

饲料蛋白质营养价值评定方法研究

王永军 田秀娥

(陕西省畜牧兽医研究所, 咸阳, 712039)

摘要 根据“理想蛋白质”(IP)概念的基本含义, 给出了表示猪、禽 IP 氨基酸平衡模式的通用数学表达式, 提出了估计猪、禽 IP 需要量及饲料 IP 水平的估计方法, 在此基础上提出了度量饲料氨基酸平衡程度的新型化学指数——氨基酸平衡指数(IAAB)。应用 IP、IAAB 对 0~4 周龄肉用仔鸡试验资料的分析结果表明: 饲料 IP 及 IAAB 指标能够比较客观地评定饲料蛋白质的营养价值。

关键词 “理想蛋白质” 氨基酸 必需氨基酸 需要量 氨基酸平衡指数 估计方法

家禽营养学理论研究及大量试验结果表明, 粗蛋白质指标不能客观地反映饲料蛋白质的营养价值或转化效率。蛋白质的营养价值取决于其质量和数量两个方面; 蛋白质转化效率则主要取决于各种必需氨基酸的含量、平衡性及其必需氨基酸与非必需氨基酸的比例关系。因此, 如何从质量和数量两个方面客观评定饲料蛋白质的营养价值, 以期最有效地利用现有蛋白质饲料资源、提高蛋白质转化效率便成为各国学者研究的热点和难点问题。近年来, 国外一些学者先后提出了“理想蛋白质(Idea Protein, IP)”的概念, 并试图利用 IP 氨基酸平衡模式评定饲料蛋白质的营养价值。

所谓 IP, Fuller(1978) 定义为一种其营养价值不可能通过改变其氨基酸组分间的相互比例而得到提高的蛋白质。Cole(1980) 则认为是一种各种氨基酸以及供给合成非必需氨基酸的氮源之间具有最佳平衡的蛋白质; 此时, 各种必需氨基酸及合成非必需氨基酸的氮源对猪、禽具有相同的限制性, 故日粮蛋白质的转化效率最佳。目前, 关于 IP 的研究主要集中在推荐猪、禽 IP 氨基酸平衡模式及在 IP 氨基酸平衡模式指导下配制猪、禽日粮两个方面, 但对如何利用 IP 氨基酸平衡模式评定饲料蛋白质营养价值, 尤其是猪、禽 IP 需要量及饲料 IP 水平估计方法等却研究得较少。

1 “理想蛋白质”氨基酸平衡模式

根据 IP 概念的基本含义, 推荐 IP 氨基酸平衡模式的准确性是决定饲粮配制质量和饲料蛋白质利用率高低的關鍵。虽然对于不同品种以及同一品种的不同生长、生产阶段的猪、禽而言, 其 IP 组成模式及其 IP 营养需要量存在明显差异, 但其 IP 的氨基酸组成模式均包括赖氨酸(Lys)、蛋氨酸(Met)、胱氨酸(Cys)、精氨酸(Arg)、缬氨酸(Val)、苏氨酸(Thr)、色氨酸(Trp)、亮氨酸(Leu)、异亮氨酸(Ile)、组氨酸(His)、苯丙氨酸(Phe)、酪氨酸(Tyr)等 12 种必需氨基酸(EAA)及总非必需氨基酸(NEAA)。营养学上通常以 Lys、Met、Met + Cys、Arg、

收稿日期: 1996-02-19

Val、Thr、Trp、Leu、Ile、His、Phe、Phe + Tyr、NEAA 的绝对需要量与 Lys 需要量的比值数表示 IP 氨基酸组成模式(见表 1)。在本研究中,特定能量浓度日粮条件下的任何一种 IP 氨基酸组成数组中的氨基酸需要量均对应着一个 13 元的有序集合,即

$$\text{Requirement} = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_{12}, A_{13})$$

式中 $A_i (i=1, 2, \dots, 12)$ 、 A_{13} 分别表示 Lys 等 12 种必需氨基酸及非必需氨基酸的营养需要量。如果将上述 13 元有序集合中的各个元素作如下处理:

$$K_i = \frac{A_i}{A_1} \text{ 或 } K_i = \frac{A_i}{A_1} \times 100\%$$

即可得到 IP 的氨基酸平衡模式的数学表达式:

$$\text{Pattern} = (K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_{12}, K_{13})$$

