

肉鸡营养中理想蛋白质研究方法进展

Advance of research methods for ideal protein in broiler nutrition

任继平 黄苏西
德固赛（中国）投资有限公司

摘要：本文主要介绍并比较了肉鸡营养中理想蛋白质研究的不同方法，包括文献综述法、析因法、耗竭法和梯度效应实验法。结果表明，梯度效应实验法能够更准确地测定肉鸡理想蛋白质中的氨基酸比例。

关键词：肉鸡; 理想蛋白质; 方法

Abstract: The different research methods for ideal protein in broiler nutrition, including literature review, factorial approach, deletion method and dose response study, were described and compared in this article. In conclusion, the dose response study method can be used to more accurately determine the ideal amino acid profile for broiler.

Key word: broiler, ideal protein, methods

1 理想蛋白质的基本概念

近年来，肉鸡营养研究中一个重要的进步便是“理想蛋白质”概念的发展。这个概念的一个基本观点是动物需要进食平衡的氨基酸才能有最佳的生长表现。动物吸收的任何相对于第一限制性氨基酸过量的氨基酸均会被氧化并以氮的形式排出体外。因此，需要利用“理想蛋白质”概念，优化日粮中的氨基酸配比，使动物获得最佳的氮利用效率。“理想蛋白质”概念的一个实际应用就是通过低蛋白质日粮中添加合成氨基酸，平衡氨基酸之间的比例，使动物获得与采食高蛋白日粮相同的生长表现。“理想蛋白质”概念的另外一个基本的观点是在不同饲养条件下，动物对各种必需氨基酸的绝对需要量变化较大，但是氨基酸之间的比例相对恒定。因此，当饲养条件发生变化时，仅仅评估一种基准氨基酸（通常是赖氨酸）的需要量，其他氨基酸的需要量可以通过已知的理想蛋白比例进行简单的计算获得。目前“理想蛋白质”概念中，仅考虑了必需氨基酸之间的配比，然而，必需氨基酸和非必需氨基酸之间的比例（尤其是在低蛋白质日粮中）也逐渐引起了人们的注意。

2 赖氨酸是基准氨基酸

猪营养研究中，将赖氨酸作为基准氨基酸，主要原因是猪日粮中赖氨酸通常是第一限制性氨基酸。然而，普通肉鸡日粮中，蛋+胱氨酸为第一限制性氨基酸，研究人员仍然将赖氨酸作为基准氨基酸，主要原因如下：

（1）赖氨酸主要用于肉鸡体蛋白沉积，其需要量基本不受其他代谢活动（维持需要）或羽毛生长的影响（图 1），而蛋+胱氨酸却受后者影响较大；（2）赖氨酸和其他氨基酸之间不存在相互的代谢转化关系，然而，肉鸡能够将蛋氨酸

转化为胱氨酸，却不能将胱氨酸转化为蛋氨酸；（3）赖氨酸的分析方法要比蛋氨酸尤其是胱氨酸容易很多。

3 肉鸡营养中理想蛋白质的研究方法

3.1 文献综述法

文献综述法是将可以查阅到的测定肉鸡单个氨基酸需要量的实验研究结果进行综合，得到最佳的氨基酸需要量，然后将他们之间的比值作为理想蛋白质中氨基酸的比例。然而，由于实验条件不一致（如环境、气候、鸡舍、日粮等），许多因素均会影响到氨基酸之间最佳比例的准确性。NRC(1994)就是这种方法的一个典型例子，虽然其并没有将各种氨基酸与赖氨酸的理想比例明确列出。

3.2 析因法

析因法是将肉鸡对氨基酸的需要量分为体蛋白沉积、羽毛蛋白沉积和维持需要三部分。通过对肉鸡屠宰后体成分进行化学分析得到体蛋白和羽毛蛋白沉积所需的净氨基酸量，然后再与所吸收氨基酸的利用效率相除即获得相应部分的可消化氨基酸的需要量。当肉鸡体重维持平衡状态时，所测定的对氨基酸的需要量便是维持部分需要量。如果获得肉鸡体蛋白和羽毛蛋白生长净氨基酸需要量，所吸收氨基酸的利用效率和维持需要的氨基酸量这些数值，便可计算出肉鸡对每种可消化氨基酸的总需要量。

