

# 1 表格结构

作者 *Daniel Sauvant* 和 *Gilles Tran*

## 1.1 饲料原料

本书表格中所描述的饲料原料，大多数情况下是工业生产混合饲料所用的原料。是根据使用的频率从法国饲料数据库中选择，加进了一些使用不普遍但具有可靠试验数据的原料。

一些读者可能会感到奇怪，本书涉及了反刍动物、马和家兔，却没有饲草的数据。实际上，法国农业科学研究院（INRA）已经开始了饲草，尤其是反刍动物饲草的深入考察，但在本书写作时尚未完成，当这项任务完成时，本书将会有新的版本或关于饲草的专门表格出版。

关于饲料名称和分类的选择（比如不同类型的油料饼粕），作者努力说清楚每种分类对于实际的原料都有代表性，并从营养的观点分别做详细的描述。例如：对于 2-棱和 6-棱两个遗传类型的大麦，虽然其营养成分稍有不同，但饲料市场上很少加以区分，因此在分类上将它们作为同一类型处理。又比如商用豆粕有很多种类，种类不同，营养价值不同。市场上通常根据其蛋白质或者蛋白质+脂肪加以分类。因此，本书根据营养上的差别，将豆粕分为 3 个具有代表性的种类。

但读者心里应很清楚，即使设计很好的饲料成分表，也只是代表性的描述。

## 1.2 化学组成数据

### 1.2.1 来源

本书中给出的饲料化学组成值大部分来自于法国动物生产协会（AFZ）的饲料信息数据库。从 1989 年开始，AFZ 的数据库中积累了 100 多万条数据，涵盖了饲料原料的化学组成、物理特性和营养特征。这些数据来自于参与这一工作的企业、研究机构以及其它机构的实验室。

只要能接触到足够的原始数据和新的数据，本书即建立起相应的化学成分值。对 1995 年以来采集样品（谷物籽实、豆科和油料籽实、法国油料饼粕）或市售样品化学组成值超过 500 个以上时，计算其平均值。计算时，去掉 5% 的最高值和最低值。当同一样品有 5 个以上的值时，还计算了标准差。

缺乏原始数据或为完善原有数据，书中也引用了文献值。这方面以维生素、部分微量元素和脂肪酸的数据最为突出。

在本章的最后列出了本书表格中所引用的参考文献。由于篇幅有限，没有全部列出。

## 1.2.2 化学组成量的一致性

对于同种饲料原料，可得到的各种成分值的数量差别很大。比如软粒小麦，粗蛋白质的含量是从 7000 个值计算而来的，但色氨酸含量只有 65 个值。同样地，在我们的数据库中，可用于计算的软粒小麦的粗纤维含量数据量是酸性洗涤纤维（ADF）的 8 倍。这样，在使用原始数据计算同一饲料中不同化学组成的平均值时，由于不同成分可用的数量不一样，就可能产生数据的一致性问题。为解决这一问题，作者建立了回归公式，用数量多的成分（如粗纤维）来估测数量少的成分（如 ADF）。这些回归公式是特异性地针对一种或一组饲料原料的。作者也同时使用了科学文献报道的回归公式。本书共建立了 2000 个回归公式，其中多半是用来对数据进行校正的。粗蛋白质通常是“枢纽值”，从这个“枢纽值”可以级联的方式来估测其它成分的含量。当然，这种估测的可靠性取决于能否得到回归系数显著的回归方程。

## 1.3 营养价值数据

### 1.3.1 数据的基础

严格遵守饲料用于不同种类动物的价值体系是本书营养价值数据的着眼点。对于特定的饲料而言，营养价值的计算是与其化学组成相一致的。虽然营养价值是分门别类地在不同章节中加以描述，但对于所有饲料，总的方法是一致的。首先，营养价值的每个数据或者是由法国农业科学研究院（INRA）用体内法测定的，或者是来自于文献报道的体内法的测定值。其次，样品的化学组成和营养价值间的关系是一致的。这种关系适用于明确定义的一类饲料或一组饲料（比如谷物或籽实及其副产物）。对饲料类型分组的选择是以系统的统计分析为基础的，在进行统计分析时，作者使用了可靠的回归公式。

当分类关系确定以后，即以回归公式计算饲料的营养价值，从而使营养价值与表格中给出的化学特性具有一致性，比如有机物的体内消化率就是这样确定的。细胞壁成分在许多回归公式的估测指标。根据动物种类、饲料种类以及被估测对象的特点，也考虑了细胞壁成分外的其它指标。

当得不到恰当的回归公式时，本书使用平均值作为饲料的营养价值。得到平均值后，作者对照检查了所测营养价值的试验样品与化学成分表中描述样品的一致性。在极少数情况下，由于找不到确切记录的原始数据，我们也采用了比较旧的表格中的数据。

### 1.3.2 新的或近期的营养特性

本书表格中介绍了一些新的或近期的饲料营养特性。就猪来说，增加了饲料净能含量（生长猪和母猪）、磷利用率和氨基酸消化率。氨基酸消化率数据来自于 AmiPig 2000 年发表的表格，并做了一些修订。该表是许多合作者共同完成的，其中包括 INRA 和 AFZ。就家兔而言，营养价值表中使用了 Perez 等 (1998) 发表的消化率数据（也进行了一些修改）和代谢能概念。饲料对鱼营养价值数据来自于 Guillaume 等 1999 年出版的 *Nutrition et Alimentation des poissons et crustacés*。

在反刍动物方面，营养价值表中给出了氨基酸小肠消化率，是根据 Rulquin 等（1993，2001）的方法计算的。为更新瘤胃和小肠氮半体内（*in sacco*）降解率值，作者导出了干物质和淀粉的瘤胃半体内降解动力学参数。在能得到数据的情况下，营养价值表还给出了反刍动物的可吸收磷值。

在矿物质方面，本书以专门表格列出了猪、家禽和反刍动物对矿物质和微量元素的相对生物利用率，这些数据是对欧洲矿物质、微量元素和专门矿物质饲料生产者国际协会（EMFEMA）委托研究文献值的总结。