一般情况下,猪、禽对非必需氨基酸的适宜需要量并不直接推荐,而是以 EAA 与 NEAA 的比值间接表示。

设 $\text{EAA} / \text{NEAA} = 1 / K$ 即

$$\frac{\sum_{i=1}^{12} A_i - A_2 - A_{11}}{A_{13}} = \frac{1}{K} \quad \text{于是有 } A_{13} = K \times \left(\sum_{i=1}^{12} A_i - A_2 - A_{11} \right)$$

$$K_{13} = \frac{K \times \left(\sum_{i=1}^{12} A_i - A_2 - A_{11} \right)}{A_1}$$

在我国目前条件下,猪、禽饲料中必需氨基酸与非必需氨基酸的比例以 50:50 较为适宜,即 $K=1$ 。

2 猪、禽对“理想蛋白质”的需要量估计

IP 与粗蛋白质是完全不同的两个概念。饲料粗蛋白质含量通常可通过凯氏定氮法进行测定,而 IP 是一种理想化的特殊蛋白质,现实中并不存在,无法进行化学测定,因此只能通过其构成中特定的氨基酸组成数据进行估计。如果将符合 IP 氨基酸平衡模式的各种独立的氨基酸含量之和的百分之一为 1 个 IP 单位,则

$$\begin{aligned} \text{IP}(\%) &= \sum_{i=1}^{12} A_i - A_2 - A_{11} + A_{13} \\ &= (K+1) \left(\sum_{i=1}^{12} A_i - A_2 - A_{11} \right) \end{aligned}$$

表 1 “理想蛋白质”的氨基酸组成模式

Table 1. Amino acid pattern of “Idea protein”

| 氨基酸 Amino acid | 需要量 Require - ment(%) | 理想比例 Idea portion |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 必需氨基酸 EAA | | |
| 赖氨酸 Lys | $A_1(1.02)$ | $K_1(1.00)$ |
| 蛋氨酸 Met | $A_2(0.37)$ | $K_2(0.36)$ |
| 蛋氨酸 + 胱氨酸 Met + Cys | $A_3(0.74)$ | $K_3(0.72)$ |
| 精氨酸 Arg | $A_4(1.07)$ | $K_4(1.05)$ |
| 缬氨酸 Val | $A_5(0.79)$ | $K_5(0.77)$ |
| 苏氨酸 Thr | $A_6(0.68)$ | $K_6(0.67)$ |
| 色氨酸 Trp | $A_7(0.16)$ | $K_7(0.16)$ |
| 亮氨酸 Leu | $A_8(1.11)$ | $K_8(1.09)$ |
| 异亮氨酸 Ile | $A_9(0.68)$ | $K_9(0.67)$ |
| 组氨酸 His | $A_{10}(0.33)$ | $K_{10}(0.32)$ |
| 苯丙氨酸 Phe | $A_{11}(0.54)$ | $K_{11}(0.53)$ |
| 苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr | $A_{12}(1.07)$ | $K_{12}(1.05)$ |
| 非必需氨基酸 NEAA | $A_{13}(7.65)$ | $K_{13}(7.50)$ |

* 括号内数字为美国 Illinois 大学推荐的肉仔鸡可消化氨基酸需要量及其“理想蛋白质”氨基酸平衡模式

以美国 Illinois 大学推荐的肉仔鸡可消化氨基酸需要量(能量浓度:3200Kcal ME / kg)及其相互比例建立肉仔鸡 IP 氨基酸平衡模式(见表 1), 通过上述公式可估计出肉仔鸡在该饲料条件下对 IP 的需要量为 15.3%。

3 饲料“理想蛋白质”水平估计

上面已给出了 IP 氨基酸平衡模式的基本框架, 但在实际生产中, 猪、禽饲料的氨基酸实际水平与我们的推荐模式并不完全一致, 因此有必要比较客观地对饲料实际氨基酸含量及平衡情况相当于 IP 的数量(即饲料 IP 水平)进行估计。为了突出主要矛盾, 简化估计方法, 本研究暂不涉及必需氨基酸之间的拮抗关系以及其它非蛋白质因子可能导致的干扰和影响, 并设定当某种必需氨基酸或非必需氨基酸总量的供给超过体内蛋白质合成的最大潜力时, 其超过部分被分解, 分解后的碳链作为畜禽的能源, 氮以尿酸的方式排出体外。

