

# 大豆粕和大豆在反刍动物和猪饲养中的应用

R. L. Preston 博士，美国德州理工大学 (周鼎年 翻译)

大豆用作为人膳食中的蛋白质来源已有五千多年的历史(Central Soya Co., Inc., 1990)。公元前 2800 年左右，中国的炎帝神农氏首先提倡种植大豆。在本世纪初传入美国以前，大豆主要在中国种植。起初，美国主要关心大豆的含油量，提出油以后的大豆粕和大豆皮仅仅是副产品。不久，大豆粕中蛋白质的优异品质被人们所认识。从此，大豆粕成了猪、鸡日粮中补充蛋白质的主要来源。全世界来说，动物饲料中所用的所有植物性饼粕中 62% 为大豆粕(其次为油菜籽粕，占 12%)；在美国，大豆粕总量中用于猪、鸡日粮的分别占 52% 和 29% (Chandler, 1999)。

当大豆加工时，大豆的 74% 是大豆粕 (SBM)。大豆粕蛋白质的质量优异，也就是说，其氨基酸组成与动物的需要相接近。当往单胃动物日粮的谷物中补加大豆粕时，它可弥补谷物中氨基酸的不足，特别是赖氨酸。如果有商业生产的赖氨酸，补充蛋白质的水平可以下降。

## 大豆粕用作饲料

在大豆粕可以有效地用作蛋白质补充料之前，必须对脂肪提取后剩下的大豆粕进行热处理，使其中抑制生长的成分失活。这主要是会在动物肠道中干扰蛋白质消化的胰蛋白酶抑制因子 (Vohra and Kratzer, 1991)。脂肪提取后剩下的大豆粕还含有尿酶。胰蛋白酶抑制因子和尿酶都会在加热时失活，而且尿酶的失活是检验热处理是否已足以使胰蛋白酶抑制因子失活的依据。但是，尿酶试验不能测定大豆粕是否加热过度。另一种检验大豆粕加热是否合适的方法是测定大豆粕蛋白质在 0.2%KOH(0.0356N) 中的溶解度 (Araba and Dale, 1990b)。这个方法也可以测定大豆粕是否加热过度，因为大豆粕蛋白质在 0.2%KOH 的溶解度低于 59% 时鸡的生长效率就会下降 (Araba and Dale, 1990a; Parson et al, 1991)。有人也提出了测定热处理对大豆粕影响的其他方法 (Vohra and Kratzer, 1991)。

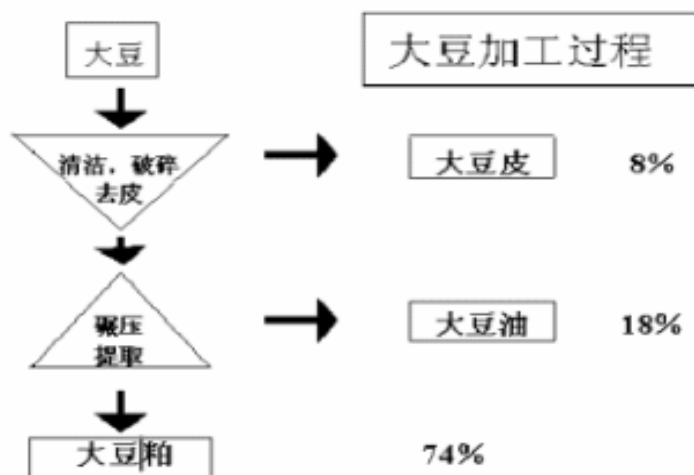


图1 大豆的加工过程简图

表1 加热（高温高压）大豆粕对其蛋白质在 0.2N KOH 中的溶解度及鸡生长效率的影响

加热时间（分钟）	蛋白质溶解度（%）	效率（对照组的%）
对照组	84	100
5	72	102
10	64	98
15	57	94
20	50	90
40	36	64

