

家禽饲料原料中能量和营养成分的评估

EVALUATING THE ENERGY AND NUTRITIONAL COMPOSITION OF FEED INGREDIENTS FOR POULTRY

Nick Dale

佐治亚大学家禽科学系

对于没有学过家禽饲养和家禽营养的人，这两个内容常常混淆不清。这是十分遗憾的，因为营养是家禽生产中最为基本的方面。饲养家禽的目的是利用鸡、鸭、火鸡等作为生化机器将我们称为“饲料原料”的物质中的蛋白质和氨基酸浓缩到可用于人营养的物质中去。我们的特定目的是从植物材料、有时还有动物副产品中取得蛋白质，借助家禽的帮助将其转化为蛋和肉。

营养过程是极为复杂的，牵涉到很多生化问题，而实际的养鸡技术则是容易理解的。不同类型的家禽（产蛋鸡、肉仔鸡等）有特定的营养需要。这些需要是很符合逻辑的。比如，一只肉仔鸡雏鸡要在生命的第一周内使体重增加两倍，其蛋白质需要量当然要比一只待屠宰的大鸡高得多。而一只每天产一个蛋的母鸡则需要大量的钙来形成优质的蛋壳。过去 75 年以来，已弄清了家禽对大约 40 种营养素的需要量，有时对这些需要量做些修正以反映遗传上的进展。

营养的第二个组成部分是把这些营养素以经济的方式提供给鸡。为此，应对一切可用作饲料原料的物质进行评估，并将其营养含量做成文献。这些饲料原料的各种化学成分对于鸡的生长和蛋的合成都具有特殊的作用。把这想象成一个和盖房子大致相同的过程会有助于我们的理解。首先必须有非常坚固的基础和框架。在鸡，这就是骨骼。在框架上再装置墙壁、天花板等材料。在鸡，就可比作附着在骨骼上的肉和羽毛。在我们的建筑工程中，需要用大量的能量把建筑材料安放到位。同样，鸡也需要能量来维持其身体和构建蛋白质。

对饲料原料的能量和营养素进行量化是绝对必要的，因为这些物质在日粮中的缺乏和过剩都不利于鸡达到最佳的性能。为了正确地为禽群配制饲料，营养学家懂得每种原料的营养成分是很重要的。本报告的目的是回顾一下，营养学家应如何定量评估饲料原料的能量和营养素以便确信其配制的饲料能满足家禽的营养需要。

代谢能

大家知道，饲料原料中的能量不是全都能被消化吸收的。为了测定有多少能量可被家禽利用，应进行消化率研究。虽然有多种试验方法可用来量化代谢能，但都属于平衡试验的类型，即测定所消费的能量和粪、尿中含有的能量。在佐治亚大学的实验室里，我们采用加拿大农业部在 70 年代提出的氮校正真代谢能法。表 1 列出了几种饲料原料的代谢能值。这些仅是最常用的饲料原料。每个国家有可用于养禽的原料，必须评估它们的能量值。同样重要的是能够针对近似分析成分的差异对能量进行校正。也就是说，同样一种饲料原料可以由于产地的不同而在脂肪、纤维或蛋白质成分上有很大的差异。此外，一个国家的营养成分表中的能量值可能不同于另一个国家的。为了正确配制家禽饲料，必须懂得这些差异。

表 1 主要原料的代谢能

饲料原料	代谢能(千卡/公斤)	占玉米的%
玉米	3380	100.0
大米	3330	98.5
豆粕(48)	2460	72.8
豆粕(44)	2240	66.3
棉籽粕	2000	59.2
高粱(低丹宁)	3325	98.4
次粉	2000	59.2
禽副产品	3030	89.6
羽毛粉	2880	85.2
肉骨粉	2400	71.0