表 1 不同研究机构和人员推荐的肉鸡育雏阶段的理想蛋白模式

来源	NRC(1994)	GfE(1999)	Baker(1994)	Baker 等 (2002)	Gruber(1999)
方法	文献综述 法	析因法	析因法	剂量效应实 验法	耗竭法
氨基酸基础	总氨基酸	总氨基酸	真可消化氨 基酸	真可消化氨 基酸	真可消化氨 基酸
肉鸡性别	混养	混养	雄性	雄性	混养
日粮赖氨酸含量, %	1.10	1.09	1.12	1.03	未描述
与赖氨酸的比例（赖氨酸设为 100）					
蛋氨酸	46	36	36	—	37
蛋+胱氨酸	82	71	72	—	70
苏氨酸	73	67	67	56	66
色氨酸	18	16	16	17	14
精氨酸	114	108	105	—	108
异亮氨酸	73	69	67	61	63
亮氨酸	109	112	109	—	108
缬氨酸	82	96	77	78	81
苯丙+酪氨酸	122	118	105	—	121
组氨酸	32	32	35	—	38

表 2 不同研究机构和人员推荐的肉鸡育成阶段的理想蛋白模式

来源	Schutte(1996)	NRC(1994)	GfE(1999)	Baker(1994)	Mack 等 (1999)
方法	文献综述法	文献综述法	析因法	析因法	剂量效应实

氨基酸基础	表观可消化氨基酸	总氨基酸	总氨基酸	真可消化氨基酸	验法 真可消化氨基酸
肉鸡性别	混养	混养	混养	雄性	雄性
日粮赖氨酸含量, %	1.02	1.00	0.92	0.89	1.15
与赖氨酸的比例 (赖氨酸设为 100)					
蛋氨酸	38	38	38	37	-
蛋+胱氨酸	73	72	87	75	75
苏氨酸	65	74	76	70	63
色氨酸	16	18	17	17	19
精氨酸	105	110	117	105	112
异亮氨酸	66	73	78	67	71
亮氨酸	-	109	125	109	-
缬氨酸	80	82	109	77	81
苯丙+酪氨酸	-	122	137	105	-
组氨酸	-	32	33	32	-