### 反刍动物对蛋白质的利用

关于当前对反刍动物利用氮方面的概念已有所综述（NRC，1985）。当反刍动物进食粗蛋白，它被瘤胃微生物用来合成微生物蛋白质。有些蛋白质由于其化学组成或在瘤胃中停留时间短暂而不能被瘤胃微生物充分降解，因而被称为过瘤胃蛋白（bypass protein）或不降解进食蛋白（CP）后，不论是完整的蛋白质还是非蛋白氮（NPN），瘤胃微生物都将蛋白质降解为肽类、氨基酸以及终产物氨。这种蛋白质称为可降解的进食蛋白质（degradable intake protein, DIP）质（undegradable intake protein, UIP）。这些不降解的蛋白质通过瘤胃而进入

真胃和小肠。因此，供动物消化和吸收的蛋白质是微生物蛋白和不降解饲料蛋白的混合物。

由于反刍动物中存在这两种蛋白质利用过程，因而实际上必须满足两种蛋白质需要量，即瘤胃微生物对可降解蛋白质（氮）的需要量和反刍动物在数量和质量上对蛋白质的需求。研究表明，为使动物发挥最大效率，首先应满足瘤胃微生物的蛋白质需求，因此首先需要适量的 DIP。

厌氧瘤胃发酵的结果是瘤胃微生物产生了能量（挥发性脂肪酸，主要是乙酸、丙酸和丁酸）和微生物蛋白，但是蛋白质与能量相比往往不能在数量上满足反刍动物对蛋白质的需求，特别是青年动物和高产奶牛（Orskov et al, 1980）。这一点最好用蛋白能量比来表示（Preston, 1966）。在采食维持能量的情况下，反刍动物需要的可消化蛋白（DP）对可消化能量（DE）之比为 12 克 DP/Mcal DE。快速生长的反刍动物需要 22—24 克 DP/Mcal DE，高产奶牛需要 31—32 克 DP/Mcal DE（Preston, 1972），而瘤胃发酵产生的 DP 与 DE 之比只有 18（Purser, 1970）。这些关系说明，DIP 可以供应维持、低速生长和低产奶量所需要的蛋白质。但是，对于快速生长，所进食蛋白质中至少应有 25%  $[100(24-15)/24]$  是 UIP；对于高产奶牛，至少 44%  $[100(32-18)/32]$  的进食蛋白必须是 UIP。根据最新的 NRC 肉牛营养需要（1996），对于采食高粗饲料日粮的低速生长牛，UIP 的需要量是进食蛋白质需要量的 12%；而对于采食高精饲料日粮快速生长围栏肥育肉牛，UIP 应占 56%。根据最新的 NRC 奶牛营养需要（1989），泌乳牛的 UIP 需要量应占进食蛋白质的 37—44%。

### 反刍动物对大豆粕的利用

关于大豆粕在反刍动物日粮中的应用已发表了三篇很好的综述（Satter et al, 1991; Lin and Kung, 1997; Stallings, 1999）。

瘤胃微生物对大豆粕蛋白质的降解力相当高（CP 的 64—68% 是 DIP; Hillman, 1998; Preston, 1999），这说明其 UIP 相对较低（CP 的 32—36%）。如上所述，DIP 是第一位需要，是为满足维持、低速生长或低产奶量所需的全部所有。但是，最新的数据表明，在高精料、高增重的围栏肥育型日粮中 DIP 也可能是重要的，

特别是如果日粮中的谷物是经过热加工的。这可能用来解释，为什么在 CP 含量适当的高谷物日粮中加入大豆粕以提供释放率比尿素缓慢的 DIP 后围栏肥育牛的生长率和饲料转化率可以得到提高 (Trenkle, 1994)。当往以蒸汽压片高粱粒为基础的、CP 含量适当的围栏肥育牛日粮中加入尿素后也能观察到这种反应 (Preston et al, 1993)。对上述数据进行重新评估后得出的结论是，高谷物的围栏肥育牛日粮应含有 7%DIP 和最多达 6% 的 UIP。

表 2 大豆粕在 CP 适当的生长牛围栏肥育日粮中的应用

项 目	日粮 CP (DM 的%)			
	9.5	11 <sup>a</sup>	12.5 <sup>a</sup>	14
蛋白质来源	尿素	尿素	大豆粕+尿素	大豆粕+尿素
日增重, 公斤	1.56	1.68	1.79	1.93
增重/100DM	19.2	19.9	20.3	21.4