在国家间甚至地区间有很大成分差异的一种饲料原料是小麦加工副产品。在有些地区，小麦壳、杂质和小麦加工过程中得到的不同部分都混成一种产品。美国大多数地方都是这样。但是，在其他许多国家，小麦加工的各部分是分开出售给饲料工业的。面粉厂的目的是分离出尽可能多的面粉用于制作面包、糕点等。剩下的部分一般含有大量的纤维。小麦副产品的纤维含量越高，可望得到的代谢能就越低。但是，由于这种产品差异极大，营养学家在配制饲料时往往对于使用什么样的能量水平为宜感到茫然。

为了说明这个问题，在佐治亚大学进行了一个试验，以研究小麦加工副产品在近似分析成分和代谢能之间的关系。从若干个国家收集成分有很大差异的小麦副产品样本 15 个，对它们的近似分析成分和真代谢能进行评估。发现在蛋白质 (12.4%–23.8%)、脂肪 (2.1%–6.9%)、灰分 (1.5%–7.5%) 和粗纤维 (0.9%–13.2%) 含量上有极大差异。代谢能的平均值是 2422 千卡/公斤，范围为 1663–3178 千卡/公斤。鉴于这个产品的各种成分有极大的差异，平均值显然用处不大。根据近似分析成分发现，有一个方程式可对此原料中的代谢能作出恰当的估计。这个方程式是： $TME_n(\text{千卡/公斤}) = 3157 - 116x (\% \text{粗纤维})$ 。此方程式假设样本的干物质含量为 87%。但是，这个方程式是用成年鸡代谢能试验中获得的数据而制订的。从科学文献中可查到有关青年鸡代谢能值的补充资料。如果我们把很多用青年鸡作为试验动物的报告中的所有数据综合起来，所获得的方程式略有不同： $AMEn(\text{千卡/公斤}) = 3086 - 165x (\% \text{粗纤维})$ 。为青年生长鸡配制日粮时应使用这第二个方程式。

如果有动物副产品粉的话，它是重要的家禽饲料原料。这种产品的蛋白质含量很容易在实验室测定，但是代谢能值则往往不清楚。家禽副产品粉的能值就是一个例子。这种原料系由鸡身上人不能消费的各个部分组成的，包括羽毛和胴体中其他不可食用的部分。有人可能认为不同批次的这种原料具有相似的成分，实则常常不然。有些批次的家禽副产品粉除了羽毛外含有不同数量的死鸡、血液、肠道，有时还含有家禽生产中其他环节的副产品。例如孵化厂废料，它含有蛋壳、未受精蛋和死雏。这显然给营养学家带来了问题，因为营养成分表并没有考虑到这些差异。为了弄清情况，对 22 个不同的家禽副产品粉样本评估了近似分析成分和代谢能。就和小麦副产品的情况一样，家禽粉中也存在巨大差异：蛋白质含量为 47.1%–67.6%、脂肪含量为 18.3%–39.4%、灰分含量为 2.8%–14.5% 和代谢能为 3624 千卡/公斤–5249 千卡/公斤。成分差异的原因之一是来自孵化厂的蛋壳。根

据这些数据制订了用于估计家禽副产品粉能值的方程式： TME_n , 千卡/公斤 = $2904 + 65.1(\% \text{脂肪}) - 54.1(\% \text{灰分})$ 。这个方程式假设干物质含量为 92%。

饲料原料的蛋白质成分

大家承认，饲料原料的蛋白质含量存在相当大的差异。但是，过去 40 年来，营养学家更为强调的是氨基酸含量而不是精确的粗蛋白含量。虽然有 10 种氨基酸被认为是家禽所必需的，但是在实际配制日粮时主要考虑的仅是其中的几种。近 10 年来，相当大的注意力投向了饲料原料中氨基酸的消化率或有效性的评估。我们应记住，能量不是以总能而是以代谢能来表示的。还有，我们在后面还将看到，磷是以有效磷而不是总磷来表示的。因此有理由用有效氨基酸而不是总氨基酸来进行饲料配制。表 2 列出了某些饲料原料的粗蛋白和总氨基酸和有效氨基酸含量。我们将看到，在高蛋白的家禽饲料原料中氨基酸有效性存在着相当大的差异。大豆粕的氨基酸与棉籽粕或动物蛋白粉的氨基酸相比具有较高的有效性。如今可在营养成分表中查到大多数饲料原料的氨基酸组成和氨基酸有效性方面的资料。