## 参考文献

- AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF, 2000. *AmiPig, Digestibilités iléales standardisées des acides aminés des matières premières chez le porc.*, AFZ, Paris.
- Becker M., Nehring K., 1965. *Handbuch der Futtermittel*. Ed. Verlag Paul Parey, Berlin.
- CVB, 2000. *Veevoedertabel 2000. Chemische samenstelling, verteerbaarheid en voederwaarde van voedermiddelen*. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands.
- Degussa, 1995. *The amino acid composition of feedstuffs*. Degussa AG, Frankfurt am Main.
- DLG, 1991. *DLG-Futterwertabellen für Wiederkäuer*. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Favier, J.-C., Ireland-Ripert, J., Toque, C., Feinberg, M., 1995. *Répertoire général des aliments, Table de composition*. Lavoisier Technique & Documentation, INRA Editions, Paris.
- Feinberg M., Favier J.-C., Ireland-Ripert J., 1987. *Répertoire général des aliments : T.1. Table de composition des corps gras*. Lavoisier Technique & Documentation, INRA Editions, Paris.
- Feinberg M., Favier J.-C., Ireland-Ripert J., 1987. *Répertoire général des aliments : T.2. Table de composition des produits laitiers*. Lavoisier Technique & Documentation, INRA Editions, Paris.
- FEDNA, 1999. *Normas FEDNA para la formulación de piensos compuestos*. FEDNA, Madrid, 496 p.
- Givens D. I., Cottrill B. R., Davies M., Lee, P. A., Mansbridge R. J., Moss A. R., 2000. Sources of n-3 polyunsaturated fatty acids additional to fish oil for livestock diets - a review. *Nutr. Abstr. Rev. Series B: Livestock Feeds and Feeding*, 70, 1-19.
- Guillaume J., Kaushik S., Bergot P., Métailler R., 1999. *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*. INRA Editions - IFREMER, Paris, 489 p.
- INRA, 1988. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA Editions, Paris, 471 p.
- INRA, 1989. *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. INRA Editions, Paris, 282 p.
- INRA, 1990. *L'alimentation des chevaux*. W. Martin-Rosset Ed. INRA Editions, Paris, 232 p.
- Lamand M., Tressol J.-C., Ireland-Ripert J., Favier J.-C., Feinberg M., 1996. *Répertoire général des aliments : T.4. Table de composition minérale*. Lavoisier Technique & Documentation, INRA Editions, Paris.
- Morand-Fehr P., Tran G., 2001. La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *Prod. Anim.*, 14, 285-302.
- National Academy of Sciences, 1972. *Atlas of nutritional data on United States and Canadian feeds*. National Academy of Sciences, Washington DC.

- National Committee on Danish Cattle Husbandry, 1995. *Composition and feed value of cattle feeds*. Foulum, Denmark.
- Novus International, 1996. *Raw material compendium*, 2<sup>nd</sup> Edition. Novus Europe, Bruxelles.
- NRC, 1977. *Nutrient requirements of rabbits* (2<sup>nd</sup> Ed.). Nat. Acad. Sci., Washington, DC, USA, 30 p.
- NRC, 1984. *Nutrient requirements of poultry*: 8<sup>th</sup> Revised Edition. National Academy Press, Washington DC.
- NRC, 1988. *Nutrient requirements of dairy cattle*: 6<sup>th</sup> Revised Edition, Update 1988. National Academy Press, Washington DC.
- NRC, 1989. *Nutrient requirements of horses*. 5<sup>th</sup> Revised Edition. National Academy Press, Washington DC.
- NRC, 1993. *Nutrient requirements of fish*. National Academy Press, Washington DC.
- NRC, 1998. *Nutrient requirements of swine*. National Academy Press, Washington DC.
- NRC, 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*: 7<sup>th</sup> Revised Edition. National Academy Press, Washington DC.
- Perez J. M., Maertens L., Villamide M. J., De Blas C., 1998. Tables de composition et de valeur nutritive des aliments destinés au lapin : conclusions d'un groupe de travail européen. 7<sup>èmes</sup> Journ. Rech. Cunicole Fr., Lyon, 13-14 mai 1998, 141-146. ITAVI Ed., Paris.
- Rulquin H., Guinard G., Pisulewski P., Vérité R., 1993. *Le système en lysine et méthionine digestible*. CAAA - AFTAA, le Mans, 22-23 juin 1993.
- Rulquin H., Vérité R., Guinard-Flament J., 2001. Acides aminés digestibles dans l'intestin. Le système AADI et les recommandations d'apport pour la vache laitière. *Prod. Anim.*, 14, 265-274.
- Scherz H., Senser F., 1994. *Food composition and nutrition tables*. Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart; CRC Press, Boca Raton.
- Schiemann R., Nehring K., Hoffman L., Jentsch W., Chudy A., 1971. *Energetische Futterbewertung und Energienormen*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 344 p.
- Standing Committee on Animal Nutrition, 1990. *UK Tables of nutritive value and chemical composition of feedingstuffs*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- USDA, 2002. *USDA Nutrient database for Standard Reference, Release 14*. USDA Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville, Maryland.

# 2 化学组成与营养价值

作者 Gilles Tran 和 Daniel Sauvant

## 2.1 化学组成

### 2.1.1 分析方法

表格中所列饲料原料的化学组成大多是饲料公司实验室对样品的测定结果。这些测定值反映了法国和西欧市场饲料原料的不同特征类型。所有数据都是用经典的分析方法测定的。这些方法包括国际标准化组织（ISO 和 AFNOR）和其它机构（欧盟委员会和 AOAC）推荐的方法。欧盟委员会和 AOAC 推荐的方法与国际标准化组织推荐的方法相仿或由后者的方法衍生而来。也采用了一些研究者推荐的方法，比如 Van Soest 建立的饲料纤维分析法。由于资料来源的差异（包括文献资料间的差异）以及资料收集的持续性和完整性，某个特定的化学组分值可能是通过几种方法测定的。为了校正这些差异，作者对收集到的原始数据进行了一定的校正修改，如去掉了非典型方法所测定的数据。

表 2-1 总结了本书饲料成分表中所用到的主要测定方法。

表 2-1 饲料化学组成的分析方法

| 化学特性              | 分析方法                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水分                | 主要采用干燥法，如测定常规饲料所用的 AFNOR NF V18-109                                                                                                                                                                           |
| 粗蛋白质              | 主要采用氮的矿物化法，如目前常用的凯氏定氮法（AFNOR NF V18-100, 1977）和 Dumas 定氮法(AFNOR NF V18-120, 1997)。粗蛋白质含量通过总氮含量乘 6.25 而得                                                                                                       |
| 粗纤维               | 基于先碱水解后酸水解的温第（Weende）法，如 AFNOR NF V03-40（1993）。粗纤维对细胞壁含量的不确切估计，实际细胞壁含量往往要高 2-4 倍。粗纤维残渣包括不同的细胞壁成分，如木质素                                                                                                         |
| 粗脂肪               | 粗脂肪是溶剂（如二乙醚）的脂质提取物，因此通常也称为“醚浸出物”。在法国，测定大多数饲料原料粗纤维的参考方法是 AFNOR NF V18-117（1997）。有些原料提取前需要用盐酸水解                                                                                                                 |
| 粗灰分               | 灰化法，如 AFNOR NF V18-101                                                                                                                                                                                        |
| 盐酸不溶物             | 灰化后的残渣再用盐酸处理，如 AFNOR NF V18-102                                                                                                                                                                               |
| Van Soest 法测细胞壁含量 | Van Soest 描述的序列方法（AFNOR NF V18-122, 1997）：<br>①中性洗涤纤维（NDF）：在中性介质中通过十二烷基硫酸盐作用后的细胞壁产物，有些时候也可使用酶（淀粉酶和蛋白酶）<br>②酸性洗涤纤维（ADF）：将 NDF 在硫酸化的酸性介质中通过溴化十六烷基三甲铵（CTAB）作用后而得到的木质纤维素<br>③酸性洗涤木质素（ADL）：ADF 再经过 72%的硫酸作用后得到的木质素 |