<sup>a</sup>11-12.5%CP 是适宜水平。

但是，日益引人注意的是提高大豆粕中 UIP 含量，使其更适用于高产反刍动物特别是泌乳牛日粮的加工工艺。在叙述这些工艺之前必须指出的是，有可能发生加工过度，上面说过的鸡方面的数据就是证明 (Araba and Dale, 1990a; Parsons et al, 1991)。目标是既要提高大豆粕的 UIP 值，又不降低蛋白质在真胃和肠道中的消化率 (Van Soest, pp. 294-296, 1994)。

用螺旋压榨法生产大豆粕与溶剂提取法不同，螺旋压榨过程中产生热，使所得大豆粕的 UIP 值 (CP 的 38-70%) 高于溶剂提取大豆粕 (CP 的 34%)。虽然在某一加工厂内螺旋压榨大豆粕的 UIP 值可能比较一致，但在不同加工厂之间由于螺旋压榨过程中条件不一，UIP 值可能有很大差异 (Brederick, 1987)。螺旋压榨大豆粕饲喂生长牛的效果优于溶剂提取大豆粕 (图 2)，特别是在试验的头 57 天 (Coenen and Trenkle, 1989)，每采食 1 公斤螺旋压榨大豆粕的蛋白质使增重提高 1.41 公斤，而每采食 1 公斤溶剂提取大豆粕的蛋白质则增重提高

0.80 公斤（前者为后者的 1.75 倍）；试验 98 天的反应分别为 0.77 和 0.57（增比为 1.35）。这个例子很好地说明，用数量较少的高 UIP 值饲料原料即可满足对 CP 的需要。瘤胃尼龙袋试验结果表明，螺旋压榨大豆粕的蛋白质在瘤胃中降解较慢。用螺旋压榨大豆粕（50%CP 为 UIP）代替血肉粉（高 UIP 值）或溶剂提取大豆粕后，产奶量、乳脂率和乳脂校正奶产量都得到提高，乳蛋白质含量有下降趋势，说明蛋氨酸可能不足（Shirley et al, 1997）。

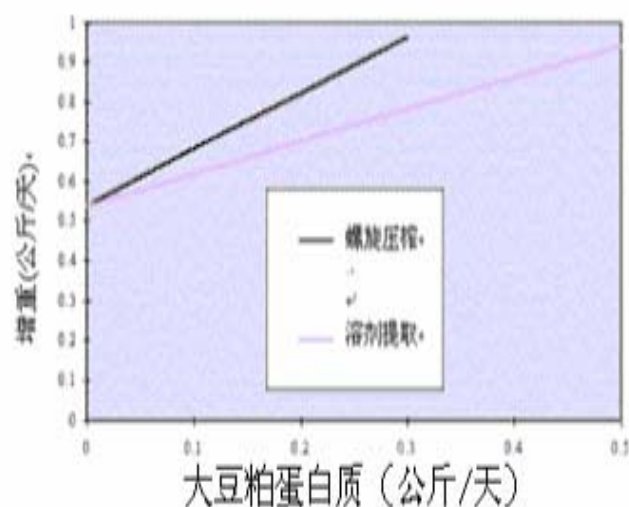


图 2 螺旋压榨大豆粕和溶剂提取大豆粕饲喂生长牛的比较

研究过几种提高大豆粕 UIP 值的加工方法（Waltz and Stern, 1989; Broderick et al, 1991），有些已取得专利并在饲料工业中采用。最通常的加工方法是挤压、加热或焙烤、木质磺酸盐处理、甲醛处理等。热处理的加工方法是使饲料中的碳水化合物和氨基酸（特别是赖氨酸）组分之间发生美拉德反应（褐化）（Van Soest, pp.173-176, 1994）。