表 2 总氨基酸与氨基酸可利用率

饲料原料总	赖氨酸		蛋氨酸		胱氨酸		苏氨酸	
	总的	可利用的	总的	可利用的	总的	可利用的	总的	可利用的
玉米	0.25	81	0.18	91	0.18	85	0.29	84
豆粕 (48)	3.1	91	0.75	92	0.74	82	2.00	88
豆粕 (44)	2.8	-	0.65	-	0.67	-	1.70	-
棉籽粕	1.71	67	0.52	73	0.64	73	1.32	71
次粉	0.70	81	0.18	80	0.25	69	0.50	79
禽副产品	2.60	80	1.04	86	1.00	61	2.03	80
肉骨粉	2.20	79	0.53	85	0.26	58	1.70	79

表 3 小麦副产品 (87%干物质)¹

	蛋白质	灰分	粗纤维	脂肪	氮校正真代谢能(千卡/公斤)
平均	15.3	4.1	6.4	3.3	2422
高的	23.8	7.5	13.2	6.9	3178
低的	12.4	1.5	0.9	2.1	1663

¹ 1 5 样本。

表 4 禽副产品¹ (92%干物质)

	蛋白质	灰分	脂肪	氮校正真代谢能(千卡/公斤)
平均	52.0	7.2	32.2	4629
高的	67.6	14.5	39.4	5247
低的	47.1	2.8	18.3	3626

¹ 2 2 样本。

表 5 日粮磷与骨骼各种参数的相关

	可利用磷%				
	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
胫骨灰分	34.1	37.0	37.2	38.7	39.5
脚灰分	11.7	12.1	12.5	12.7	14.3
趾灰分	10.7	10.2	11.2	11.1	12.6

同一种饲料原料的全部样本并不具有相同的有效性。大豆粕是全世界最常见的用于家禽的蛋白源，其氨基酸成分广为人知。但是，大豆粕在用于饲料前必须进行热处理以除去溶剂并破坏抗营养因子。在这方面碰到的一个问题是大豆粕有时加热得不够，有时则加热过头。加热不够的大豆粕仍含有过多的胰蛋白酶抑制因子，而加热过头的大豆粕中则氨基酸尤其是赖氨酸受到破坏。一个营养学家必须注意大豆粕加工不当的问题。

表 6 加热过度豆粕补充氨基酸的效果

	体重 (克)
优质豆粕	378
过热豆粕	245
过热豆粕+赖氨酸	355
过热豆粕+蛋氨酸	251
过热豆粕+苏氨酸	247

传统上是用尿酶试验作为估计大豆粕加工程度的一种手段。但是，近年来推广的一种方法是测定蛋白质在氢氧化钾中的溶解度。蛋白质溶解度法的优点是测定大豆粕是否加工过头较为可靠。

如果营养学家必须要用加工过头的大豆粕，有没有什么办法对饲料作一些修改以便减少家禽生产性能下降的问题？答案是肯定的。在我们实验室进行的试验发现，当加工过头时虽然很多赖氨酸遭到破坏，但其他氨基酸则显然只受到有限的破坏。因此，如果营养学家必须使用加工过头的大豆粕，添加赖氨酸将能预防影响家禽生产性能的大部分问题。如果一种饲料中含有 30% 略为加工过头的大豆粕（蛋白质溶解度 = 0.60—0.70），则添加 400 克/吨合成赖氨酸将能大大减少生产性能下降问题。如果大豆粕严重加工过头（蛋白质溶解度 < 60%），则合成氨基酸的添加量应为每吨 800—1000 克。应强调的是，加工过头的大豆粕最好不用。但有时没有别的蛋白质原料可用。在这种情况下，添加赖氨酸可能是很值得的。

矿物质

在好几十年以前人们就知道家禽需要某些矿物质，这些需要量也都已列入家禽营养需要表。它们包括了钙和磷，电解质和微量元素。微量元素一般以预混料的形式提供，添加量为每吨 500—1000 克。添加电解质比如钠是为了求得总体平衡，因