图 1 7~63 日龄肉鸡用于体蛋白、羽毛蛋白以及维持的赖氨酸净需要量

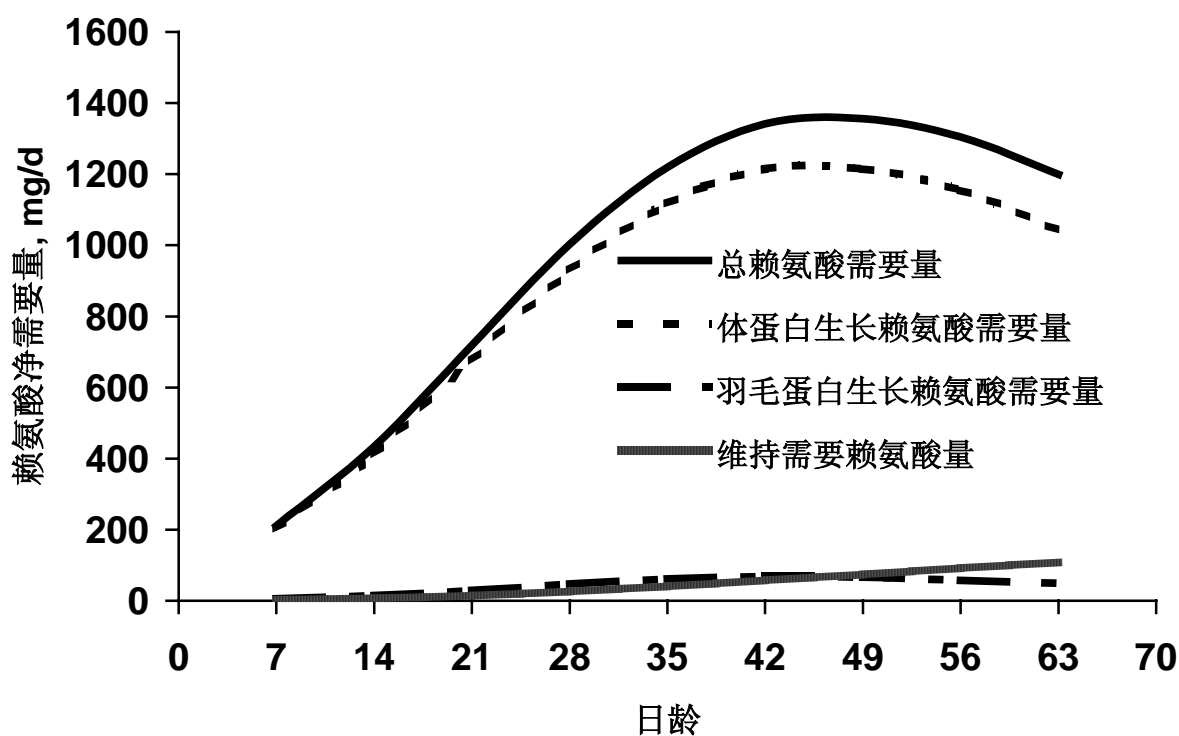


图 2 7~63 日龄肉鸡用于体蛋白、羽毛蛋白以及维持的蛋+胱氨酸净需要量

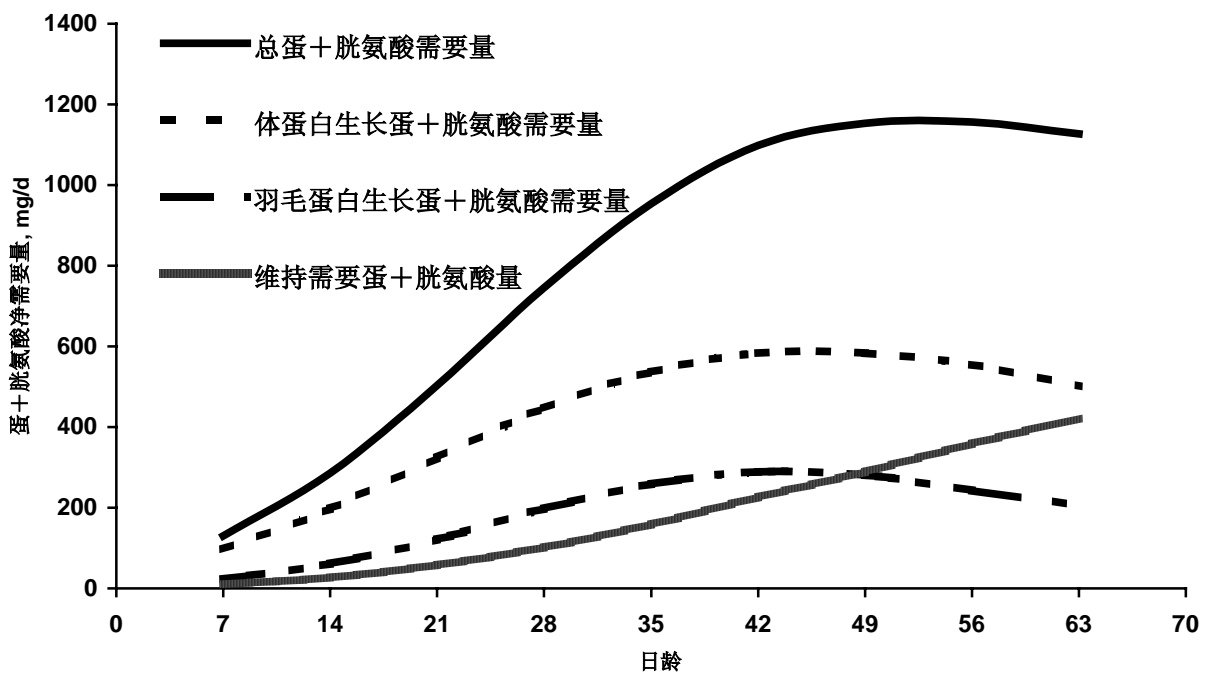
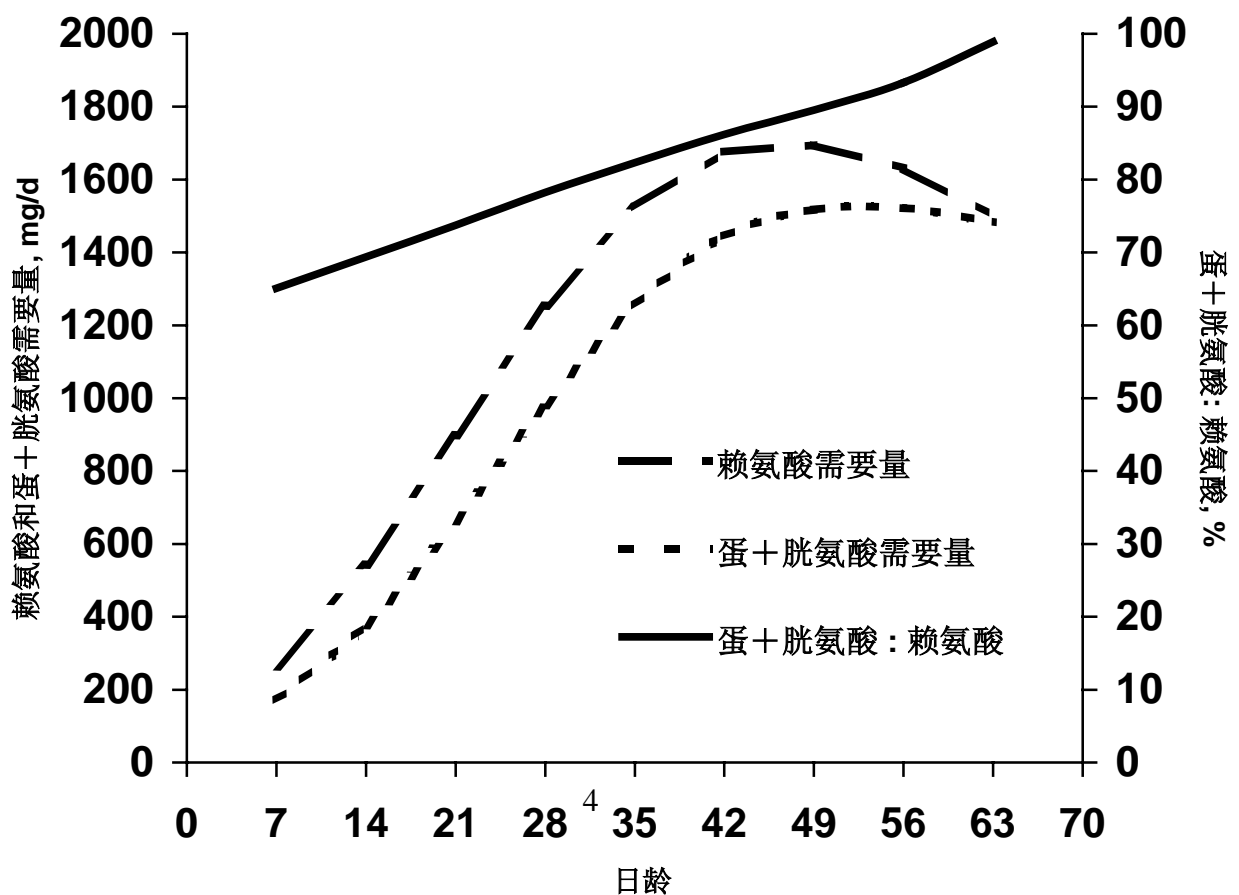