对大豆粕进行热处理可以提高其 UIP 值（Hillman, 1998），这是时间和温度协同作用的结果（Satter et al, 1991; Chandler, 1999）。由于大豆粕加热的时间和温度条件各不相同，因此动物生产中所得到的结果也有差异。将溶剂提取大豆粕在转筒中于 102、128、144、159 和 185℃焙烤 2 分钟，随后立即冷却，通过饲养试验观察鸡生长效率和羔羊对蛋白质的消化率，结果表明，当焙烤温度超过 144℃后蛋白质的可利用率就会下降；尼龙袋瘤胃蛋白质降解试验结果表明最适的焙烤温度是 144-159℃，在 159-185℃进行焙烤会使酸性洗涤剂不溶性

氮 (acid detergent insoluble nitrogen, ADIN) 增加 (表 4; Plegge et al, 1982)。在 ADFCP 和鸡只生长之间存在高度负相关 ( $r = -0.99$ )。这些作者的结论是, 在 128—144°C 对溶剂提取大豆粕进行焙烤可以增加瘤胃不降解蛋白质的数量, 而这些蛋白质在达到反刍动物小肠后仍能被消化。随后的研究 (Plegge et al, 1985) 表明, 在 130 或 145°C 焙烤大豆粕可以使其 UIP 值提高 100% (即从 CP 的 34% 提高到 68%)。

表 3 蛋白质来源对奶牛产奶性能的影响

项 目	日粮 CP (DM 的%)		
	16	16	16
蛋白质来源	溶剂提取大豆粕	挤压大豆粕	血粉+肉骨粉
DM/天 (公斤)	26.3	26.9	26.3
奶/天 (公斤)	41.1	42.9	42.7
乳脂 (%)	3.45	3.65	3.30
乳蛋白 (%)	3.09	2.98	3.16
乳脂校正奶/天 (公斤)	40.5	44.0	41.5

表 4 大豆粕焙烤温度对蛋白质可利用性的影响

焙烤温度 (°C)	ADFCP (CP 的%)	CP 在尼龙袋中的 残留 (%) *	绵羊对蛋白质的 消化率 (%)	鸡的生长率 (对照的%)
对照组	6	5	72	100
102	6	12	68	95
128	8	30	68	97
144	10	49	68	94
159	18	53	68	77
185	60	82	50	34

木质磺酸盐处理大豆粕可以提高其 UIP 值。木质磺酸盐是酸性亚硫酸盐木材加工业的一种副产品, 含有各种木材糖类, 尤其是木糖。处理方法是往大豆粕中加入 5% 木质磺酸钙, 在 95—100°C 加热 3 分钟后在 90—95°C 保持 45 分钟, 然后烘干。用尼龙袋方法测定 UIP, 未处理大豆粕和木质磺酸盐处理大豆粕的蛋白质 UIP 值分别为 29—42% 和 59—65% (Windschitl and Stern, 1988; Stanford et al, 1995)。在一个相似的研究中 (Calsamiglia et al, 1995), 大豆粕的 UIP 从 22% 提高到 77%, 而 UIP 的肠道消化率并未降低 (93%)。木糖似乎是木质磺酸盐中对加强美拉德反应起作用的一种重要成分 (Windschitl and Stern, 1988; Cleale et al, 1987a; Cleale et al, 1987b)。用木糖处理大豆粕可以使生长羔羊对蛋白质的利用效率改进 100% (Cleale et al, 1987c)。用木质磺酸盐处理大豆粕按未处理大豆粕喂量的一半饲喂, 母牛产奶量没有改变

(Nakamura et al, 1992)。这些结果说明了处理蛋白质饲料的评定工作中的复

杂因素之一。常常遇到的一个情况是当用一种蛋白质饲料取代另一种蛋白质饲料时生产性能并无变化，这可能是因为对照日粮含有足够的蛋白质（不论是 DIP 或 UIP），本来就可以用较少的处理蛋白质来维持生产。

表 5 奶牛对木质磷酸盐处理大豆粕的反应

项 目	未处理大豆粕	处理大豆粕
CP (DM的%)	16	13
DM/天 (公斤)	23.9	23.6
奶/天 (公斤)	37.5	36.6
乳脂 (%)	3.71	3.78
乳蛋白 (%)	2.88	2.89
乳脂校正奶/天 (公斤)	38.3	38.3