为其他饲料原料也含有一定水平的这种营养源。钙和磷的需要量当然要高得多，是用来支持骨骼生长、蛋壳形成和总体代谢。正象讨论能量和蛋白质时谈到的那样，同一种矿物质源在消化率上也存在相当大的差异。虽然微量元素也是如此，但可望预混料生产商在选择微量元素原料时会作出合理安排。但是营养学家必须永远关注磷的有效性，因为磷酸盐的来源很多。有些是不能被家禽很好吸收的。有效磷试验一般是用小鸡进行的。几十年来，胫骨灰分分析一直是测定磷有效性的首选方法。但是，在工业条件下这种分析很难实行。胫骨灰分分析法虽然能很好地标定磷的有效性，但做起来十分费劲，一般只有研究人员可以进行。近来有人提出了一种“脚骨灰分”而不是“胫骨灰分”分析法。这种方法的目的是为了更方便地比较不同组鸡之间的骨骼发育。用 14—18 日龄的小鸡，从胫骨跗骨结合处切下脚部，在 100℃干燥至衡重。然后在标准的饲料实验室进行灰分测定。如果脚骨灰分高于 14%，说明矿化适宜。但是，如果脚骨灰分低于 13%，则认为骨骼矿化不足。营养学家可利用这种方法比较不同磷源的有效性。用不同磷源配制总磷水平相同的日粮。为了提高分析的敏感性，日粮的磷水平应略为不足。经 14 天后，将鸡屠宰，从每只鸡取下一只脚进行灰分分析。建议每个处理至少要用 15—20 只鸡。如果一种新磷源的脚骨灰分含量和标准的可靠磷源一样，我们就可能假定其有效合格。

营养质量的快速测定

如果营养学家可以使用设备完善的实验室或有条件把饲料或饲料原料样本送往专门的实验室，他就能得到关于营养计划的很详尽的资料。但是，这种可能性不是经常有的。有时，实验室分析费用过高，小型鸡场负担不起。另一个问题是，有时分析结果来得太晚，难于用来解决手头的问题。比如，一种原料刚卸车，次日就要用来配制饲料，这时可能出了个什么问题，很少有实验室能作出快速反应，及时提供有关结果。因此，饲料加工厂能自己使用快速分析法是极为重要的。这些试验不必象传统的实验室评估那么准确。它们的目的是对饲料原料的质量快速地给出一个总体概念，以避免由于原料质量而造成严重问题。

前面已说过，大豆粕必须作热处理，以破坏抗营养因子。但偶尔会碰到这种情形：运到的大豆未曾经过足够的热处理。幸而有一种快速方法可以检测这个问题。将大豆粕放在培养皿中，加入含有尿素和 pH 指示剂的溶液。如果大豆粕热处理不足，就会存在尿酶活性。尿酶将试液中的尿素变为氨，从而改变 pH。如果大豆热处理不足，指示剂将改变颜色，产生深紫色。

将饲料和饲料原料飘浮于有机溶剂是一种很有用的方法。有时会有人报告说蛋壳质量出了问题，于是就有些怀疑是否母鸡偶尔吃了低钙的饲料。对这种可能性可以快速地进行调查。当把饲料和有机溶剂（如氯仿）混到一起时，石灰、磷酸盐、和其他矿物质沉入容器底部。如果把同等数量的已知蛋鸡料和小母鸡或肉仔鸡料分别放入不同的试管与有机溶剂相混合，沉入试管底部的矿物质容量将有明显的差异。可能引起问题的饲料就可以如此处理。这使我们立刻可以看到，矿物质沉淀量是更接近于蛋鸡料还是小母鸡料。

