

豆粕质量与尿酶活性和蛋白溶解度

沈慧乐 杨秀文

引言

大豆蛋白是家禽日粮中最为重要的，也是质量最好的植物蛋白饲料，除蛋氨酸略缺乏外，其它各种氨基酸都接近理想平衡。如同其它蛋白质饲料一样，豆粕质量受各种营养素含量的影响，如能量、蛋白质、纤维素和氨基酸等，例如普通豆粕与去皮豆粕间在以上指标方面就有很大的差别（见表1）。去皮豆粕由于纤维素含量低而有较高的能量水平。但是蛋白质水平高的豆粕不一定保证低纤维和高能量水平，例如某些未去皮中国豆粕的蛋白质含量可高达48%甚至50%，而仍然含有6%至7%的纤维素。因此高蛋白水平豆粕的代谢能水平仍然可能因纤维素含量高而下降，尚未见到这些高蛋白“高纤维素”豆粕的代谢能测定值。但一般可以估计：在去皮豆粕纤维素正常含量3.5%以上时，每增加1%纤维素使每公斤猪饲料的代谢能下降32至42大卡，而每公斤禽饲料则下降将近60大卡。另一方面，豆粕质量在很大程度上受加工方面问题的影响而使它的氨基酸含量和氨基酸消化率以致于能量受到影响。本文主要讨论由加工不足或加热过度所引起的豆粕质量变异以及对生产性能的影响，同时介绍目前可行的鉴定豆粕质量的方法——尿酶活性（pH变化值）与0.2%氢氧化钾蛋白溶解度，并加以评估。

一、生大豆——抗胰蛋白酶与尿酶

众所周知，豆粕必须经过适度热加工以破坏大豆中所含的数种抗营养物质。其中对畜禽影响最大者为抗胰蛋白酶（Trypsin Inhibitor），有幸的是这些抗营养因子在加热后都会遭到破坏。适度加热是豆粕加工的关键，因为加热不足或过度都会降低豆粕的营养价值。

抗胰蛋白酶是生大豆中的一种蛋白酶抑制物，它在消化道内能使胰蛋白酶和凝乳酶失活，从而降低蛋白质的消化率，并引起胰脏代偿性增大，由于胰酶富含硫氨基酸，因此，大量分泌消化酶可能加剧大豆蛋白含硫氨基酸的缺乏现象。抗胰蛋白酶的测定方法很耗时也很昂贵，因此需要寻找一种简易而快速的测定方法。

生大豆中含不等量尿酶（Urease）。尿酶本身无营养意义，但它与抗胰蛋白酶的

含量接近，而且遇热变性失活的程度与抗胰蛋白酶相似（图 1），因此可用尿酶活性作为豆粕加工适宜度的间接估测指标。

抗胰蛋白和尿酶（UA）活性不仅受到加热的温度影响，而且还受加热时间及水分含量的影响（图 2，图 3）。由图可见，在水分含量很低时，抗胰蛋白酶和尿酶活性的破坏程度不大。

尿酶的测定方法比较简单，它的原理是过生豆粕中的尿酶使试剂中的尿素释放氨气而使溶液的 pH 值升高，并以尿酶指数表示。尿酶活性定义为：在 $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 和 pH 为 7 的条件下，每分钟每克大豆制品分解尿素后，所释放氨态氮的毫升数。

大多数美国的测定表明：为破坏抗营养物质尿酶值应在 0.20 或以下。美国饲料工业协会建议的尿酶值为 0.05—0.20。反刍家畜的日粮中往往加有尿素，因而过高的尿酶值有可能导致氨中毒。因此，在美国，反刍动物饲养者对豆粕尿酶值的要求是 ≤ 0.20 。Waldroup 及其同事（1985）在阿肯色大学的研究表明用尿酶值为 0.5 的豆粕饲喂肉用仔鸡也能得到良好的生长效果与饲料报酬（图 4）。

在欧洲则认为 0.5 是可接受的尿酶值（Deschriever, 1977）。但是，加工的适宜度不仅取决于畜种、年龄和畜禽的生产阶段，而且也取决于大豆品种及储存时的状况。例如，若将严寒损害的大豆储存 6 个月以上，则抗胰蛋白酶含量会增加（Wright, 1981），但未受严寒损伤的大豆并不出现此种现象。以下列出尿酶 pH 变化值和尿酶活性（毫克氮 / 分钟， 30°C ）与豆粕加工程度的关系，以供参考。

尿酶活性的测定方法按美国油料与谷物协会（A. O. C. S—American Oil and Cereal Society）建议的方法进行（见附录 1），为便于饲料厂或原料采购地使用的尿酶快速测定方法见附录 2。