甲醛 (HCHO) 处理也可提高大豆粕的 UIP 值 (提高 80%，Hillman, 1998)。作者用甲醛处理溶剂提取大豆粕 (用量为大豆粕的 0.6%或 CP 的 1.4%)，并通过生长牛试验将其与溶剂提取大豆粕进行比较 (Preston and Smith, 1974)。饲喂甲醛处理的溶剂提取大豆粕后，增重和饲料效率相当于溶剂提取大豆粕的一倍，特别是在试验的最初 26 天。这样的结果和上面提到的用木质磷酸盐处理大豆粕饲喂奶牛的效果相近似。Ferguson (1975) 曾对用甲醛处理来保护某些饲料蛋白质写过综述。甲醛用量在 CP 的 1.5%以内不会显著降低总的肠道蛋白质消化率，但是如果甲醛用量达到 CP 的 2%或更多就会降低消化率。

能够提高大豆蛋白质 UIP 值的其他方法包括用以下物质进行处理：单宁、油、钙皂、钠膨润土和锌盐 (Broderick et al, 1991)。用乙酸、丙酸或氢氧化钠进行处理也表现出一定的希望 (Waltz and Loerch, 1986)。

### 饲喂整粒大豆

近来，饲喂整粒大豆受到越来越多的注意，尤其是在泌乳母牛日粮中使用整粒大豆。这是因为大豆所含有的高质量蛋白质可以通过处理来提高其 UIP 值，同

时由于大豆含油 18%，有高的能值，因此可以形成高能日粮，这对泌乳初期的母牛尤为重要。上面关于 UIP 的作用和通过加工来提高大豆粕 UIP 的所有论述同样适用于整粒大豆。上面提到的有些综述同样也包括整粒大豆的内容 (Waltz and Stern, 1989; Satter et al, 1991; Broderick et al, 1991; Lin and Kung, 1997; Stallings, 1999)。

焙烤和挤压是加工整粒大豆最常用的两种方法。焙烤时，旋转的带鳍片烘筒把大豆提升通过火焰喷嘴。

焙烤大豆的典型 UIP 值为 CP 的 40—45%，但是商业生产的焙烤大豆的 UIP 值范围为 CP 的 36—58%，平均为 48% (Faldet and Satter, 1991)。如表 6 所示，在 140℃焙烤 90 分钟或在 150℃焙烤 60 分钟或在 160℃焙烤 30 分钟可以使大豆具有几乎是最优的 UIP 值和有效赖氨酸值 (Faldet et al, 1992a)。把焙烤过的大豆保温一段时间，使热量透入豆中，可以改进 UIP 值并使赖氨酸在通过瘤胃后有较好的效率 (Faldet et al, 1992a; Faldet et al, 1992b)。作者们的结论是，焙烤适当的大豆在离开烘筒时的温度约为 146℃并在焙烤后保温大约 30 分钟。焙烤大豆在饲喂前一般要破碎。挤压 (膨化) 是把大豆喂入挤压机膛，机膛内由旋转的螺杆用剪切力将大豆挤压通过一块模板，形成薯条或薯片状的产品，一般还要进行破碎或磨碎。挤压过程中摩擦产生的热量足以破坏胰蛋白酶抑制因子，但是在挤压过程中还经常注入蒸汽。挤压大豆的 UIP 值为 CP 的 35%，此值的高低取决于挤压时产生的热量。

表 6 大豆粕焙烤温度和时间对 UIP 和有效赖氨酸的影响

温度 (°C)	时间 (分钟)	UIP (CP 的%)	有效赖氨酸 (DM 的%)
对照组		30	2.4
140	10	34	2.4
	30	44	2.2
	60	49	2.2
	<b>90</b>	<b>55</b>	<b>2.0</b>
150	10	37	2.4
	30	42	2.2
	<b>60</b>	<b>58</b>	<b>2.0</b>
	90	64	1.6
160	10	37	2.3
	<b>30</b>	<b>53</b>	<b>2.1</b>
	60	72	1.4
	90	71	1.1

