

苏氨酸在家禽营养中的研究与应用进展

邝声耀, 唐凌, 张纯, 曾礼华

(四川省畜科饲料有限公司, 四川省畜科院动物营养研究所, 成都 610066)

摘要: 苏氨酸是家禽维持和生长所必需的氨基酸, 大量试验结果证明, 苏氨酸对不同生长阶段和生产目的的家禽都有营养功能。作者综述了苏氨酸的生化特性, 在家禽体内的代谢途径、生物学作用、营养需要量、缺乏症及与赖氨酸的相互作用。

关键词: 苏氨酸; 家禽; 营养; 氨基酸平衡

中图分类号: Q517

文献标识码: A

文章编号: 1671-7236(2005)11-0019-04

近年来, 随着赖氨酸(Lys)、蛋氨酸(Met)在配合饲料中的广泛应用, 苏氨酸逐渐成为影响家禽生产性能的主要限制性因素, 是家禽饲料中继蛋氨酸、赖氨酸之后的第三限制性氨基酸。适当添加苏氨酸可以更好地平衡家禽日粮氨基酸, 使氨基酸比例更接近于理想蛋白模式, 从而降低家禽对饲料中蛋白质含量的要求。尤其是工业生产的晶体苏氨酸大量面世, 人们对苏氨酸的进一步研究与应用, 有助于有效地指导家禽生产。

1 生化特性

苏氨酸是由 Rose 和 Mccoy 等在 1935 年从纤维蛋白水解中分离和鉴定出的, 其结构类似苏糖, 故将其命名为苏氨酸。苏氨酸(α -氨基酸- β -羟丁酸)分子中具有两个不对称碳原子, 分子式为 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, 分子量为 119.18, 存在着 L 及 D 等 4 种异构体, 但只有 L-苏氨酸具有生物学活性。L-苏氨酸为无色结晶或结晶性粉末, 有时微黄, 无臭微甜, 可溶于水, 20℃时的溶解度为 20 g/100 ml, 难溶于有机溶剂, 熔点 253~257℃; DL-苏氨酸为斜方晶, 系无色或白色结晶粉末, 溶于水, 不溶于醇和氯仿等有机溶剂, 易被碱破坏, 熔点 229~

230℃。

对苏氨酸需要量的首批研究发表于 20 世纪 60 年代及 70 年代初, 但直到 80 年代, 人们对这一必需氨基酸营养价值的认识才有了突破, 这促进了苏氨酸工业化生产的成功。

饲料级—苏氨酸生产所用的原料是各种糖(如糖蜜和淀粉水解物)、蛋白物(如豆饼)、生物素, 以细菌发酵生产。生产所用的细菌主要是大肠埃希氏菌(*escherichia coli*), 工业化生产的 L-苏氨酸是含量为 98% 的制品, 其营养消化利用率为 100%。

2 代谢途径

苏氨酸是畜禽体内代谢过程中唯一不经过脱氨基和转氨基作用(Blanchard 等, 1944; Cammarata 等, 1950; Struck 等, 1950)的氨基酸, 它通用苏氨酸脱水酶、苏氨酸脱氢和苏氨酸醛缩酶催化转变为其他物质(伍喜林, 1993)。在正常饲喂时, 有 87% 的苏氨酸通过苏氨酸脱氢酶降解; 在限制饲养或饥饿条件下, 苏氨酸脱水酶在催化降解中起主要作用(Bird, 1983)。苏氨酸最终通过琥珀酰 CoA、丝氨酸和甘氨酸参与体内代谢过程。猪对游离苏氨酸的吸收比结合苏氨酸速度快(Yen, 1991), 血液和肌肉组织中苏氨酸浓度与苏氨酸摄入量有直接相关。