某一饲料样品以及 IP 的氨基酸组成均对应着一个 $N+1$ 元的有序集合, 即

$$\text{Sample} = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n, a_{n+1})$$

$$\text{IP}_{\text{ref}} = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n, A_{n+1})$$

$$\text{Pattern} = (K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n, K_{n+1})$$

其中, a_i, a_{n+1} 和 A_i, A_{n+1} ($i=1, 2, \dots, n$) 分别表示 12 种必需氨基酸及非必需氨基酸占样品重的百分数及理想蛋白质所推荐的营养需要量:

$$K_i = \frac{A_i}{a_i}, K_1 = 1, \text{ 令 } a_i = h_i \times A_i \text{ 则}$$

$$\text{Sample} = (h_1 A_1, h_2 A_2, \dots, h_i A_i, \dots, h_n A_n, h_{n+1} A_{n+1})$$

根据上面的论述, 样品蛋白质的各种必需氨基酸及非必需氨基酸的实际营养价值可用以下有序集合表示:

$$\text{Sample} = (\min_{i=1}^n h_i \cdot A_1, \min_{i=1}^n h_i \cdot A_2, \dots, \min_{i=1}^n h_i \cdot A_i, \dots, \min_{i=1}^n h_i \cdot A_n, \min_{i=1}^n h_i \cdot A_{n+1} + S)$$

其中 $S = \sum_{i=1}^{n+1} [(h_i - \min_{i=1}^n h_i) \cdot A_i]$ 在代谢过程被分解, 于是有:

$$\text{IPSample} = \min_{i=1}^n h_i \cdot \text{IP}_{\text{ref}} = \min_{i=1}^n \frac{a_i}{K_i} \cdot R$$

$$\text{其中 } R = \frac{\text{IP}_{\text{ref}}}{A_1} \text{ 或 } R = (K+1) \left(\sum_{i=1}^n K_i - K_2 - K_{11} \right)$$

在 Illinois 大学推荐的模式中, $R = 15.3 / 1.02 = 2 \times 7.5 = 15.0$ 。

根据饲料样品蛋白质的氨基酸组成数据, 依上述估计公式所估计的饲料 IP 水平, 不但反映了饲料实际氨基酸含量水平, 而且充分体现了各种必需氨基酸及其必需氨基酸与非必需氨基酸之间的平衡情况。因此, 饲料 IP 水平是集影响蛋白质营养价值的数量因素和质量因素为一体的综合指标, 可客观评定饲料蛋白质的营养价值。

4 蛋白质营养中氨基酸平衡的度量

4.1 度量方法

表2 饲料氨基酸平衡度估计结果

Table 2. The results of estimation on the extent of amino acid balance in different feeds

| 饲料 Feed | CS | | EAAI | | SRC | | EI | | IBD | | IAAB | |
|-------------------|-------|-----|-------|-----|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | 真值 | 序号 | 真值 | 序号 | 真值 | 序号 | 真值 | 序号 | 真值 | 序号 | 真值 | 序号 |
| | Value | No. | Value | No. | Value | No. | Value | No. | Value | No. | Value | No. |
| 参比蛋白 Ref. Protein | 1.00 | 1 | 1.00 | 1 | 100.00 | 1 | | 1 | 0 | 1 | 1.00 | 1 |
| 鱼粉 Fish meal | 0.42 | 2 | 0.99 | 2 | 68.80 | 2 | 3.20 | 2 | 0.23 | 2 | 1.00 | 2 |
| 大豆饼 Soybean meal | 0.21 | 6 | 0.52 | 3 | 62.00 | 3 | 2.63 | 3 | 0.27 | 3 | 0.43 | 6 |
| 亚麻仁饼 Flax meal | 0.29 | 3 | 0.26 | 7 | 53.49 | 5 | 2.15 | 5 | 0.32 | 5 | 0.69 | 3 |
| 芝麻饼 Sesame meal | 0.23 | 5 | 0.49 | 6 | 49.77 | 7 | 1.99 | 7 | 0.35 | 7 | 0.55 | 4 |
| 血粉 Blood meal | 0.07 | 8 | 0.25 | 8 | -31.33 | 8 | 0.76 | 8 | 0.70 | 8 | 0.22 | 8 |
| 玉米 Corn | 0.24 | 4 | 0.51 | 4 | 53.44 | 6 | 2.14 | 6 | 0.33 | 6 | 0.54 | 5 |
| 麦麸 Wheat bran | 0.20 | 7 | 0.50 | 5 | 55.13 | 4 | 2.23 | 4 | 0.31 | 4 | 0.40 | 7 |