续表 2-1

|          |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水不溶性细胞壁  | 通过 AFNOR V18-11 方法处理得到的细胞壁，待测样品经 $\alpha$ -淀粉酶和蛋白酶作用后，再经过脱脂处理的剩余部分                                                                                                                                                                                          |
| 淀粉       | 采用 Ewers 偏振法，如 27/11/1980 改良的 3 <sup>rd</sup> EC 指示剂法 72/199。本书表格中未放入通过酶作用的方法所得到的淀粉数据，无淀粉原料如油籽饼粕和甜菜渣的淀粉含量用零表示                                                                                                                                               |
| 总糖       | 表中列出的大部分总糖数据是通过 Luff-Schoorl 法（乙醇浸提法）测定的。然而，由于糖值的缺乏，也考虑过酶学方法                                                                                                                                                                                                |
| 脂肪酸      | 基于氯仿或甲醇甲基化和甲酯提取，然后再层析的方法。脂肪酸转换为粗脂肪的转换系数是由文献资料得到的                                                                                                                                                                                                            |
| 氨基酸      | 采用 6N 盐酸水解后再层析的方法。该方法中，不同测定者水解的持续时间（24-48 h）和温度（110-145°C）不同。蛋氨酸和胱氨酸测定的前处理方法为过甲酸氧化法，色氨酸测定的全处理方法为碱水解法                                                                                                                                                        |
| 矿物质和微量元素 | 分光光度法适合于各种矿物质元素的测定，如 AFNOR V18-108 测定钙含量，AFNOR NF V18-106 测定磷含量。一些数据（特别是碘值）引自以前的饲料和食物成分表                                                                                                                                                                    |
| 植酸磷      | 指与植酸结合的有机磷。植酸磷由植酸乘 28.2% 换算而得。植酸可以用不同的方法测定，如铁混合物沉淀法和高效液相色谱（HPLC）法                                                                                                                                                                                           |
| 植酸酶活性    | 一活性单位植酸酶是在固定温度和 pH 条件，每分钟从植酸钠溶液中释放 1 $\mu$ mol 无机磷的酶活性                                                                                                                                                                                                      |
| 维生素      | 维生素数据主要来源于已发表的表格，且很少有分析方法的明确表述<br>①维生素 A：维生素 A 的活力用国际单位（IU）表示（1IU=0.3 $\mu$ g 视黄醇）<br>②维生素 D：维生素 D <sub>2</sub> 主要存在于植物产品中，维生素 D <sub>3</sub> 主要存在于动物产品中。维生素 D 活力用国际单位（IU）表示（1IU=0.025 $\mu$ g 维生素 D <sub>3</sub> ）<br>③维生素 E：生育酚和三烯甘油酯的活力用 $\alpha$ -生育酚表示 |
| 实际应用粘度   | 实际应用粘度用水提取物粘度测量法测定（Carré 等，1994）。而潜在粘度用 80% 乙醇萃取后测定，此法不用于测定实际应用粘度是为了保持内源酶的活性。实际应用粘度值没有可加性。粘度表示为：<br>相对粘度（ $\eta_r$ ）：指提取液粘度/缓冲液粘度<br>应用粘度（AV）：Log（ $\eta_r$ ）/[最终提取液中原始物浓度（g/ml）]                                                                           |

### 2.1.2 阴阳离子差

反刍动物的阴阳离子差（DCAD）和单胃动物的电解质平衡值（EB）描述了日粮和饲料原料的酸化和碱化潜力。其简单的计算方法是通过酸碱平衡影响最大的钾离子和钠离子（碱化）及氯离子和硫酸根离子（酸化）来进行的。计算 EB 值时硫酸根离子不包括在内。

$$\begin{aligned} \text{DCAD} &= [\text{K}^+ + \text{Na}^+] - [\text{Cl}^- + \text{S}^{2-}] \\ &= 1000 \times (\text{K}/39 + \text{Na}/23 - \text{Cl}/35.5 - \text{S}/16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EB} &= [\text{K}^+ + \text{Na}^+] - [\text{Cl}^-] \\ &= 1000 \times (\text{K}/39 + \text{Na}/23 - \text{Cl}/35.5) \end{aligned}$$

DCAD 和 EB 的单位均为 mEq/kg DM

Na、K、Cl 和 S 的单位都是 g/kgDM

表中的数据仅供参考，因为随着饲料原料其它化学组成的变化，其数值会有很大的变化。

### 2.1.3 化学组成数据的相关性

(1) 组分分析（干物质、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪和粗灰分）、淀粉和糖（主要针对富含此成分的产品）、钙和磷等指标是我们所取样品最常测定的指标。这些成分的分析方法是富有经验的实验室长期建立的方法，因此分析数据是可靠的。而且对上述成分可进行大批的分析，可以很容易发现和去除无关或误差大的数据。对数据的可变性进行了很好的描述，同时将标准差列在表中。

(2) 氨基酸、细胞壁成分（而非粗纤维）、次生矿物质等成分是除上面内容外最经常测定的指标。这些成分的分析方法变异性很大。但是，我们可以通过一组饲料原料的测定值建立回归公式来估测氨基酸和细胞壁含量。

(3) 微量元素的数据是没有共性的，它与其它的成分很少有可比性。另外，土壤、技术操作等因素都可造成同种或同类饲料间微量元素含量的差异。因此，表中的数据大部分是科技文献的平均数，仅供参考。

(4) 影响饲料脂肪酸含量的因素与微量元素相似。而且，不同文献中脂肪酸含量的表示单位往往不同，这就给准确比较造成了一定的难度。另外一个突出的问题是，缺乏脂肪含量少的饲料原料的各种脂肪酸含量的数据。因此，表中数据往往是来自于相应油脂产品，变异极大，仅供参考。

(5) 除了那些同时用作人的食物的饲料，如谷物，文献中很少提供饲料原料中维生素的含量。因此表中大部分数据来源于以前的食物和饲料成分表中，还有一部分摘自新近的文献。