3 生物学作用

3.1 平衡氨基酸、促进蛋白质沉积 苏氨酸可转变

收稿日期: 2005-09-12

作者简介: 邝声耀(1955-), 男, 四川人, 研究员, 主要从事安全饲料添加剂的研究与应用。

参 考 文 献

- 1 沈慧乐, 等. 中国动物营养学报, 1991, 3(2): 1~6.
- 2 侯水生, 等. 畜牧兽医学报, 1994, 25(6): 497~506.
- 3 Gallaher D, et al. Nutritional and metabolic response to plant inhibitors of digestive enzymes, In: Nutritional and toxicological significance of enzyme inhibitors in foods, Friedman M (Ed) Plenum Press, New York, USA, 1986, 167~185.
- 4 Hasdai A, et al. Br J Nutr, 1986, 62: 529~537.
- 5 Hasdai A, et al. J Nutr, 1983, 113: 662~668.
- 6 Huisman J, et al. Nutrition Abstracts and Reviews, 1991, 61: 901~921.
- 7 Kakade M L, et al. J Dairy Sci, 1976, 59: 1484~1489.
- 8 Kakade M L, et al. J Nutr, 1969, 99: 34~42.
- 9 Kakade M L, et al. Cereal Chem, 1969, 46: 518~526.
- 10 Naim M, et al. Br J Nutr, 1982, 47: 281~288.
- 11 Sese B T, et al. Journal of Applied Animal Research, 1996, 9(1): 89~93.
- 12 Struthers B J, et al. J Nutr, 1983, 113: 86~97.

成丁酰辅酶 A、琥珀酰辅酶 A、丝氨酸、甘氨酸等,在日粮中添加适量的苏氨酸,可消除因赖氨酸过量造成的体增重下降,肝脏、肌肉组织中蛋白质/脱氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)/DNA 比值降低。也可减轻色氨酸或蛋氨酸过量引起的生长抑制。Teckell 等(1967)报道,鸡对苏氨酸的吸收大部分在十二指肠,小部分被嗉囊和腺胃吸收,吸收后的苏氨酸迅速转变成肝脏蛋白质,标记的苏氨酸分子有相当部分转变为其他氨基酸,特别在日粮氨基酸不平衡时更为明显。

3.2 提高采食量 苏氨酸的一个重要作用是它对家禽采食量的影响。Cole 等(1983)报道,在家禽获得最佳生产性能前,随苏氨酸水平的提高,采食量逐渐增加并达到高峰,动物在达到最佳生产性能时,采食量降至极限区;试验对苏氨酸影响肉鸡采食量的研究表明,苏氨酸对采食量有一定的调节作用,肉鸡采食量和日增重随苏氨酸水平的升高而增加,但超过 0.748% 时采食量和日增重又开始下降。Rossell 等(1985)用肉鸡研究结果表明,苏氨酸超过最大需要量时,随苏氨酸水平的升高,采食量和日增重持续下降,苏氨酸过少或过多都会降低采食量和日增重。还有研究发现,苏氨酸有降低大脑中色氨酸和 5-羧吲哚乙酸的作用,从而影响动物的神经调节,这可能与苏氨酸阻碍 Trp 进入大脑有关。

3.3 免疫作用 在机体的免疫系统中,抗体、免疫球蛋白都是蛋白质,苏氨酸缺乏会抑制免疫球蛋白及 T、B 淋巴细胞的生产从而影响免疫功能。在禽类免疫球蛋白分子中,苏氨酸是主要的限制性氨基酸,添加苏氨酸可提高雏鸡对新城疫病毒的抗体效价,缺乏苏氨酸动物表现出对肿瘤和疟原虫敏感。Kelley 等(1987)研究认为,家禽对苏氨酸需要量较高,可能与免疫球蛋白中苏氨酸含量高有关,给饲喂含有高粱的日粮添加苏氨酸,可以防止血浆中 IgG 含量的减少。在试验动物日粮中添加苏氨酸和赖氨酸,胸腺重量增加,并且增强皮肤对异源移植的排斥和对绵羊红细胞的抗体效价(Cuaron, 1984)。和赖氨酸相比,苏氨酸是一种较多用于维持的氨基酸,它和免疫反应有密切关系。已知鸡的 γ -球蛋白含有高水平的苏氨酸(Tenenhouse 等, 1966),而 γ -球蛋白是血清中主要的免疫球蛋白(抗体)。Bhargava 等(1971)发现感染新城疫的来航鸡产生最大抗体反应需要的苏氨酸水平高于最佳生长需要的苏氨酸(0.70%)。在 Dozier 等(2001)的研究中,把日粮苏氨酸水平从 0.63% 提高到 0.74%,显著降低了 6~