图 1~2 描述了肉鸡在生长过程中对赖氨酸和蛋+胱氨酸净需要量的变化趋势。肉鸡对赖氨酸和蛋+胱氨酸总的净需要量基本相似，但分别用于体蛋白、羽毛蛋白沉积和维持各个部分的净需要量相差很大。赖氨酸主要用于体蛋白沉积，然而，蛋+胱氨酸却有很大一部分用于羽毛蛋白沉积和维持需要，而且维持需要所占的比例随肉鸡日龄的增加而提高。这再次表明与蛋+胱氨酸相比，赖氨酸作为理想蛋白研究中基准氨基酸的优势。

图 3 7~63 日龄肉鸡对可消化赖氨酸和蛋+胱氨酸的需要量以及他们之间的最



佳比例

图 3 描述了肉鸡在生长过程中对可消化蛋+胱氨酸和赖氨酸的需要量以及他们之间比例的变化趋势。其中净氨基酸和可消化氨基酸需要量之间转化时所采用的氨基酸的利用效率是依据 Baker (1991) 的推荐值, 即赖氨酸的利用效率为 80%, 蛋+胱氨酸的利用效率为 76%。研究中, 假设了每种氨基酸的利用效率是恒定的, 这种假设有时会受到了人们的质疑, 因为通常肉鸡吸收的氨基酸越接近其需要量, 就会有越多的氨基酸被氧化, 氨基酸的利用效率也会逐渐降低。而在实际生产中, 肉鸡日粮中的氨基酸含量通常是非常接近甚至超出其需要量的。