二、什么是蛋白溶解度，为什么要测定蛋白溶解度

高温能使还原性碳水化合物，如葡萄糖与赖氨酸的 epsilon 游离氨基酸起作用，即美拉德反应（Maillard Reaction）。其结果使赖氨酸分子成为不能被利用，因而使蛋白质的消化率降低。蛋白质分子中的其它氨基酸，如精氨酸、组氨酸和

色氨酸也受热过度的影响，还原性化合物也包括酮与醛。感观上美拉德反应的产物呈现棕色。故又称棕色反应。该过程的反应式如下：

鉴定豆粕过熟的方法是在 0.2%KOH 溶液中测定豆粕的蛋白溶解度。此方法在近十年来被认为是评估大豆加工过度与加工不足的最佳方法。其原理是：加热使游离氨基酸与其它化合物的基团形成不能为消化酶所打开的分子间和分子内的结合键，因而降低了蛋白质的溶解度 (Ford&Shamrock, 1941)。60 年代末, Rinehart 先生在为 Purina 饲料公司工作时，首先将蛋白溶解度作为评定豆粕加工适宜度的方法。之后十年间，此法在巴西得到广泛的应用。由于该项技术基本上为私人公司所采用，所以美国的科研文献在 80 年代末才开始出现对它的评估 (Dale 等, 1987; Araba&Dale, 1990; Anderson-Haferman 等, 1992; Parson 等, 1992, 1998 等)。

测定样品在 0.2%氢氧化钾溶液中的蛋白溶解度，需要使用离心机，并进行两次定氮。具体方法见附录 3。

Araba 和 Dale 在 1990 年发表的文章中的结论是：对于小鸡，蛋白溶解度低于 70% 的豆粕营养价值已受到破坏，蛋白溶解度低于 65% 几乎可以肯定豆粕加热过度。近年来由于美国加工技术的改进，蛋白溶解度有增高的趋势。

三、豆粕质量与家禽生产性能

本节将列举不同的试验结果说明加工不当的豆粕对家禽生产性能的影响以及鉴定豆粕的化学指标与生产性能的关系。

Dale 等 1987 年率先使用蛋白溶解度指标评定豆粕质量，并进行了饲养试验，结果见表 2。

80 年代末作者见到国内使用全豆粕的无鱼粉日粮的效果较差，便模仿国内豆粕（饼）加工过生或过熟的条件，在加拿大 Guelph 大学进行两个饲养试验，结果见表 3。

从试验 I 的结果可见，肉鸡的增重与饲料转化效率随豆粕的过热程度加深而降低。正常豆粕组内添加与不添加赖氨酸两个水平之间，增重和饲料报酬的差异均不显著，数字上的差别说明基础日粮稍缺赖氨酸。但随着温度的升高，各温度处理的增重和饲料报酬在添加与不添加赖氨酸两个水平间差异显著 ($p < 0.05$)。

尤以 187℃ 下差异最大；赖氨酸组较不添加的组增重提高 211 克 ($p < 0.05$)，饲料转化效率提高 0.43 ($p < 0.05$)。试验充分表明 ϵ 氨基发生美拉德反应 (Maillard) 而降低豆粕中赖氨酸的利用率，而日粮中添加赖氨酸有助于克服过度加热对生产性能的不良影响。

试验 II 中生豆粕组 21 日龄肉用仔鸡的增重较正常组低 159 克，而饲料转化效率差 0.4。可见生豆粕中抗胰蛋白酶对肉用仔鸡的生长具有明显的抑制作用。

试验 I 和 II 的结果表明：豆粕质量的化学指标与肉鸡生产性能密切相关，试验 II 中生豆粕的尿酶活性非常高，为 3.08，蛋白溶解度为 91%，而正常豆粕这两种指标分别为 0.24 与 76%。

长期以来已知生豆粕中的抗胰蛋白酶使生长鸡的胰脏肿大。试验 II 中生豆粕对胰脏的影响见表 4，由表可见饲喂生豆粕的肉仔鸡 21 日龄湿胰重比正常豆粕组高 2.5 倍 ($p < 0.05$)，干胰重高 2 倍 ($p < 0.05$)。从外观上看，饲喂生豆粕组肉用仔鸡胰脏明显肿大，色黄白，较正常胰脏稍坚硬。组织学检查发现：生豆粕组鸡的胰脏细胞显著肥大；而且细胞质为酶原颗粒所充满。从形态上看，以每 0.18mm² 的细胞计数，生豆粕组显著地少于正常豆粕组。