8 周龄肉公鸡的猝死综合征发生率($P < 0.05$)。

4 营养需要量

4.1 鸡对苏氨酸的需求量 不同品种的鸡因其生产性能、年龄、性别不同而对苏氨酸的需求量不同,即使同一品种、年龄、性别的鸡对苏氨酸需求量也不尽相同。不同年龄的肉鸡、蛋鸡的推荐用量见表 1、2。Kirchgessner 等(1995)报道,28 日龄的白来航产蛋鸡 Lys 与 Thr 的最佳配比为 100:74。

表 1 肉鸡苏氨酸的需要量

日龄	苏氨酸总量(%)		可消化苏氨酸(%)	
	公	母	公	母
1~22	0.86~0.92	0.73~0.80	0.73	0.62
23~42	0.67~0.70	0.67~0.70	0.57	0.57
43~56	0.56	0.56		

表 2 蛋鸡苏氨酸的需求量

周龄	NRC	推荐量(%)
32~42	470 mg/d	0.35

4.2 不同生长阶段的鸡苏氨酸需要量

4.2.1 小鸡 Rosa 等(2001)发现,1~18 日龄来航型海兰 W-36 公雏对增加的苏氨酸水平没有反应,显示其苏氨酸需要量为 0.63%,而且显著低于 AA 肉鸡。经典型 AA 肉鸡的苏氨酸需要量为 $0.68\% \pm 0.01\%$ ($R^2 = 0.52$),高产型为 $0.69\% \pm 0.01\%$ ($R^2 = 0.62$)。

4.2.2 中鸡 NRC(1994)推荐肉中鸡苏氨酸需要量为 0.74%。Webel 等(1996)用 3~6 周龄 Ross × Hubbard 肉公鸡所做的试验结果显示,如果以最佳饲料转化率的 90% 为标准,那么,可消化苏氨酸的需要量为 0.61% (相当于 0.70% 的苏氨酸)。如果以增重、料肉比和胸肉产量为指标,苏氨酸的需要量分别为 0.70%、0.70% 和 0.78% (Kidd 等, 1997)。李艳铃等(2000)研究了 3~6 周龄艾维因肉鸡(公母混饲)苏氨酸和色氨酸的需要量,发现苏氨酸和色氨酸存在交互作用,作者推荐的苏氨酸和色氨酸水平分别是 0.66% 和 0.18%~0.19%。

4.2.3 大鸡(6 周以上) NRC(1994)对此阶段肉鸡苏氨酸的推荐量不是基于试验而是基于电脑模拟。自此以后,试验测定的肉鸡苏氨酸需求不断见于报道。Webel 等(1996)以增重和 FCR 为因变量,测定 7~8 周龄 Ross × Hubbard 肉公鸡的可消化苏氨酸需要量为 0.52% (相当于 0.60% 的总苏氨酸)。但是, Kidd 等(1997)测定同期同种基因型的肉公鸡,发现以增重和 FCR 为指标,总苏氨酸的需要量为 0.67%。Dozier 等(1999)以增重、FCR 和胸肉产量为指标,发

现6~8周龄 Ross×Hubbard 肉公鸡的总苏氨酸需要量分别为0.68%、0.67%和0.70%。Kidd等(1999)也发现,以胸肉产量为因变量,苏氨酸的需要量大于以最佳增重和FCR为指标的需要量。从经济学角度观察,利润和总苏氨酸水平之间的关系为:

$$y = -2.303 + [0.73]x - 7.722x^2$$

式中y为扣除成本后的利润,x为饲料中总苏氨酸水平

最大利润的苏氨酸需要量与最大增重和最佳胴体组成的苏氨酸需要量凑巧相等。Dozier等(2001)的研究结果显示,以增重、采食量和FCR为因变量,Ross508肉鸡苏氨酸的需要量为:公鸡0.74%,母鸡0.63%。