同样的飘浮法可用来估计动物副产品粉中的钙、磷数量。当把它们与有机溶剂混合后，其中的骨头部分也会沉到底部。把 20 克肉骨粉放入标准的 100 毫升带刻度试管，加入 50 毫升氯仿，缓缓搅动。骨粉部分将很快沉入底部，其容量（毫升）可以容易地读出。用下面的方程式可以根据沉淀量计算肉骨粉中的钙、磷含量。

$$\% \text{钙} = 0.60 + 0.92 (\text{毫升, 骨})$$

$$\% \text{磷} = 0.54 + 0.43 (\text{毫升, 骨})$$

世界上很多地方都十分熟悉饲料的显微镜检查技术。从显微镜检查技术所提供的多年的服务来说，最初的投入和购置设备是完全值得的。这种技术可能提供的用途非常之多。这里可举出两个例子来说明这种技术的实用价值。第一个例子，我们已经提到，石灰和磷酸盐等无机材料在有机溶剂中会下沉。当出现蛋壳质量问题或肉仔鸡骨骼畸形问题时，人们会问饲料中是否加了磷或钙。通过显微镜检查这个问题可以很快得到答复。专门从事显微镜检查的人员将有饲料厂正在使用的石灰和磷酸盐的纯样品。当把饲料样本混入有机溶剂并有矿物质分离出来后，利用显微镜检查技术能很容易地测出该样本中是否有石灰和磷酸盐以及它们的相对比例。当然，用显微镜难于测出这些物质的精确数量。但是，有经验的显微镜检查人员能很容易地看出，在添加这些原料时是否出了一系列的差错。第二个例子是用显微镜检查技术来判定饲料原料的总体品质。在准备原料时经常发生事故。遗憾的是有时发生饲料原料的故意掺假。通过实践锻炼，显微镜检查人员可以很快地测出，一个饲料原料样本是否具有该种原料的典型品质或存在巨大差别。如果我们用鱼粉作为蛋白质源，显微镜检查人员将很快学会鉴别鱼粉特有的一些质粒如眼睛、骨骼和鳞片。但是，如果他在鱼粉中发现了羽毛碎片，就可能存在严重问题。当然，在装卸过程中可能发生一些污染。但是，也可能是鱼粉供应商故意用羽毛粉来掺假。羽毛粉比鱼粉便宜得多，是营养价值较差的蛋白源。

总结

当代的家禽生产能把饲料原料有效地转化为肉和蛋供人们消费。这种转化通过禽类动物而实现。转化所需要的蛋白质、矿物质和维生素数量以及为此过程提供能量所需要的卡路里数量已弄得相当清楚。营养学家及其质量控制计划的责任是对其所在单位得到的饲料原料的营养素和能量作出量化的评估。有了这些资料就可能配制出效率高得多的生产高质量人用食物所需的日粮。

(周鼎年 翻译)

实验室评估频率举例

	<u>H₂O</u>	<u>蛋白质</u>	<u>纤维</u>	<u>钙/磷</u>	<u>氨基酸</u>
谷物	高	高	低	N	N
大豆粕	高	高	低	低	N
小麦副产品	高	中	高	N	N
脂肪	高	N	N	N	N
新原料	高	高	高	中	高
混合饲料	中	中	N	高	N

* N= 很少或从未。

多种应激对增重的影响

<u>应激源</u>	<u>增重</u>	<u>同时发生应激</u>	<u>增重</u>
无	1.00	0	100.0
氨气	83.9	1	89.9
去喙	89.4	2	74.2
球虫病	72.9	3	68.8
电击	87.6	4	58.3
热应激	86.8	5	46.3
噪声	99.9	6	37.6

表 7 肉骨粉中矿物质含量的变异(30 样本)

	钙 (%)	磷 (%)
低	3.4	2.1
高	15.9	7.7
平均	10.6	5.2

表 8 豆粕质量测定

加热(分)	尿酶活性(pH)	蛋白溶解度(%)	雏鸡重(克)
0	0.03	86	450
5	0.02	76	445
10	0.00	74	424
20	0.00	65	383
40	0.00	48	316
80	0.00	41	219

表 9 营养素可利用率的变异

	蛋白质利用率(%)	能量利用率(%)
玉米	86	88
棉籽粕	74	45
豆粕	91	55