饲料氨基酸平衡度通常用根据蛋白质的氨基酸组成数据所建立的各种化学指数 (Chemical indices, CI) 定量表示。理论上讲, 依据蛋白质的氨基酸组成数据估计的饲料 IP 水平客观地反映了饲料蛋白质的营养价值, IP 与 CP 的比值则可定量度量饲料氨基酸的平衡程度, 并进而建立氨基酸平衡度与蛋白质利用率之间严格的对应关系。据此本文定义了定量度量饲料氨基酸平衡程度的新型化学指数——饲料蛋白质的氨基酸平衡指数 (Index of Amino Acid Balance, IAAB)。

$$IAAB = IP / CP$$

4.2 IAAB 度氨基酸平衡度的客观性分析

第一个化学指数即著名的“化学分”(CS, Mitchell 和 Blak, 1946) 问世以来, 国内外学者 Oser (1951)、朱圣陶等 (1988)、葛伟文 (1992)、孙文志 (1995) 等先后提出了必需氨基酸指数 (EAAI)、氨基酸比值系数分 (SRC)、整齐性指数 (EI)、失衡度 (IBD) 等多种定量度量氨基酸平衡度的化学指数。这些化学指数在一定条件下和一定范围内都曾得以成功应用, 然而也不断地受到挑战。从数学模型本身分析, 一方面, SRC 可能出现无意义的负值 (如血粉, 见表 2), EI 存在奇点 (如参比蛋白, 见表 2); 另一方面, SRC、EI、EAAI 和 IBD 有可能对完全不同的两样品蛋白的氨基酸组成数据得出相同的氨基酸平衡度。比较而言, CS 和本文提出的 IAAB 却不存在上述弊端。

从 6 种模型所揭示的营养学实质看, 6 种模型虽均未涉及氨基酸之间的协同关系和拮抗关系以及其它非蛋白质因子可能导致的干扰和影响, 但 IAAB 考虑了必需氨基酸与非必需氨基酸的转换关系这一营养学问题, 而其它 5 种模型均未涉及这一内容, 这对建立氨基酸平衡度与蛋白质利用率之间严格的对应关系影响极大。另外, CS 和 IAAB 将饲料样品中第一限制性氨基酸作为其估计氨基酸平衡度的基本前提, 比较真实、全面地反映了影响蛋白质利用的生物学因素; EAAI、SRC、EI 和 IBD 则单纯从数理统计角度评估不同饲料蛋白质的各种必需氨基酸组成数据间存在的变异程度, 未能突出体现第一限制性氨基酸对饲料蛋白质营养价值的限制作用。上述 4 种模型因缺乏应有的营养学理论基础, 势必影响对蛋白质营养价值的客观评价。

表3 肉仔鸡试验日粮营养成份及生产性能

Table 3. Nutrient levels of experimental diets and performance of broilers

| 饲料 Diets | 试验 I Experiment - I | | | | 试验 II Experiment - II | | | |
|--|---------------------|--------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | A | B | C | D | A | B | C | D |
| 代谢能 ME(Mcal / kg) | 3.016 | 3.016 | 3.016 | 3.016 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 |
| 粗蛋白 CP(%) | 22.40 | 22.57 | 22.73 | 22.90 | 21.60 | 19.60 | 21.60 | 21.60 |
| 理想蛋白质 IP(%) | 10.67 | 12.17 | 13.67 | 15.17 | 14.25 | 14.50 | 11.87 | 13.79 |
| 日增重 Bodyweight gain(g / bird / day) | 9.50 | 11.54 | 13.79 | 14.71 | 25.07 | 25.48 | 14.37 | 19.46 |
| 日耗料 Daily feed consumption(g / bird / day) | 32.59 | 32.54 | 31.03 | 27.36 | 39.87 | 41.26 | 30.80 | 35.27 |
| 氨基酸平衡指数 IAAB | 0.4766 | 0.5435 | 0.6105 | 0.6775 | 0.6599 | 0.7369 | 0.5497 | 0.6383 |
| 蛋白质效价 PER | 1.30 | 1.57 | 1.96 | 2.35 | 2.92 | 3.15 | 2.16 | 2.55 |