4.3 热应激时苏氨酸需要量 热应激是导致较大体重肉鸡死亡的重要因素。热应激时优化饲料中苏氨酸水平可改善肉鸡生长(Waldroup等,1976),因此,研究夏季高温时肉鸡对苏氨酸的需要量对肉鸡生产具有重要意义。

在27.4~41.6℃条件下饲养0~3和3~6周龄的AA(公母混饲),当饲料苏氨酸水平0.89%和0.78%时,生产性能最佳,随着饲料中苏氨酸水平的提高,胴体品质和成活率也得到改善(Chung等,1996)。Dozier等(2000a)研究了6~8周龄Ross肉鸡在夏季热应激(30.0±2.9℃)情况下苏氨酸的需要量,结果是:以最佳FCR为因变量,苏氨酸的需要量为0.62%。Kidd等(2000)研究热应激条件下(24~31℃)3~8周龄有2个水平赖氨酸(107%和121%NRC推荐量)。3~8周龄,饲料有3个水平苏氨酸(85%、95%和105%NRC推荐量)和两个水平的支链氨基酸(满足NRC或不满足NRC)。虽然饲料苏氨酸水平和肉鸡的生长表现及胴体品质没有显著相关,但是对比赖氨酸、苏氨酸和支链氨基酸充足和不足的试验组发现,前者肉鸡死亡率显著低于后者(Kidd等,2000)。Ojano-Diran等(2000)试验显示,在轻度热应激条件下(26.7℃),提高饲料赖氨酸水平时同时提高苏氨酸水平,能够使胸肉产量增加(P<0.01)。

4.4 性别与苏氨酸需要量 Dozier等(2001)比较6~8周龄Ross508肉鸡苏氨酸的需要量。试验结果显示,在这个阶段,公鸡的苏氨酸需要量为0.74%,母鸡的苏氨酸需要量为0.63%。但Rose等(2002)发现0~18日龄的高产型AA肉鸡无论公母,其苏氨酸需要量都为0.71%。

4.5 影响苏氨酸需要量的因素

4.5.1 日粮的可利用性 影响禽类苏氨酸需求量的因素很多,其中一个最重要的因素是日粮中苏氨酸的可利用性,不同日粮苏氨酸消化率不同,如以玉米、花生饼粉为主的基础日粮,其苏氨酸消化率为81%,而以玉米、小麦和高粱为主的基础日粮其苏氨酸消化率为84.5%。另外苏氨酸的利用率因加工处理条件等不同而有差异,因此按NRC营养标准所制订的饲料配方易出现苏氨酸缺乏,鸡日粮按可消化苏氨酸设计配方,将有益于饲料利用,减少氮的排泄量。

4.5.2 蛋白质水平 苏氨酸的一个重要作用是平衡氨基酸,促进蛋白质合成。蛋白质水平是影响苏氨酸需求参数的一个重要因素,在高蛋白质日粮中添加苏氨酸,对动物没有效果(Cuac等,1982),原因可能是高蛋白质日粮中各种氨基酸已满足动物生长和生产需要,并由于苏氨酸的过多导致采食量明显降低(Henry,1983)、饲料转化率降低。而在低蛋白质日粮中添加苏氨酸,则可显著提高肉用仔鸡的生长速度和饲料转化率,提高蛋鸡产蛋量。因此,鸡日粮中苏氨酸的需求量受日粮蛋白质水平影响。Rangel(1994)证明,肉用仔鸡的苏氨酸需求量与日粮粗蛋白质含量相关,当蛋白质超过需求时苏氨酸的需求量会降低。