## 2.2 营养价值数据

### 2.2.1 能值

#### 2.2.1.1 数据的基础

各种动物对所摄取饲料中有机物质 (OM) 中的总能 (GE) 的利用都是按图 2-1 所示的一般过程进行的。

净能 (NE) 是描述饲料能量含量的最佳体系。为计算净能值，必须从总能开始，顺序测定能量消化率以及甲烷能、尿能及热增耗等能量损失。

#### 2.2.1.2 总能

总能是通过测热计测定的。也可以通过其化学组成中各个成分的相关系数建立各种模型来推算。在成分表中，我们尽可能把推算的方程建立于组分分析的普遍性和可行性的基础上。经过 2000 多个总能数据的统计分析，我们得到了如下公式：

$$GE = 17.3 + 0.0617 CP + 0.2193 EE + 0.0387 CF - 0.1867 Ash + \Delta$$

式中 GE 单位为 MJ/kgDM，CP、EE、CF 和 Ash 分别表示粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和粗灰分，其单位为其占干物质的百分率（%）。Δ 为校正系数（可正可负），不同饲料原料的 Δ 值不同。为了实现校正系数的最优化，Tran 和 Sauvant 等做了多个统计分析（未发表）。

表 2-2 列出了不同类型饲料原料的 Δ 值。

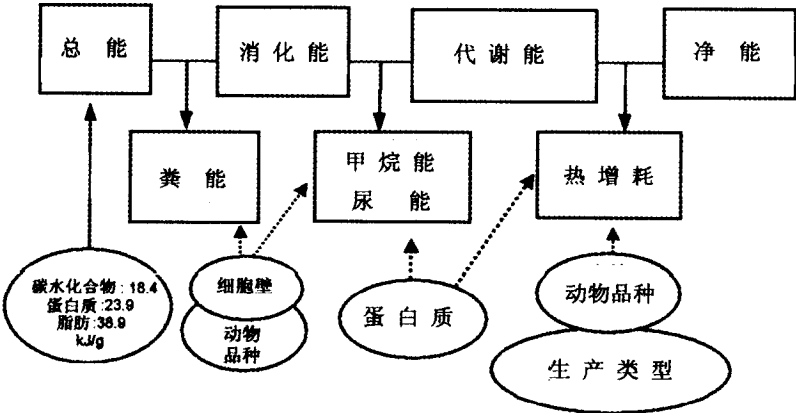


图 2-1 饲料能量的利用过程

表 2-2 饲料总能估测公式的校正系数值

| 饲料类型                                 | Δ     |
|--------------------------------------|-------|
| 玉米蛋白粉                                | 1.29  |
| 血粉                                   | 1.12  |
| 苜蓿蛋白浓缩物                              | 1.04  |
| 小麦蒸馏副产物、小麦面筋饲料、玉米糠、米糠                | 0.58  |
| 全脂油菜籽、全脂亚麻籽、全脂棉籽、棉籽粕                 | 0.49  |
| 燕麦、小麦制粉副产物、玉米面筋饲料和其它玉米淀粉副产物、玉米饲料粉、高粱 | 0.31  |
| 青干草、秸秆                               | 0.19  |
| 大麦                                   | 0.15  |
| 大麦根、肉骨粉                              | -0.18 |
| 亚麻籽饼、棕榈核仁粕、全脂大豆、大豆粕、葵花粕              | -0.19 |
| 木薯                                   | -0.23 |
| 蚕豆、羽扇豆、豌豆                            | -0.36 |
| 甜菜渣、糖蜜、酒糟、土豆渣                        | -0.43 |
| 乳清                                   | -0.74 |
| 大豆皮                                  | -0.97 |
| 除淀粉和酒糟外的其它饲料原料                       | 0.00  |



对于淀粉和酒糟，我们采用了 Noblet（个人交流资料，2002）提出的一次方程式推算 GE:

$$GE = 0.2299 \text{ CP} + 0.3893 \text{ EE} + 0.1740 \text{ Starch} + 0.1655 \text{ Sugars} + 0.1884 \text{ NDF} + 0.1773 \text{ Residue}$$

缩写符号表示的全称同上，Residue 表示有机物质与方程式中所有成分的总和之差。

2.2.1.3 消化能、代谢能和净能

对于猪、反刍动物、兔和马，其能量和有机物质消化率的估测公式在大多情况下是基于细胞壁含量进行的。如图 2-2 所示，动物种类不同，饲料能量和有机物质消化率与细胞壁成分间的相关关系不同，因此有必要建立一个具体的表格。

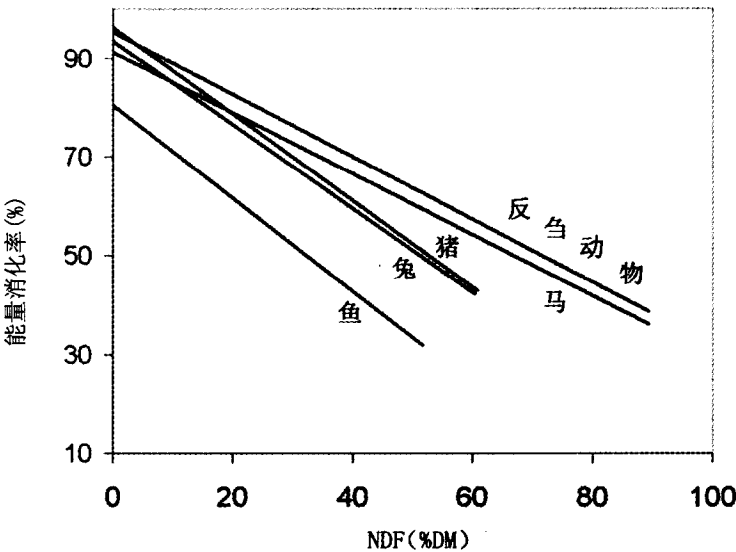


图 2-2 饲料细胞壁含量对几种动物能量消化率影响的比较

对于不同种类的动物，不同类型的饲料原料有不同的能值估测公式。消化能（DE）值由总能和能量的消化率计算而得。

DE 减去甲烷能和尿能即为代谢能（ME），甲烷能和尿能损失与饲料原料的组成有关。此转换公式也因动物种类的不同而有所差别，比如家禽，由于粪尿中损失的能量不易分别计算，所以代谢能是直接测定的。