在 90 年代初本文作者用蛋白溶解度和尿酶指标对中国的豆粕（饼）质量进行了评估。张志搏（1990）进行了 4（四种不同加工处理的豆饼） \times 2（加 0.3% 赖氨酸，0）的蛋鸡试验。豆饼加工条件与试验结果见表 5 与表 6。

蛋鸡试验结果（表 6）表明：豆饼质量对产蛋率、日产蛋量、饲料转化效率及母鸡体重的影响极为显著 ($p < 0.01$)。饲喂生豆饼 (I) 的生产性能最差，它与饲喂正常豆饼母鸡的蛋重相差 1.8 克；日产蛋量相差 12.2 克；饲料转化效率差 1.21，试验期末母鸡体重相差 309 克，饲喂生豆饼的母鸡处于减重状态。其它三号豆饼 (II、III、IV) 之间的饲喂效果在总体统计分析时差异不显著，但数字上有差异，以正常的 III 号豆饼的效果最佳，过熟的 IV 号最差。添加赖氨酸对蛋鸡生产性能影响不显著 ($P > 0.05$)，很可能是由于基础日粮含有足够的赖氨酸或平均产蛋率过低之故。但单独统计采食过熟豆饼中不加与加 0.3% 赖氨酸的两组母鸡的生产性能时，它们的产蛋率、蛋重和日产蛋量差异显著 ($P < 0.05$)，同样说明豆饼加热过度对赖氨酸有破坏作用。

以上饲喂效果与表中四种豆饼的化学指标非常相符。显然，从化学指标看；I号豆饼为生饼；II号偏生；III号的蛋白溶解度（76%）与尿酶值（0.15）都说明加工适宜，而且饲喂效果最佳。IV号饼为模仿生产中的过熟豆饼，即将II号饼粉碎后在180℃下烘烤20分钟而制成。由于饼层过厚，致使受热不均。因此所测化学指标为过生和过熟二者的混合效果。

杨秀文（1991）用南苑出口免检的豆粕作对照与当时国内市场上质量较差的豆粕（饼）进行4（不同豆粕）×2（蛋白为22.5，17.5%）×2（赖氨酸为0.35%，0）的肉用仔鸡试验。豆粕的化学指标及试验结果见表7。

由表可见：评定豆粕加工程度的化学指标——尿酶活性与蛋白溶解度的测定值与肉仔鸡的生产性能相符。不论在高、低蛋白水平下，优质豆粕的饲喂效果都显著优于过生与过熟的，低蛋白加0.35%赖氨酸足以补偿因加热过度而对营养的破坏作用。

Araba与Dale（1992）给加热过度的豆粕单独或同时补加两种、三种氨基酸（赖、精、蛋），结果如下表（见表8）。

该试验将豆粕高压蒸煮0~40分钟后，蛋白溶解度与尿酶活性分别为80.3%、48.2%与0、0。对于加热过度的豆粕，无论单独补充或一同补充精氨酸（0.2%）、蛋氨酸（0.1%），其结果与未补充组的饲喂效果没有差异。但是，给加热过度的豆粕补充0.2%赖氨酸，无论单独补充，或同时补充精氨酸（0.2%）、蛋氨酸（0.1%）中的一种；或二种；或三者一同补充，与加热过度未补充赖氨酸；或仅补充精氨酸、蛋氨酸中的一种或二者一同补充；或与未补充而又未经蒸煮的豆粕相比，雏鸡的增重都有显著的提高。

以上数个试验结果一致表明：豆粕加热过度降低了赖氨酸的利用率，因而使家禽的生产性能下降，额外补充赖氨酸能起到一定的补偿作用。

为了调查国内豆粕（饼）的质量，本文作者（1991）分析了来自不同地区豆粕（饼）的化学指标，见表9，并就影响测定蛋白溶解度的因素一样品粒度进行了测定。

由表9可见，直至九十年代初我国各地豆粕（饼）的质量差异很大。上述大量试验已充分表明豆粕（饼）加工的适宜度对家禽生产性能的影响。我们可以用尿酶活性和蛋白溶解度监测豆粕的质量。但是，尿酶活性没有负值，它对任何过熟豆

粕的最低值为零；而蛋白溶解度却能反映出豆粕加热过度的程度。还应指出：豆粕（饼）粉碎的粒度影响蛋白溶解度值，从表 8 可知随着粒度的减小，蛋白溶解度值增大，因此建议测定蛋白溶解度时，样品应过 60 目（Dale, 1987）。影响蛋白溶解度值高低的主要因素是加热，丁丽敏（1992）用生豆粕在 121℃ 下，高压、蒸煮不同时间并测定相应的蛋白溶解度，其结果如图 5。