4.5.3 环境温度 在高温环境条件下,肉鸡会发生生理上和代谢上的变化,从而导致采食量和生长速度的下降及胴体品质的改变。Wallis等(1984)已证明在热条件下配合日粮中氨基酸转化率下降。在日粮中补充苏氨酸,对于热应激非常有益。马英等(1996)报道,高温环境下添加苏氨酸不但可以提高肉用仔鸡屠宰后的总肉量、胸肉和腿肉及胴体等级评分,且随日粮苏氨酸水平增加呈显著性提高。

4.5.4 氨基酸及其他因素 由于苏氨酸与其他氨基酸之间存在协同或颀颀关系,因此其他氨基酸的含量也会影响苏氨酸的需求量。当日粮中的赖氨酸或蛋氨酸过量时,苏氨酸的需求量增大,添加适量的苏氨酸可消除因赖氨酸或蛋氨酸过量造成的体重下降,苏氨酸需要量在很大程度上与赖氨酸的需要量相关。添加苏氨酸也可减轻色氨酸过量引起的生长抑制。除氨基酸外,还有维生素、激素、脂肪类型均可影响苏氨酸在体内的利用。在添加苏氨酸时必须全面考虑,以配制出高效又经济的饲料。

5 苏氨酸缺乏症

家禽日粮缺乏苏氨酸时整体表现是采食量下降(Watanabe等,1997),关于苏氨酸与采食量的关系,有报道说动物在获得最佳生产性能前,随着苏氨酸

水平的增加采食量增加并达到高峰。在苏氨酸不足时,鸡食欲不振,采食量下降。日粮缺乏苏氨酸,还可引起一些生化指标的变化,例如血浆游离限制性氨基酸浓度降低(Clark 等,1996),甘油三脂和 LDL 浓度上升,尿酸排除增加并伴随着一些肝脏酶的变化,这些变化最终导致鸡生长速度慢、饲料转换率低等情况。严重缺乏时甚至出现脂肪肝,严重阻碍鸡的正常生长(Aoyama 等,1975)。为了避免缺乏苏氨酸而引起的这些不良后果,在蛋鸡、肉鸡日粮中添加苏氨酸变得日益盛行。Yamazaki 等(1997)报道,在雏鸡基础日粮(THr 为 0.45%)中添加 THr0.24% 时,采食量上升,饲料转化率高。Morales 等(1992)也曾报道过肉鸡日粮中添加苏氨酸时,日增重与饲料转化率都升高,添加苏氨酸对提高蛋鸡产蛋量也有一定影响,在缺乏苏氨酸的蛋鸡饲料中添加苏氨酸,也可提高产蛋量和饲料转化率等(山崎信等,1997)。并且由于苏氨酸在免疫系统中的作用,添加苏氨酸还可降低鸡的死亡率。

6 苏氨酸与赖氨酸的关系

6.1 苏氨酸与赖氨酸的相互作用

Kidd 等(1997)发现,对 18~56 日龄的罗斯肉鸡,为了使增重最大化,赖氨酸的需求量要达到 NRC(1994) 的 105%,而苏氨酸的需求量要达到 NRC(1994) 的 100%。为了使胸肉产量达到最大,赖氨酸的需要量为 NRC(1994) 的 105%,而苏氨酸的需要量要达到 NRC(1994) 的 108%。作者认为,赖氨酸和苏氨酸交互作用改善肉鸡的增重和胸肉产量,另外的实例也是通过肉鸡胸肉产量观察到的。Kerr 等(1997;1999)发现,当日粮赖氨酸水平提高时,高苏氨酸水平日粮饲养的肉鸡胸肉产量显著高于正常水平苏氨酸日粮。Jano 等(2002)的试验证实了前人的观察,当赖氨酸水平为 1.16% 时,把苏氨酸水平从 0.78% 提高到 0.80%,可改善胸肉产肉率约 0.5% ($P < 0.01$)。