净能是在代谢能的基础上估测的。同样，动物种类不同，估测公式不完全一样，这一点将在相关章节中介绍。

2.2.2 氮

本书以表格形式给出了各种动物的粪氮消化率（或粗蛋白消化率）。对于家兔和鱼，表中的这些数据只是饲料原料含氮量的估算值。

由于种间差异，特别是单胃动物和反刍动物间的差异，可消化氮能更准确地评价氮对不同动物的营养价值。关于摄入氮的消化和代谢将在其它章节中作详尽描述。

对于猪来说，表中列出了饲料氨基酸回肠表观消化率和真消化率，回肠真消化率是通过内源氮损失对表观消化率进行校正后得到的。对于家禽来说，氨基酸消化率为粪氨基酸真消化率，因其在测定过程中已系统地校正了内源氮损失。对于反刍动物来说，表中列出了日粮来源可消化蛋白质（PDIA）、能量为瘤胃微生物活性限制因素时的小肠可消化蛋白质（PDIE）、氮为瘤胃微生物活性限制因素时的小肠可消化蛋白质（PDIN）和必需氨基酸含量。对于马，则用可消化粗蛋白来表示蛋白质的营养价值。

### 2.2.3 矿物质

#### 2.2.3.1 磷

植物组织中贮存的磷大部分与植酸（六磷酸肌醇）结合在一起。磷的释放需要在植酸酶的水解作用下进行。植酸磷不能被单胃动物利用，因为单胃动物肠道中没有足够的植酸酶活性来水解利用植酸磷分子中的磷。因此，大部分植酸磷没有被单胃动物利用而随粪便排泄到环境中。但可以通过在饲料中添加植酸酶来提高植酸磷的利用率。此外，某些饲料原料中含有植物植酸酶（如小麦），这些植物植酸酶也能水解其它原料中的植酸磷（Nys 等，1997）。对于反刍动物来说，植酸磷的利用问题没有单胃动物那样重要，因为反刍动物瘤胃微生物能产生植酸酶。

#### 2.2.3.2 矿物质来源

表中列出了欧洲用于猪、家禽和反刍动物日粮中主要的矿物质饲料（矿物质产品和有机金属复合物）的相对生物学价值。是由欧洲矿物质、微量元素和专门矿物质饲料生产者国际协会（EMFEMA）委托许多专家利用许多相关文献资料共同完成的。

## 参考文献

- Carré B., Gomez J., Melcion J. P., Giboulot B., 1994. La viscosité des extraits aqueux des aliments destinés aux oiseaux d'élevage : méthodologie de mesure, effets des traitements technologiques, utilisation pour la prédiction des consommations et excrétions d'eau chez le dindonneau de chair de cinq semaines. *Colloque annuel Valicentre*, 13 déc. 1994, Chambray-les-Tours, CRITT Valicentre, Orléans, 66-77.
- Nys Y., Frapin D., Pointillart A., 1997. Occurrence of phytases in plants, animal and microorganisms. In: *Phytase in animal nutrition and management: a BASF reference manual 1996*. Coelho M. B., Kornegay E. T. (ed.), BASF Corp, Ludwigshafen, 213-236.

# 3 饲料对猪的营养价值

作者 Jean Noblet, Bernard Sève 和 Catherine Jondreville

## 3.1 能值

### 3.1.1 引言

饲料原料能量价值的评定需要几个步骤。第一步是对消化能的评定，是由总能乘以粪能表观消化率而得。粪能表观消化率随饲料特性而变化，同时也随猪体重的变化而变化。对于后者，本书主要考虑了两个生理阶段，一个是 50-70 kg 的生长猪（这些数据可用于 10-150 kg 快速生长阶段），另一个是成年母猪（该结果也可用于妊娠和泌乳母猪，Le Goff 和 Noblet, 2001）。尿中损失的能量通过尿氮的含量来测定，而被降解的细胞壁所损失的能量则以气体能来估算。以气体形式损失的能量在上述两个生理阶段有所不同。代谢能是消化能与尿中和气体中损失的能量之和。净能是用回归公式（Noblet 等, 1994）估测得出的，该公式适用于生长猪和母猪。

### 3.1.2 能量和其它养分消化率

#### 3.1.2.1 生长猪

各种饲料原料的能量消化率是用拟合方程计算得到的，这些方程是选用一个或两个有重要作用的化学组分构建的。被选用的化学组分含量的差异要足够大，要能充分体现该原料的特征和对不同的原料加以区分。方程的构建基于文献数据和未出版的 INRA 的资料综合。对于绝大多数饲料原料，其单一成分没有足够的原始消化率数据。因此，我们只能从与其植物学和解剖学相类似的饲料原料的资料中去归纳。例如，我们把能得到的小麦及其副产物（小麦麸、次粉、细小麦麸、小麦面筋饲料、小麦蒸馏副产物等）的 52 个样品综合在一起，建立了用细胞壁成分（粗纤维、NDF 或 ADF）估测其能量消化率的回归公式。这种方法的示范请参见 Noblet 和 Le Goff（2000）对小麦和玉米产品的估算。蛋白质的消化率回归公式也是通过相似的方法建立的。这些回归公式由 Noblet 等（2003）发表，并可在网址 [www.inapg.fr/dsa/afz/tables/energie\\_porc.htm](http://www.inapg.fr/dsa/afz/tables/energie_porc.htm) 上找到。

然而，表中有几个（或几类）原料没有足够数据甚至根本无文献可查，或其结果本身就是用与其相似的原料推算得出的即无变异性。这样就不能基于其化学组成而建立能量消化率和氮消化率的方程。因此，我们或者计算文献资料的平均值（如果其数据结果稳定），或者通过回归公式（例如消化能，Le Goff 和 Noblet, 2001; Noblet, 未出版, n=77）估测得出：

$$DE = 0.2247 CP + 0.3171 EE + 0.1720 \text{ Starch} + 0.0318 \text{ NDF} + 0.1632 \text{ Residue} \quad (RSD = 0.35)$$

DE 的单位为 MJ/kg DM, CP（粗蛋白）、EE（粗脂肪）、NDF（中性洗涤纤维）、Starch（淀粉）和 Residue（残渣）的单位为干物质的百分率（%DM）。残差等于有机物质含量和公式中其它组分的总和之差。

有些饲料原料，没有上述的方法可用，我们则选用了近似值。凡遇到这种情况，其能量消化率和 DE 值都是通过已出版的资料中各化学成分的含量估测得出。另外，当有几个回归公式可用时，则采用最精确的回归公式计算。