由图可见随着加热时间的延长蛋白溶解度逐渐下降，而蛋白溶解度与加热时间之间存在高度相关，其相关系数 $r = 0.98$ （丁丽敏，1992）。

四、豆粕加热不当（不足或过度）对氨基酸利用率的影响

豆粕加热不足或过度都会使豆粕的氨基酸利用率下降。Anderson-Haferman 等（1992）报导了生大豆中四种氨基酸的消化率随着在 121℃、15 磅大气压条件下加工而大为提高。而且这四种氨基酸的消化率都得到了提高（见表 10）。

Parson（1998）在乔治亚大学的营养年会上对豆粕因加热不足或加热过度而导致对氨基酸利用率的影响作了进一步的分析与报导。他指出在 Anderson-Haferman 试验中生大豆中四种主要氨基酸的消化率都得到了提高。可是，在加热过度的情况下却不是如此（表 11）。

由表 11 可见，商品豆粕在高压下过度加热对赖氨酸和胱氨酸的浓度以及消化率都有很大的负作用，但却不影响蛋氨酸与苏氨酸，大多数其它氨基酸也不受影响，由此可见，加热过度豆粕的蛋白质质量下降既是由于赖氨酸和胱氨酸遭到了破坏，也因未破坏的氨基酸的消化率降低所致。这种加热对赖氨酸的影响多半可用美拉德反应（Maillard Reaction）来解释。大多数氨基酸在美拉德反应中的早期产物（Amadori 化合物是可以分析到的，可是在进一步美拉德反应中的一些产物如：吡口泰（Pyrazines）和吡咯（Pyrroles）却都是分析不出的，即被破坏了。而且，美拉德反应的早期与后期生成物对于动物来说都是不可利用的。加热过度对胱氨酸的影响尚不清楚。

Parson 又进一步对一些商用豆粕在加热过度后的氨基酸利用率进行研究，得到相似的结果（表 12）。当发现一些样品中赖氨酸消化率稍低而进一步检查后，发现它们的赖氨酸含量也低。由于无法测定未加热豆粕中的赖氨酸含量，Parson 用迪高莎（Degussa）公司建议的回归公式按蛋白质含量计算出样品应含多少赖

氨酸。结果是赖氨酸的计算值大大高于分析值，说明一些赖氨酸在加工过程中遭到破坏。于是在表 12 中计算出两个不同的赖氨酸消化率，一个以分析值为基础，另一个以较高的计算值为基础。计算结果清楚地表明：由推算的氨基酸含量所得的赖氨酸消化率总是低于从赖氨酸分析值计算出的消化率。

表 12 的结果与 Parson 以前的实验室结果相仿，说明加热过度使赖氨酸消化率下降的原因，一方面是由于部分赖氨酸被破坏，另一方面由于未破坏赖氨酸的消化率也降低所致。因此 Parson 教授建议：从实用角度看，营养学家应监测豆粕中赖氨酸占蛋白质的百分数，对怀疑加热过度的豆粕更应监测。豆粕如果加热非常过度，则赖氨酸作为蛋白质的百分比总是偏低的，只看赖氨酸消化率可能会出现误导现象。

以上有关豆粕加热不当对赖氨酸利用率影响的分析是很新的观点（Parson, 1998），它有助于我们进一步认识加热过度对豆粕营养价值的损害。

此外，加热过度也使代谢能值降低（Renner 和 Hill, 1960）。Sibbald（1980）测定了不同加工程度豆粕的真代谢能值：生豆粕为 2.25；正常豆粕为 3.01；加热过度豆粕为 2.70 兆卡 / 公斤。可见，生豆粕及加热过度的豆粕的真代谢能值都低于正常豆粕的。

五、对尿酶测定值与蛋白溶解度的评估

尿酶测定值一直被认为是传统的评定豆粕质量的方法。可是，Araba 和 Dale（1990）的进一步试验表明尿酶测定值不能恰当地反映加热过度以及加热程度对豆粕质量的影响。他们进行了五个试验，用 0.2% 氢氧化钾溶液测定的蛋白溶解度每次都随加热时间的延长稳定而明显地下降；但尿酶指标却因无负值而停留在 0.00，因此不能反映出豆粕营养价值的受损程度。现举其中两例如下（表 13 和 14）

试验所用豆粕在高压蒸煮前的尿酶 pH 变化值为 0.03；在高压加热 5 分钟后降至 0.02；加热 10 分钟，甚至 80 分钟，尿酶值都保持为 0.00 而在 0.2% KOH 溶液中的蛋白溶解度却从高压蒸煮前的 86% 稳定地下降，在 80 分钟时达到 40.8%；而且雏鸡的增重与饲料报酬也相应地下降。