在 Kidd 等(1997)的试验中,日粮赖氨酸水平限制在 1.10% 和 1.20% 两个水平,没有发现 0~18 日龄罗斯肉公鸡的 4 个苏氨酸水平(0.68%、0.74%、0.80% 和 0.86%) 对肉鸡生产性能的影响,因此,在这种赖氨酸水平范围,这一阶段苏氨酸的需要量应该在 0.68% 以下。但是赖氨酸在 1.20% 的处理组肉鸡的增重和饲料转化率显著优于赖氨酸为 1.10% 的处理组($P < 0.001$),显示 NRC(1994) 推荐的肉鸡各阶段赖氨酸需要量(1.10%) 太低。在 18~54 日龄,当赖氨酸水平为 NRC(1994) 的 105% 时,苏氨酸水平要达到 NRC(1994) 的 100% 才能使增

重最佳。高水平的赖氨酸需要高水平的苏氨酸才能使鸡肉的生产性能达到最优。Aviagen 公司最新的罗斯 308 肉鸡指南(Ross Broiler Management Manual,2002) 推荐的总赖氨酸(以化学分析为准)水平大大提高,而且高于艾维茵肉鸡指南(Avian Farms Broiler Manual,1996)。罗斯 308 肉鸡总赖氨酸的推荐量在 0~10 日龄为 1.44%,11~28 日龄为 1.20%,29~42 日龄~屠宰为 0.95%。相应地,这阶段总苏氨酸的推荐量也较高,分别达到 0.93%、0.79%、0.68% 和 0.64%。

6.2 苏氨酸与赖氨酸的比率(理想蛋白质)

不同来源和氨基酸营养体系(总氨基酸或可消化氨基酸)构建的理想蛋白质模型所表示的苏氨酸和赖氨酸的比率有所不同。总氨基酸表达的理想比例,这主要是因为饲料中的 L-赖氨酸多于 L-苏氨酸。

以总氨基酸为基础表达的理想蛋白质模型是 NRC(1994)。NRC(1994) 的苏氨酸/赖氨酸的比例是:0~21 日龄为 73%,21~42 日龄为 74%。Austic(1994) 的苏氨酸/赖氨酸比例在 0~21 日龄为 62%。艾维茵肉鸡指南(Avian Farms Broiler Manual,1996) 以总氨基酸为基础推荐的苏氨酸/赖氨酸比例:0~21 日龄为 68%,21~35 日龄为 67%,35~49 日龄为 67%,49 日龄以上为 73%。陈正玲等(2002) 推荐的苏氨酸/赖氨酸比例为 69%。

以可消化氨基酸体系为基础表达的理想蛋白质模型分别有 Baker 等(1993) 和 Baker(1996) 提出的模型,苏氨酸/赖氨酸的比例在肉鸡 0~21 日龄为 67%,21~42 日龄为 70%。CVB(1996) 推荐 0~42 日龄苏氨酸/赖氨酸(可消化氨基酸) 比例为 65%。

以玉米豆粕型日粮为基准,Aviagen 公司最新的罗斯 308 肉鸡指南(Ross Broiler Management Manual,2002) 采用总氨基酸(以化学分析为准) 和可消化氨基酸(以消化吸收的氨基酸为准) 两种营养体系表达苏氨酸/赖氨酸的比例。其苏氨酸/赖氨酸比例为:0~10 日龄 65%(总氨基酸) 或 63%(可消化氨基酸),11~28 日龄 66%(总氨基酸) 或 64%(可消化氨基酸),29~42 日龄 68%(总氨基酸) 或 66%(可消化氨基酸),42 日龄~屠宰 68%(总氨基酸) 或(可消化氨基酸)。

目前,研究新发现日粮中苏氨酸与赖氨酸的比率较以往有所提高,各试验结果表明在 65%~70% 范围内容居多。通过补加苏氨酸可降低日粮粗蛋白质 3%~4% 用量,达到相同效果可改善氨基酸平衡从而提高家禽生产性能,降低氮排泄量。日粮中每降低 1% 蛋白质水平,氮排除量减少 8%,这对有效利用蛋白质资源和环境保护有积极作用。