生长猪和母猪对淀粉和葡萄糖的粪消化率都按 100% 计算。对于脂肪来说，文献中很少有关于其消化率的资料，或者有一些资料，但一致性和准确性较差（特别是脂肪含量少于 5% 的饲料原料，本书表格中的大多原料都是如此）。除脂肪饲料外（油和脂肪），作者用 Le Goff 和 Noblet（2001）的公式（ $n=77$  饲料）来推算可消化脂肪含量（DEE），脂肪的消化率（EE<sub>d</sub>）等于 DEE 除以脂肪含量（ $\times 100$ ）。作者所用的估测 DEE 的公式为：

$$DEE = 0.82 EE - 0.02 NDF - 0.7 \quad (RSD = 0.33)$$

DEE、EE 和 NDF 的单位均为占干物质的百分率（%），通过这个公式得到的低脂肪含量产品的 EE<sub>d</sub> 值很低（甚至可能是负数）。

由于多方面的原因，很少有可靠的猪对细胞壁消化率的数据，因此不能直接估测细胞壁消化率。但可用有机物质的消化系数（OM<sub>d</sub>）或可消化有机物质（DOM）来间接估测。首先，残渣（Res）等于有机物质与粗蛋白质、粗脂肪、淀粉和葡萄糖的总和之差；其次，可消化残渣（Dres）等于 DOM 和 DCP、DEE、淀粉和葡萄糖的总和之差，原料成分的 Res 和 DR<sub>es</sub> 理论上各自等于细胞壁和可消化细胞壁含量。然而这些数值只是经差额计算出的而不是直接测定的。OM<sub>d</sub> 用下面的公式得出（Noblet,  $n = 270$ ）：

$$OMd = 7.0 + 0.955 Ed - 0.05 DCP - 0.03 DEE \quad (RSD = 0.4)$$

下式与上面的公式具有同样的准确性：

$$OMd = 7.9 + 0.915 Ed + 0.031 (\text{starch} + \text{glucose}) \quad (RSD = 0.4)$$

OM<sub>d</sub> 和 Ed（能量消化率）的单位为 %。DCP、DEE、Starch（淀粉）和 Glucose（葡萄糖）的单位为 %DM。

对于富含脂肪（油和脂肪）的饲料原料，其生长猪和成年母猪的 EE<sub>d</sub>、Ed 和 OM<sub>d</sub> 等于 85%，这个值与文献资料的平均值一样，且没有考虑由于不饱和脂肪酸不饱和程度所造成的消化率的潜在差异。但它不适用于富含游离脂肪酸（如酸性油）的饲料，因其 EE<sub>d</sub> 和 Ed 很低。最后，合成氨基酸的 Ed 值为 100%，因此其 DE 等于纯氨基酸的总能。

### 3.1.2.2 成年母猪

文献报道成年母猪的能量消化率高于生长猪，此效应决定于植物细胞壁的数量和来源，同时此效应也证明母猪和生长猪选用完全不同的饲料能值是正确的（Le Goff and Noblet, 2001）。但与生长猪不同，由于缺少文献资料，母猪能量的消化率不能通过回归的方法来估测，并且利用这些公式很少能得到与表中原料相对应的数据。Le Goff 和 Noblet（2001）描述了通过实际测定或估测的生长猪消化能来推算母猪消化能的方法，这种方法也可用于同一类型的饲料原料（小麦、玉米和大豆，Noblet 和 Le Goff, 2000；Le Goff 和 Noblet, 2001）。但是，这些方程不能用于表中的所有原料。另外，如果用同一公式估测所有的饲料原料，则可能会导入偏差。

对 Le Goff 和 Noblet (2001) 报道的资料的进一步分析表明, 母猪和生长猪消化能的差异与生长猪饲料中不可消化有机物质的浓度成正比。在他们的研究中, 77 种生长猪日粮中的不可消化有机物质含量每增加 1 g, 消化能的差异 (DEdiff) 增加 4.2 kJ, 4.2 kJ 的消化能相当于额外提供 0.195 克的 DOM, 它由 0.058 克的 DCP 和 0.137 克 Dres 组成。然而, 对母猪和生长猪消化率结果的比较表明, DEdiff 随原料类型不同而不同 (Noblet 等, 个人资料)。例如母猪和生长猪对小麦产品的 DEdiff 为 2.9 kJ, 大豆产品的 DEdiff 为 7.5 kJ, 玉米产品的 DEdiff 为 8.0 kJ。由 INRA 提供的约 50 种原料的数据 (Noblet 等, 未发表) 使得估测营养价值表中所有原料的 DEdiff 成为可能 (数值范围 0-8.4KJ), 同时也使利用生长猪不可消化有机物质来估测母猪和生长猪之间的 DE、DOM、DCP 和 Dres 等的差异成为可能。在这种估测中, 假设 DCP 和 Dres 间的过剩 DOM 的再分配及 1 kJDOM (0.047 g/kJ) 的数值不随 DEdiff 而不同, 因此, 将生长猪的 DE、DOM、DCP 和 Dres 值加上估算的生长猪与母猪间这些值的差异即得到成年母猪的 DE、DOM、DCP 和 Dres 含量。这里, 假定生长猪和成年母猪的脂肪、淀粉和葡萄糖的消化率是一样的。

### 3.1.3 代谢能

如引言所述, 饲料代谢能的计算要考虑尿能和气体能 (甲烷, Egas) 的损失。对成年母猪和 50-70 kg 生长猪 (n=610, Noblet, 私人通讯) 的数据分析表明, 尿能 (Euri, MJ/kg 摄入干物质——译者注) 取决于尿氮含量 (Nuri, g/kg 摄入干物质), 尿能可由下述公式估测:

$$\text{生长猪: } Euri = 0.19 + 0.031 Nuri \quad (RSD = 0.05)$$

$$\text{成年母猪: } Euri = 0.22 + 0.031 Nuri \quad (RSD = 0.05)$$

尿氮含量与日粮含氮量和猪利用氮合成蛋白质的能力成正比。当蛋白质提供的氨基酸平衡且能满足动物需要时, 动物生长的大部分阶段约有 50% 的可消化氮被用于蛋白质沉积, 另外 50% 从尿中排出, 也就是说可从尿中检测到 50% 的可消化氮。这个假设可应用于各种原料, 也可按以上方法计算 DCP。

以气体形式损失的能量可用发酵细胞壁的量来估算, 此法与养分消化率方法中 Dres 的计算方法相同。由呼吸测热室 (Le Goff, 2001) 中测定的数据可估算出甲烷能的量: 生长猪每克 Dres 相当于 0.67 kJ 的甲烷能, 而成年母猪每克 Dres 相当于 1.34 kJ 的甲烷能。

与动物试验观察到的结果一样, 对于既不含细胞壁又不含粗蛋白质的原料 (油和脂肪), 这种方法估算出的代谢能与消化能很接近。合成氨基酸通常是氮存留的限制性因素, 可以认为合成氨基酸的氮存留率比总氮的存留率高。本书中, 作者按 DE 的 65% 计算 ME。

### 3.1.4 净能 (NE)

饲料净能是利用 Noblet 等 (1994) 根据 61 种日粮建立的公式估算的。下面三个公式是经常使用的:

$$NE2 = 0.121 DCP + 0.350 DEE + 0.143 \text{ Starch} + 0.119 \text{ Sugars} + 0.086 DRes \quad (RSD = 0.25)$$

$$NE4 = 0.703 DE + 0.066 EE + 0.020 \text{ Starch} - 0.041 CP - 0.041 CF \quad (RSD = 0.18)$$

$$NE7 = 0.730 ME + 0.055 EE + 0.015 \text{ Starch} - 0.028 CP - 0.041 CF \quad (RSD = 0.17)$$