表 14 所示情况与表 13 相仿。只是所用豆粕在高压蒸煮前已显示尿酶 pH 值为零，由于尿酶指标无负值，因此在进一步加热过程中尿酶值没有变化，始终为零，而蛋白溶解度则随每次热处理时间的增加从 82.3% 降至 72.6、66.9、60.5 直至 46.1%。高压蒸煮时间从 10 分钟增加至 20 和 40 分钟，使雏鸡的体重和饲料转化效率都下降 ($P < 0.05$)。

以上结果表明：对于加热过度的豆粕尿酶测定值不是一个可靠的指标；而蛋白溶解度却克服了以上局限性，可以区别不同程度的过度加热。

Parson (1998) 引用 Anderson-Haferman 等 (1992) 的两个试验对监测豆粕质量的两个指标——尿酶 (pH 变化值) 和蛋白溶解度给予评估 (表 15)。

由表 15 可知，这是一个观察生大豆高压蒸煮效果的试验。在两个试验中都可看到以下现象：在前几次的高压时间递增时，虽然小鸡生长速度很快提高，这两个指标却一直保持在较高水平，没有发生变化。尿酶值在 2.0 左右或 2.0 以上，蛋白溶解度在 90% 左右；试验 2 中蛋白溶解度高值的保持时间远超过最低的适宜高压蒸煮时间。尿酶测定值的一般规律是在保持一段高值后，再增加 3 分钟高压蒸煮时间，便从 2.0 左右骤然下降至 0.2 以下。基于以上试验结果以及他人的研究，Parson 认为尿酶 (pH 变化值) 是用以鉴定豆粕加热程度是否足以有效地破坏其中大部分抗营养因素的一个指标，它对加热过度的豆粕意义不大。因为它对测定所需最低加热量不够敏感。此外，对尿酶活性的最佳水平也有争议 (见第一节)。Parson 认为尿酶活性低于 0.05 者有可能过熟，但不一定过熟，因为在过去 15 年间，他的实验室里评估了许多豆粕样本，它们的尿酶活性等于“0”，但是氨基酸利用率都很高，如赖氨酸利用率有高达 90% 或以上的。这可能与美国近年来加工技术的不断改进有关。而蛋白溶解度则随加热时间的增加而递减并与小鸡生长的速度相关，因此是鉴定加热过度和严重程度的良好指标；但它对生大豆或加热不足的豆粕却不灵敏。我们在国内的试验也得到相似的结果 (表 7 与表 9)。由于加工不当的豆粕都会在不同程度上降低畜禽的生产性能 (见第三节)，因此，我们建议：在采购豆粕时既要测定它的尿酶值以确保其中的抗胰蛋白酶受到有效的破坏 (不同类别与不同年龄的适宜指标不同) (见第一节)；同时也要测定蛋白溶解度，以确保其中的氨基酸与氨基酸利用率未因豆粕加热过度而受损。

六、结 论

1. 豆粕质量不稳定已给我国家禽（或其它家畜）生产造成了不可估量的无形损失。人们往往误认为必须添加某种动物性饲料原料，如鱼粉等才能达到最佳生产性能。实质上，这是在用昂贵的鱼粉氨基酸弥补因加工不当而从豆粕中损失的那部分氨基酸。豆粕质量不稳定也是我国无鱼粉日粮不易获得成功的主要原因之一。
2. 豆粕质量对家禽生产性能影响显著，加热不足或过度均可降低蛋鸡产蛋率、肉用仔鸡增重以及饲料转化效率。
3. 豆粕加热不足使其中四种主要氨基酸，即赖氨酸、蛋氨酸、胱氨酸与苏氨酸的利用率不能达到最佳程度；而加热过度不但使部分赖氨酸受到破坏，同时也使未破坏部分的消化率降低。因此，加工不当的豆粕由于氨基酸与能量含量受到影响而使畜禽生产性能下降。
4. 尿酶活性与蛋白溶解度是评定豆粕质量的两个常用指标。其中尿酶（pH 变化值）是用以鉴定豆粕加热程度是否足以破坏其中大部分抗营养因素的一个指标，由于它无负值，所以对加热过度的豆粕意义不大。而蛋白溶解度则可区别加热过度的严重程度，同时它也可鉴别生大豆或加热不足的豆粕，但不够灵敏。因此，我们建议在采购豆粕时两个指标——尿酶活性与蛋白溶解度都要测定。