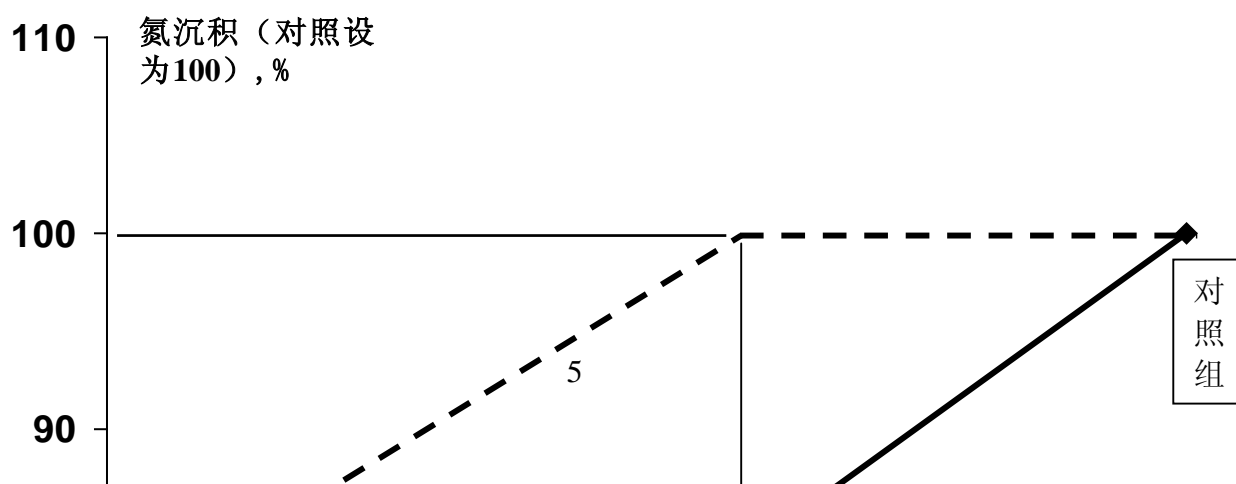
由图 3 可以看出, 肉鸡对可消化蛋+胱氨酸和赖氨酸的需要量以及他们之间的比例均随肉鸡的年龄发生变化。肉鸡对可消化蛋+胱氨酸与赖氨酸之间的理想比例在 7 日龄时为 65%, 到 63 日龄时增长到 99%, 这主要是由于蛋+胱氨酸用于维持需要增加导致的。需要引起注意的是, NRC (1994) 推荐的蛋+胱氨酸和赖氨酸之间理想比例在肉鸡育雏阶段为 82%, 到育成阶段反而下降为 72%, 这再次表明文献综述法的缺点。其他必需氨基酸的理想比例, 也会随着肉鸡年龄的增长而发生改变。表 1 列出了通过析因法测定的肉鸡理想蛋白模式中各种必需氨基酸之间的比例 (Baker,1994; GfE,1999)。

需要指出的是, Baker (1994) 报道的理想蛋白比例是以可消化氨基酸为基础的, 而 GfE (1999) 以总氨基酸为基础。不同饲料原料的氨基酸消化率不同, 饲料原料消化过程的损失可能会造成日粮中的氨基酸模式与到达体组织的氨基酸模式的差别, 而后者对动物才是真正重要的。所以, 理想蛋白中氨基酸之间的比例应该以可消化氨基酸为基础。

3.3 耗竭法

最近, 研究人员开始通过最初用于猪研究中的耗竭法进行肉鸡的理想蛋白研究 (Gruber, 1999; Gruber 等, 2000)。耗竭法依据的原理是, 当降低日粮中的非限制性氨基酸含量, 动物的氮沉积不会改变。利用降低日粮中某种氨基酸含量导致的氮沉积变化, 测定肉鸡的理想蛋白模式。在达到理想蛋白模式时。所有的氨基酸均具有同等的限制性, 即所有的氨基酸都是限制性氨基酸, 降低任何一种氨基酸含量时, 均会引发氮沉积的降低。图 4 说明了这一原理, Gruber 等 (2000) 也解释了具体的实验过程。