NE、ME和DE 的单位为 MJ/kg 干物质，化学组分以 %DM表示。

由于没有采用“ Weende ”分析来定义可消化成分值，因此公式 NE<sub>2</sub> 实际是从 Noblet 等（1994）提出的公式 NE<sub>2</sub> 演变而来的。实际上，本书数据表中所列 NE 值是上述三个公式所得值的平均值。由于表中列出了各种原料的化学组成，因此可以估算出所有饲料的 NE 值。数据表中可消化养分值、DE 和 ME 都是上面所述公式的估测值。对于只含有淀粉（玉米淀粉）的原料和脂肪，其净能值常用公式 NE<sub>2</sub> 估算。如果是合成氨基酸，则假设代谢能的利用效率为合成体蛋白质保留部分的 85%（DE 的 65%），而脱氨基作用的代谢能利用效率为 60%（DE 的 35%）。

### 3.1.5 结论

按照三种不同的能量体系（DE、ME 和 NE），用以估测猪饲料能量的方法产生了适用于不同生理状况（生长猪和成年母猪）的六个能值。

在三个能量体系中，应首选 NE 体系，因为 NE 体系得到的能值最接近真正的能值，这样就可以让配方师在配料时更准确地区分和挑选原料。最后应注意的是，饲料的 NE 高度依赖于 DE 和 ME，而 DE 和 ME 本身是由饲料的化学组成、采食饲料的动物以及饲料生产技术（加工、粉碎等）决定的。表中给出的数据主要为粉状形态的数据，只有菜籽产品是惟一的例外，表中菜籽是制粒后的状态，因为粉状菜籽的消化率很低。一般来说，制粒可以提高能量和其它养分的消化率。然而，对用于猪的所有饲料原料来说，没有足够的文献资料来考虑不同加工状态（特别是制粒）下的饲料能值。

## 3.2 蛋白质营养价值和氨基酸回肠消化率

饲料氨基酸（AA）营养利用率可通过测定小肠末端即回肠的消化率来测定。大肠中的微生物能代谢一些没有被消化的氨基酸，阻止它们出现在粪中（使得粪氨基酸含量低于回肠氨基酸含量，结果使粪氨基酸消化率过高估计了饲料氨基酸的可利用率——译者注），所以要使用回肠消化率。表中所列氨基酸回肠表观消化率和回肠标准消化率（standardized ileal digestibility of amino acids 为目前学术界的叫法，这个术语相当于过去的 true ileal digestibility，即回肠真消化率。为适应学术概念发展，本书中译本将 Standardized ileal digestibility 译为“标准回肠消化率”——译者注）来自于 20 世纪 80 年代早期以来 Adisseo、ITCF 和法国农业科学研究院（INRA）的试验结果，这些数据收集于 1996 年到 1999 年间，另外还出版了光盘（AFZ 等，2000）。

测定猪饲料氨基酸回肠消化率常用的方法有回肠瘘管法和回肠-直肠吻合法。前者给猪安装回肠瘘管，然后测定不可消化指示剂的含量。后者将猪回肠和直肠缝合在一起，然后收集所有的回肠食糜。表中所列数据是用 Laplace 等（1994）验证出的终端回肠-直肠吻合技术测定的，此方法中大肠被完全隔离。回肠消化率表达的方式取决于怎样将内源损失的

氮考虑到计算过程中（Sève, 1994）。本书的表格同时列出了氨基酸表观消化率和标准消化率。

### 3.2.1 表观消化率

表观消化率忽略了未消化的内源或外源氮和氨基酸。未消化的氮和氨基酸的数量与饲料干物质摄入量成比例。如果待测日粮含有其它成分，就必须测定这些原料所产生的没有被消化的氮和氨基酸的数量，然后用差减法来计算待测饲料的未消化氮或氨基酸的量。所谓差减法是待测饲料按一定比例替代含蛋白质或无氮的基础日粮，假定待测饲料蛋白质是日粮蛋白质的唯一来源。

因此，当测定富含蛋白质的原料时，往往用无氮成分（淀粉、蔗糖、植物油等）稀释待测原料，从而保证待测原料为日粮中惟一的蛋白质来源。但因稀释成分造成的不可消化部分应该从表观不可消化值中扣除。如没有经过校正，则会低估富含蛋白质原料的表观消化氮或氨基酸的数量。另外，对于蛋白质含量特别低的原料该值不具有可加性。目前大部分已发表文献中用此法测定的表观消化率都没有经过校正，因此也没有可加性。

### 3.2.2 标准消化率

早在 20 世纪 20 年代 Mitchell 就提出了蛋白质生物学价值的概念，从而区分了日粮蛋白质引起的氮内源损失和因维持需要引起的内源氮损失。现在知道这些内源氮损失因蛋白质来源的组成不同而有差异，因此有必要单独考虑基础内源氮损失。基础内源氮损失与待测饲料的组成无关，且不与摄入的蛋白质数量成比例。但基础内源氮损失与摄入的总干物质质量成比例（图 3-1）。

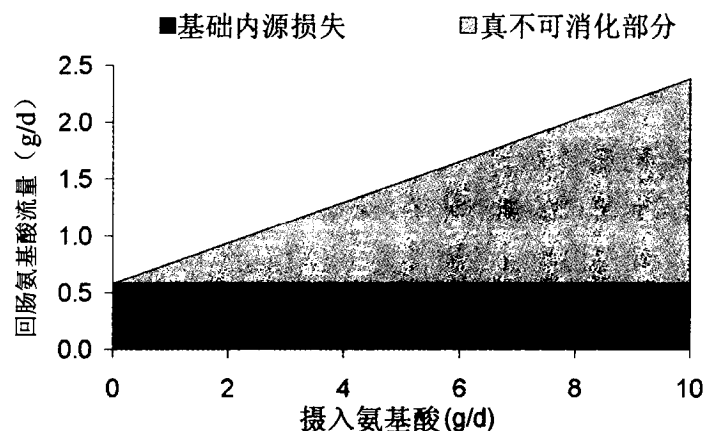


图 3-1 在稳定的干物质摄入量的情况下氨基酸摄入量对回肠氨基酸流量的影响

从测定的不可消化部分减去这些损失的部分，即得到 H. H. Mitchell 定义的真消化率，这与动物的代谢水平无关。如果测定时是用无蛋白质成分稀释待测饲料，可能从一个易变的表观消化率推算出与日粮的饲料浓度无关的真消化率（图 3-2）。

