪，猪的养分消化率比用锤片粉碎机粉碎的玉米喂猪要大，同时使粪便中的 DM 和 N 排泄量分别减少 19% 和 12% (表 7)。用辊磨将玉米磨碎至 400 μm ，喂猪的消化率较大，即使锤片粉碎机粉碎的玉米的 S_{gw} 略低也是如此。这说明磨碎机类型具有一种单独的影响(尽管不大明显)，与 S_{gw} 的影响不相关联。据 Reece 等人(1985)的描述，锤片粉碎机加工的玉米颗粒形状更近球形。边缘也比辊磨加工的玉米颗粒更为整齐，圆球形状会降低对消化道酶系的敏感性，从而使锤片粉碎机加工的玉米的养分消化率下降。这种解释很难加以证实，但颗粒形状会影响谷物养分价值这种可能性是令人感兴趣的。在这篇逸话式报告中还有其他一些同样有趣的观察，认为辊磨加工的颗粒较为整齐，使饲料具有更好的流动性和处理特性。还有，辊磨加工的饲料似乎可减少(轻微地)对肠道可能发生的损害。

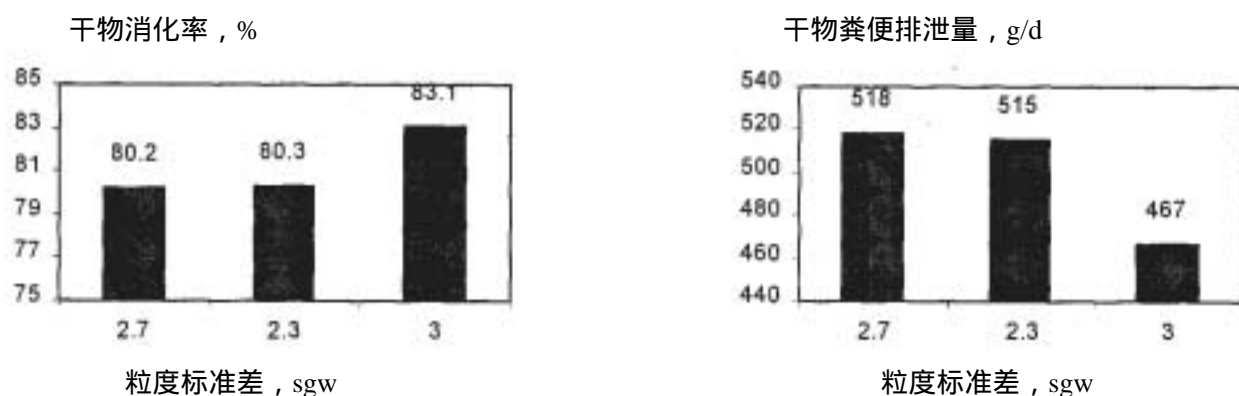


图 3、粒度整齐度对干物质消化率和粪便排泄量的影响
(Wondra 等人, 1995a)

总之，提高粒度的整齐度(即采用辊磨)增强了养分消化率，但是并不同时出现生产表现方面预期的改善。我们的数据表明，辊磨主要的一些长处都是在降低碾磨费用上，而不是对猪的生产表现有什么明显而稳定的影响。因此，把注意力放在降低平均粒度所取得的稳定提高生产表现方面，而不放在与提高颗粒整齐度有联系的些微变化上，看来是明智的。

表 7 磨碎机类型和粒度对颗粒特征和喂猪养分利用的影响

| 项 目 | 锤片粉碎机 | | 辊 磨 | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 800 | 400 | 800 | 400 |
| <u>颗粒特性</u> | | | | |
| μm | 826 | 419 | 793 | 415 |
| 粒度标准差 | 2.5 | 1.7 | 2.0 | 1.9 |
| <u>生产表现</u> | | | | |
| ADG,kg | 0.93 | 0.96 | 0.96 | 0.92 |
| G/F | 0.284 | 0.308 | 0.291 | 0.305 |
| <u>表观消化率,%</u> | | | | |
| DM | 82.5 | 86.0 | 86.6 | 87.3 |
| N | 72.1 | 80.1 | 76.0 | 82.6 |
| GE | 81.2 | 86.7 | 85.9 | 87.7 |
| <u>粪便排泄, g/d</u> | | | | |
| DM | 517 | 396 | 347 | 347 |
| N | 18.4 | 12.6 | 10.9 | 10.9 |

小 结

在做日粮配方时，我们常问自己，是否增加一种新的饲料原料或者换用另一个日粮配方在经济上更为合算。我们从提高饲料转化率的角度去推敲日粮费用，这样也许能够使饲养成本降低 1%—3%。而通过检验并测报日粮粒度，不必改变日粮构成，我们就能使饲料转化率提高 5%—10%。平均粒度掌握在 700 μm—800 μm，便会取得最佳饲料转化率，而且还不发生家畜溃疡和饲料结拱问题。

可见，降低日粮粒度是提高你的养殖场经济效益的一个快速简便的方法。

(刘瑞征 翻译)

参考文献

- 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.
- 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 thyroxin 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.
- 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.).
- 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.
- 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. 1983. The effects of cereal particle size and pelleting on the nutritive value of oat-based diets for the growing pig. *Anim. Feed Sci. Tech.* 8 91.
- 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.
- McElhiney, R. R. 1986. The cost of grain processing. *Feed Manag.* 37 30.
- NRC. 1988. *Nutrient Requirements of Swine* (9th Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Ohh, S. J., G. L. Allee, K. C. Behnke, and C. W. Deyoe. 1983. Effects of particle size of corn and sorghum grain on performance and digestibility of nutrients for weaning pigs. *J. Anim. Sci.* 57(Suppl.) 260(Abstr.).
- 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.

Wondra, K. J., J. D. Hancock, K. C. Behnke, and R. H. Hines. 1995a. Effects of dietary buffers on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 73 414.

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. Effect of reducing particle size of corn in lactation diets on energy and nitrogen metabolism in second-parity sows. *J. Anim. Sci.* 73 427-432.

Wondra, K. J., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, R. H. Hines, and K. C. Behnke. 1995e. Reducing particle size of corn in lactating diets from 1200 to 400 micrometers improves sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 73 421-426.