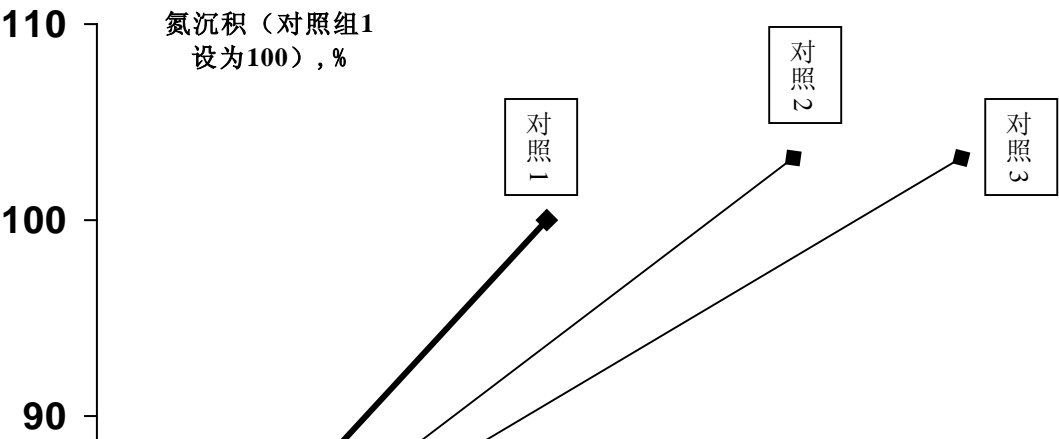
图 4 耗竭法测定理想蛋白质模式的原理和方法



耗竭法的计算要依据肉鸡对对照组日粮和被检测日粮的氮沉积反应变化。与剂量效应方法不同的是，耗竭法研究中的对照组是正对照即不缺乏任何一种氨基酸，且这些氨基酸的水平均被设为 100%。测试日粮与对照日粮唯一的区别是被测氨基酸的含量相应的降低了一定的百分含量。图 4 的例子中，对照组日粮中赖氨酸和蛋+胱氨酸含量分别为 0.95%（设为 100%）和 0.81%（设为 100%），两组待测日粮中赖氨酸和蛋+胱氨酸的含量分别被降低了 20%和 35%，即被降低到 0.76%和 0.53%。

对照组肉鸡氮沉积效率为 56.2%（也被设为 100%）。本方法中一个重要的假设是肉鸡氮沉积对所有必需氨基酸的回归反应直线部分的斜率均相同。依据该假设，可以在 X 轴找到一个对应的点，当某种氨基酸含量由对照组含量降低到该值时，对氮沉积没有影响，继续降低其含量，才开始影响氮沉积。因此，如图 4，当蛋+胱氨酸的含量降低到对照组水平的 83%时，仍然没有改变氮沉积。对照组日粮中蛋+胱氨酸含量为 0.81%，因此本实验测定的最佳蛋+胱氨酸含量应为 $0.81\% \times 83\% = 0.67\%$ ，蛋+胱氨酸与赖氨酸的最佳比例为 $0.67\%:0.95\% = 71\%$ ，即当蛋+胱氨酸与赖氨酸的比例为 71%时，肉鸡可以获得最佳的氮沉积，并可避免日粮中的蛋+胱氨酸的过量。这种方法测定的理想蛋白模式也列于表 1（Gruber 等，2000）。

图 5 理想蛋白质耗竭法研究中正对照组的重要性



由于耗竭法中被测氨基酸与氮沉积的反应直线的斜率要依据赖氨酸反应直线斜率确定，因此对赖氨酸反应直线的建立要非常谨慎。赖氨酸反应直线仅由两点确定，一旦对照组日粮中赖氨酸含量超出肉鸡氮沉积反应的线性范围，所得到的斜率就会降低，最终影响整个理想蛋白模式的建立。图 5 中，仅对照组 1 中的赖氨酸含量才在线性反应范围，对照组 2 和对照组 3 中，赖氨酸的含量均超出了线性反应范围，降低了斜率。因此，对照组日粮中赖氨酸含量必须在线性反应范围内。

该方法中关于肉鸡氮沉积对所有必需氨基酸的线性反应的斜率均相同的假设，经常会受到研究人员的质疑，因为图 1 已经表明，不同的氨基酸对于肉鸡体蛋白、羽毛蛋白沉积和维持需要三方面的贡献是不相同的，所以肉鸡氮沉积对各个必需氨基酸的线性反应斜率也会有些区别。

3.4 梯度效应实验

文献综述法的缺点是将一些实验设计和条件不一致的数据人为的综合在一起；析因法的弱点是对所吸收氨基酸利用效率恒定不变的假设；耗竭法的缺陷是对肉鸡氮沉积对所有必需氨基酸的回归反应直线部分的斜率均相同的假设。通过同时进行的梯度效应实验可以避免这些问题。肉鸡对氨基酸的需要量包括氨基酸的利用效率可以通过其生长表现得到综合体现。而且，实验条件如饲料成分、饲料原料或环境等都可尽量保持一致。各个实验之间唯一的区别是实验日粮中待测氨基酸的含量。另外，其他指标如饲料转化效率或胸肌产量也能同时得到评估。