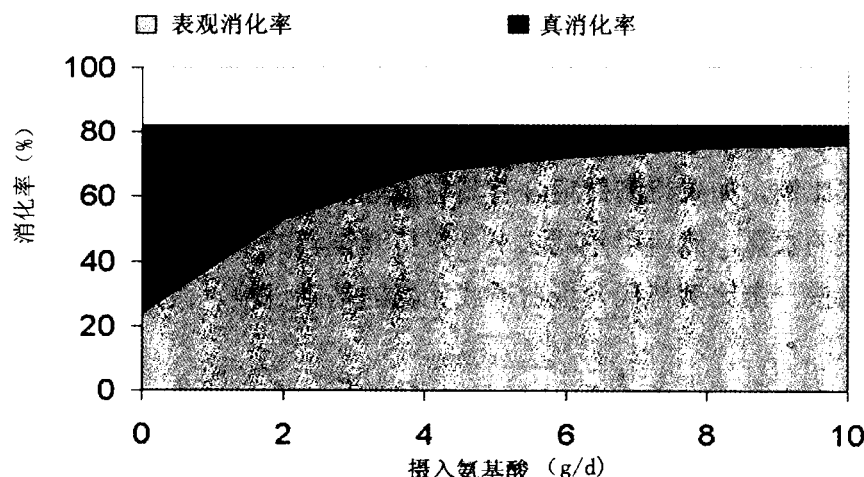


图 3-2 在稳定的干物质摄入量的情况下氨基酸摄入量对表观消化率的影响

Furuya 和 Kaji (1991) 报道, 与未校正的表观可消化氨基酸 (AID) 值相反, 真可消化氨基酸 ( “truly” digestible ) 具有可加性。事实表明, 与真不可消化氨基酸 ( “truly” undigestible ) 一样, 真可消化氨基酸严格与待测饲料的蛋白质含量成正比。为了避免与真实消化率 ( “real” digestibility ) 混淆, 所以使用标准消化率 (standardized digestibility) 这一术语。

标准回肠消化率值 (SID) 取决于氨基酸基础内源氮或氨基酸损失的情况。如果动物长时间没有摄入日粮, 则用无氮日粮测定基础内源损失是最接近的一种方法。事实表明, 当使用相似成分组成 (Sève 等, 2000) 的无氮日粮测定基础内源损失时, 其结果往往只与测定的实验室有关。

### 3.2.3 消化率估测

本书表中所列消化率的数据为三个实验地点所测结果的平均值, 每种原料通常为待测日粮惟一的蛋白质来源。为得到单个的真消化率, 日粮的回肠表观消化率是通过各个地点的基础内源损失 (EndobDMI<sub>site</sub>) 和日粮的氨基酸含量 (AADietDM) 来估测的, EndobDMI<sub>site</sub> 的单位是 g/kg 采食干物质 (表 3-1), 日粮的氨基酸含量 (AADietDM) 的单位是干物质百分数。

$$SID = AID + (EndobDMI_{site} \times 10 / AADietDM) \quad (1)$$

用于稀释待测原料的无蛋白质原料成分与测定内源氮时的无蛋白质原料成分要相似, 表中校正后的 AID (Corrected AID) 值是通过 SID 和原料 AA 含量 (AAFMDM, % 干物质) 计算而得, 公式如下:

$$Corrected\ AID = SID - (EndobDMI_{site} \times 10 / AAFMDM) \quad (2)$$

下面的公式表明了校正的表观可消化氨基酸含量 (Corrected AIDC) 和 SID 含量之间的关系, 其两者的单位都是 g/kgDM:

$$Corrected\ AIDC = SIDC - EndobDMI_{site} \quad (3)$$



表 3-1 三个实验室对猪基础内源氮和氨基酸损失的测定结果 (g/kg DMI)

| 实验室名称 | A    | B    | C    |
|-------|------|------|------|
| CP    | 8.66 | 7.22 | 9.67 |
| 赖氨酸   | 0.29 | 0.24 | 0.41 |
| 苏氨酸   | 0.33 | 0.27 | 0.39 |
| 蛋氨酸   | 0.08 | 0.05 | 0.13 |
| 胱氨酸   | 0.14 | 0.11 | 0.17 |
| 色氨酸   | 0.09 | 0.09 | 0.17 |
| 异亮氨酸  | 0.26 | 0.18 | 0.33 |
| 缬氨酸   | 0.34 | 0.25 | 0.48 |
| 亮氨酸   | 0.45 | 0.30 | 0.53 |
| 苯丙氨酸  | 0.30 | 0.19 | 0.33 |
| 酪氨酸   | 0.25 | 0.14 | 0.28 |
| 组氨酸   | 0.16 | 0.10 | 0.13 |
| 精氨酸   | 0.27 | 0.22 | 0.35 |
| 丙氨酸   | 0.32 | 0.28 | 0.50 |
| 天冬氨酸  | 0.54 | 0.41 | 0.72 |
| 谷氨酸   | 0.78 | 0.52 | 0.92 |
| 甘氨酸   | 0.39 | 0.47 | 0.45 |
| 丝氨酸   | 0.35 | 0.25 | 0.38 |
| 脯氨酸   | 0.54 | ND   | 0.53 |

ND = 未检测到

### 3.2.4 配方中的数据使用

基础内源氮损失与原料的组成特性无关，它只是表达了被日粮氮所掩盖的机体分解的那部分氮损失，可消化氨基酸的标准供给使得这部分需要得到考虑。相反，原料的校正后的表观不可消化部分简单地包括了基础损失，其中没有区分日粮蛋白质的损失部分。因此，猪对标准可消化氨基酸的需要大于校正后的表观可消化氨基酸需要，这个差值至少等于基础内源损失。无论是哪种表达模式，对于最低成本配方来说，下面三种情况都会导致同样的结果：①表观消化率的校正（见上），②基础内源损失和摄入干物质的平衡理论，③假设基础损失的净合成需要不高于损失本身，这就意味着可消化氨基酸合成内源蛋白质的效率是 100%，也就是说蛋白质的代谢成本为零。

### 3.2.5 应采用标准消化率体系还是表观消化率体系？

对于所有原料来说，只要认为基础内源损失与摄入干物质严格成比例，都可将其归因于摄入干物质引起的总损失，这就意味着不管用校正的表观可消化氨基酸还是标准可消化氨基酸，都可用公式 3 客观地从一种形式转换成为另外一种形式。但有些因素，如动物采食行为、生理特性（体重、年龄等，Hess 和 Sève, 1999）、环境（Sève 等, 2000）等会影响表观消化率的校正，从而产生偏差。另外，标准消化率体系有可能考虑基础内源损失的代谢成本，而表观消化率体系则无法考虑。因此，标准消化率体系似乎比表观消化率体系更优越。