Orskov, pp. 45–54, 1982; Blethen et al, 1990; Broderick et al, pp. 552–558, 1991; Michalet-Doreau and Ould-Bah, 1992; 等等)。显然, 最准确的方法是在体内测定到达真胃或小肠的 UIP 的数量, 但这不是一个简单的手续。用尼龙袋方法可以测定蛋白质降解的速率和程度, 但是这也不是一个可以容易地应用于饲料样品质量控制的方法。在实验室中于体外测定瘤胃微生物发酵过程中从饲料释放的氨也不是常用的方法。我们用消化的 DM 和残余氨来改进产生气体的方法, 用以评判蛋白质的降解率 (Bartle et al, 1986)。抑制蛋白质合成和氨基酸脱氨基作用的方法已被接受为一个标准的体外方法 (Broderick, 1987)。在各种溶剂中测定蛋白质溶解度也经常被作为实用而快速的方法而广泛使用, 但是这些方法评估 UIP 值的可预报性并不稳定。还经常测定蛋白质在水中的溶解度 (蛋白质弥散指数, protein dispersibility index, PDI)。对于热处理大豆, PDI 值 9–11% 被认为可以表示加热适当, 而超过这个范围则表示加热不足 (Satter et al, 1994)。

早先, 在 0.2% (0.0356N) KOH 中的溶解度被认为是评估大豆粕加热程度的一种方法 (Araba and Dale, 1990a; Parson et al, 1991)。我们测定了几种饲料蛋白质在水 (PDI)、0.01 和 0.02 N KOH 中的溶解度, 并且计算测定值与表中 UIP 值的相关性 (Rossi and Preston, 1990); 与水的相关系数最高 (–0.93), 然后是 0.01N KOH (–0.52) 和 0.02N KOH (–0.48)。但是, 当用不同数量的

甲醛来处理大豆粕和棉籽粕时，发现溶解度明显下降，特别是在 0.01 和 0.02N KOH 中测定用 0.25% 或更多的甲醛（或超过 CP 的 0.6%）处理这些蛋白质饲料后的溶解度。当大豆粕蛋白质的溶解度用不同浓度的 NaOH 进行滴定时（Preston, 1995），用 0.0025N NaOH 可以达到溶解度 60%，这相当于大豆粕的 DIP 值。当用 0.005N NaOH 测定各种饲料蛋白质溶解度时，大豆粕和棉籽粕的溶解度测定值几乎与它们的 DIP 值相符。由于大豆粕和大豆蛋白质在弱碱溶液（0.0025—0.005N NaOH）中的溶解度与它们的 DIP 值相近似，因此可以作为一种简单的实验室方法来测定加工对这些饲料的影响。

最近（Tremblay et al, 1996），在用近红外光谱分析（NIR）和体外抑制法（Broderick, 1987）评估焙烤大豆的 UIP 值进行的多元回归分析中显示了高的置信系数（ $r=0.90$ ），在 DM、CP 和 PDI 方面的置信系数也很高，分别为 0.97、0.99 和 0.71；但是，PDI 与体外测定的 UIP 相关较差（ $r=0.28$ ）。根据一套焙烤大豆样品的验证测定，UIP 的多元回归置信系数为 0.70，PDI 的为 0.52。因此，NIR 法可以作为快速而简便的方法来测定饲喂反刍动物的大豆的最佳焙烤条件。

## 结 论

正确热处理的大豆粕和整粒大豆是反刍动物和猪的优良饲料。对于反刍动物，大豆粕和整粒大豆中的蛋白质很容易为瘤胃微生物所降解（DIP 较高），在某些饲养条件下，它们能很好地满足瘤胃微生物对氮的需要。但是，对于高产奶牛和年青的生长牛，则需要较低的降解率（高的 UIP）以满足动物对 CP（UIP）的需要。可以用多种方法来提高大豆粕和整粒大豆的 UIP 值，包括加热、焙烤、挤压、木质磺酸盐处理和甲醛处理。本文叙述、讨论了这些方法的使用结果。评估 UIP 的快速实验室方法对于质量控制是有用的，但是可能还不能可靠地用于比较不同类型的饲料。