图 6 肉鸡增重对日粮中逐渐增加的可消化赖氨酸含量的反应模型

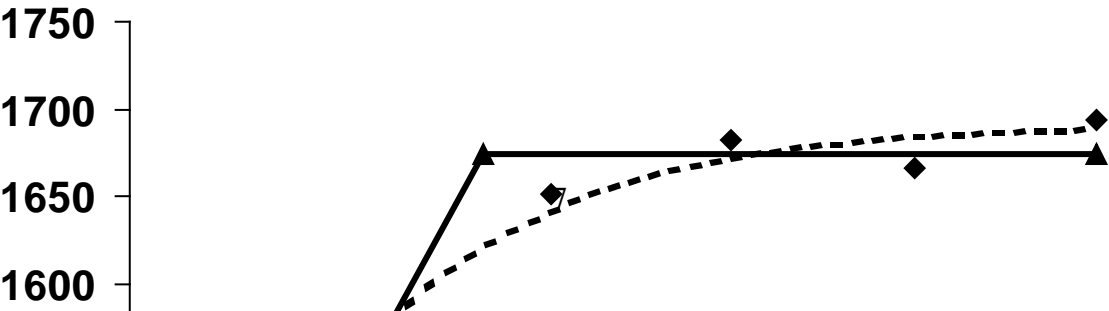
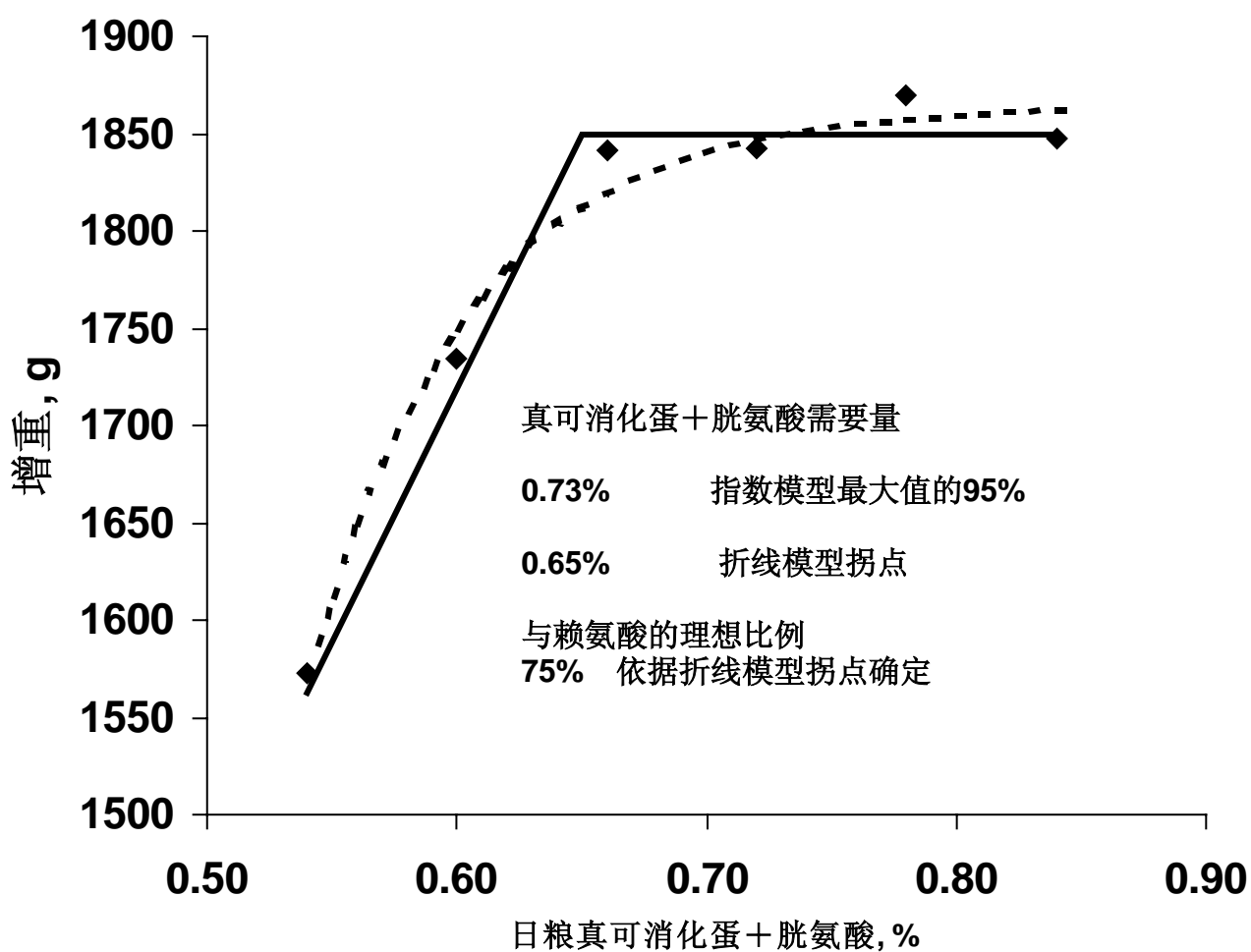