6种模型对不同饲料原料的氨基酸平衡度估计结果列于表2(选用鸡的饲养标准为参比蛋白)。由表2可知,6种度量方法对饲料原料的氨基酸平衡度的度量结果及其各自系统中的排列位次差异极大,其中大豆饼、麦麸、芝麻饼和亚麻仁饼表现最为明显。但通过对饲料原料氨基酸含量原始数据的综合分析可知,IAAB对氨基酸平衡度的度量结果较其它模型更接近营养学实际。

综上所述,IAAB可比较客观地衡量饲料蛋白质的氨基酸平衡度,有助于建立氨基酸平衡度与蛋白质利用率之间严格的对应关系,其度量结果较CS、EAAI、SRC、EI和IBD客观可靠。

5 应用实例

为了验证IP和IAAB在评价饲料蛋白质营养价值方面的客观性和准确性,本研究以肉仔鸡的两次试验结果为基本分析资料,对CP、IP与生产性能及CP、IAAB与蛋白质转化效率的相关性进行了初步分析。肉仔鸡试验日粮主要营养成分及生产性能见表3,CP及IP与日增重、CP及IAAB与蛋白质效价的相关性分析结果列于表4。由表3、表4可知,肉仔鸡日粮CP水平与日增重及饲料蛋白质转化效率并不存在严格的对应关系,但随着试验日粮IP水平及IAAB指数的逐渐增加,肉用仔鸡的平均日增重及饲料蛋白质转化效率均呈明显的递增变化。经统计分析,IP与日增重(BG)、IAAB与蛋白质转化效率(PER)均呈强正相关,二者的相关系数分别为0.9867、0.9503和0.9966、0.9697。上述结果表明,饲料“理想蛋白质”水平及氨基酸平衡指数可比较客观地反映饲料蛋白质的营养价值和定量度量饲料蛋白质的氨基酸平衡程度,并有助于提高计算机优化饲料配方的科学性和准确性。

表4 相关性分析结果

Table 4. The results of analysis of correlation

| 相关系数 Correlation coefficients | 试验 I | 试验 II |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|
| | Experiment - I | Experiment - II |
| R_{CP-BG} | 0.9837 | -0.5558 |
| R_{IP-BG} | 0.9867 | 0.9503 |
| $R_{CP-FE.P}$ | 0.9961 | -0.7018 |
| $R_{IAAB-PER}$ | 0.9966 | 0.9697 |

参考文献

- 林 柏.1994.根据氨基酸的理想比例配制肉鸡日粮.国外畜牧科技,21(6):15~16
林映才,蒋宗勇.1995.氨基酸平衡饲料喂肉用仔鸡效果.中国饲料,21:11~14

- 卢德勋, 张 晔. 1989. 家畜蛋白质营养代谢研究进展. 呼和浩特: 内蒙古畜牧科学院编辑部
- 刘 星, 苏 牧. 1988. 氨基酸学说在家禽日粮配制中的应用. 饲料与畜牧, 3: 26~29
- 孙文志. 1995. 营养学中氨基酸平衡的度量. 动物营养学报, 7(1): 42~49
- 王永军, 田秀娥. 1990. 氨基酸平衡学说与蛋鸡配合饲料的评定与筛选. 中国畜牧杂志, 6: 3~5
- 吴世林, 蒋宗勇. 1995. 5~10kg 猪可消化氨基酸需要量与平衡. 动物营养学报, 7(1): 50~63
- 有吉修二郎著, 杨喜实, 李复兴等译. 1989. 氨基酸饲料学, 北京: 农业出版社
- 张爱民. 1988. 无鱼粉日粮饲喂肉仔鸡研究. 饲料与畜牧, 1: 4~8
- 朱圣陶, 吴 坤. 1988. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法. 营养学报, 10(2): 187~190

THE STUDY OF ESTIMATED METHOD OF IDEA PROTEIN LEVEL IN POULTRY AND PIGS

Wang Yongjun Tian Xiue

(Shanxi Provincial Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Xianyang, 712039)

ABSTRACT

Mathematical formula of the amino acid pattern of idea protein(IP) for poultry and pigs was proposed on the basis of meaning of IP, on these grounds, IP requirement and estimated method in feedstuffs for poultry and pigs were inferred. In order to estimate the extent of amino acid balance of protein, a new chemical index called index of amino acid balance(IAAB) was proposed too. The analysing results by IP and IAAB to the data from 0~4 week aged broilers showed the nutritional value of protein can be objectively evaluated by IP and IAAB.

Key words: Idea protein, Amino acid, Essential amion acid, Requirement, Index of amino acid balance(IAAB), Estimated method