图 7 肉鸡增重对日粮中逐渐增加的可消化蛋+胱氨酸含量的反应模型



Mack (1999) 利用雄性肉鸡 (20~40 日龄), 分别对赖氨酸、蛋+胱氨酸、苏氨酸、精氨酸、异亮氨酸和缬氨酸进行了一系列梯度效应实验。图 6 和图 7 表明, 肉鸡的增重会随着日粮中赖氨酸和蛋+胱氨酸的增加明显提高。这种反应是非线性的, 所以应该以指数模型而不是以直线 (折线) 模型分析其氨基酸需要量, 折线模型通常会低估肉鸡最佳的氨基酸需要量。当采用指数模型时, 经常将动物生长表现达到最大值 95% 点所对应的氨基酸需要量作为最佳值。但是, 95% 这个数值是人为选定的, 对其作出任何改变, 都会对最终的需要量推荐值产生明显的影响。例如, 图 6 中, 将所选定的点由最大值的 95% 提高到 99%, 肉鸡 (罗斯 208) 最佳的可消化赖氨酸含量由 1.02% 升高到 1.17%。在实际中, 研究人员可以根据不同的要求, 利用指数模型, 选取最大反应值不同的百分比, 灵活的确定赖氨酸需要量。

折线模型的拐点会低估赖氨酸需要量, 但是由于折线模型的拐点确定的氨基酸水平在肉鸡剂量效应反应非常敏感的范围, 因此, 利用其确定理想蛋白质中各种氨基酸与赖氨酸之间的最佳比例要比指数模型准确。然后, 与指数回归分析测定的赖氨酸最佳需要量进行折算, 可以获得其他必需氨基酸的需要量。图 7 中, 描述了肉鸡 (罗斯 208) 增重对日粮不同梯度蛋+胱氨酸含量的反应过程。在图 7 的折线模型中, 蛋+胱氨酸的拐点为 0.65%, 赖氨酸的拐点为 0.86%, 所以蛋+胱氨酸与赖氨酸的最佳比例为 $0.65\%:0.86\%=75\%$ 。

Mack (1999) 通过研究发现, 肉鸡最佳的真可消化赖氨酸水平为 1.15%。这个数值反应了肉鸡获得最佳的饲料转化效率时所需的赖氨酸含量, 是通过指数回归模型最大值的 95% 点计算得到的。然而, 利用指数模型, 我们可以选取最大值的任何百分比的数值, 而且, 利用指数模型, 还可以结合经济指标, 计算获得最大利润的日粮赖氨酸水平 (Pack 和 Schutte, 1995; Hohler, 2000)。

参考文献

- Baker, D. H. (1994): Ideal amino acid profile for maximal protein accretion and minimal nitrogen excretion in swine and poultry. Proceedings Cornell Nutrition Conference, 56th Meeting, 18.-20. October, Rochester, New York, USA: 134-139.
- Baker, D. H., A. B. Batal, T. M. Parr, N.-R. Augspurger and C. M. Parsons (2002): Ideal Ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. Poultry Science 81: 485-494.
- GfE (1999): Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). DLG Verlag, Frankfurt a.M., Germany.
- Gruber, K. (1999): Experimentelle Untersuchungen zum idealen Aminosäurenverhältnis in der Broilerfütterung. Doctoral thesis, Institute of Nutrition Physiology of the Technical University of Munich, Germany.
- Gruber, K., F. X. Roth and M. Kirchgesner (2000): Effect of partial dietary amino acid deductions on growth rate and nitrogen balance in growing chicks. Archiv für Geflügelkunde 64 (6): 244-250.

- Hoehler, D. (2000): Evaluation of amino acid dose-response data and implications for commercial formulation of broiler diets. AminoNewsTM 1 (1): 9-16.
- Mack, S., D. Bercovici, G. de Groote, B. Leclercq, M. Lippens, M. Pack, J. B. Schutte and S. van Cauwenberghe (1999): Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. British Poultry Science 40: 257-265.
- NRC (1994): Nutrient requirement of poultry - Ninth revised edition. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Pack, M. and J. B. Schutte (1995): Sulfur amino acid requirement of broiler chicks from fourteen to thirty-eight days of age - 2. Economic evaluation. Poultry Science 74: 488-493.
- Schutte, J. B. (1996): Amino-zurenbehoefte von leghennen en vleeskuikens. CVB (Centraal Veevoederbureau) documentatiereportnr. 18.