广东农业科学 2023，50（3）：144-156
Guangdong Agricultural Sciences DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2023.03.017

谭淑君，蒋守群，黄运茂，蒋宗勇．精氨酸在肉鸡生产中的应用研究进展［J］．广东农业科学，2023，50（3）：144-156.

精氨酸在肉鸡生产中的应用研究进展

谭淑君[1,2]，蒋守群[2]，黄运茂[1]，蒋宗勇[2]

（1. 仲恺农业工程学院动物科技学院，广东 广州 510225；2. 广东省农业科学院动物科学研究所 / 猪禽种业全国重点实验室 / 农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室 / 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室，广东 广州 510640）

摘　要：精氨酸是肉鸡的一种功能性必需氨基酸，具有多种生理功能。综述了精氨酸对肉鸡生长、胴体品质、肉品质、肠道健康、免疫和抗氧化等方面的研究进展，分析了适宜精氨酸需要量及其与赖氨酸的互作关系，并总结了精氨酸替代物胍基乙酸和 N- 氨甲酰谷氨酸在肉鸡生产上的应用研究。饲粮精氨酸水平适宜有利于提高肉鸡生长性能，改善胴体品质和肉品质，修复肠道损伤，维持正常肠道屏障功能，调节肠道微生物菌群，调控肠道消化酶活性和氨基酸转运载体表达，以及提高免疫功能和抗氧化能力。饲粮精氨酸不足或者过多，均不利于肉鸡的正常生长发育。肉鸡精氨酸需要量受品种类型、性别、饲养阶段、精氨酸 / 赖氨酸比值等因素影响。目前大部分研究主要集中在快大型白羽肉鸡，对我国特有的黄羽肉鸡精氨酸需要量研究报道较少，其研究结果也存在较大差异。胍基乙酸和 N- 氨甲酰谷氨酸作为精氨酸替代物，对肉鸡的作用不同。胍基乙酸不能完全替代精氨酸，但饲粮中补充胍基乙酸能够减少精氨酸用于能量代谢，使其更多用于肌肉生长和其他生理功能。N- 氨甲酰谷氨酸能够增加肉鸡内源性精氨酸合成，提高体内精氨酸含量，促进肉鸡生长发育。随着精氨酸及其替代物对肉鸡作用效果和机理研究的不断深入，精氨酸的需要量将更加精准，其在肉鸡生产上的应用将越来越广泛，有助于进一步改善肉鸡生产性能，提高饲料利用效率。

关键词：精氨酸；肉鸡；生长性能；胴体品质；肠道健康；免疫功能；抗氧化作用

中图分类号：S831.5　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004-874X（2023）03-0144-13

Research Progress in the Application of Arginine in Broiler Production

TAN Shujun[1,2], JIANG Shouqun[2], HUANG Yunmao[1], JIANG Zongyong[2]

（1.*College of Animal Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou* 510225*, China;* 2.*Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / State Key Laboratory of Swine and Poultry Breeding/ Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/ Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou* 510640*, China*）

Abstract: Arginine is a functional essential amino acid in broilers with a variety of physiological functions. The research progress of arginine in growth, carcass quality, meat quality, intestinal health, immunity and antioxidation in broilers was reviewed, and the appropriate requirement of arginine and its interaction with lysine were analyzed. At the same time, the application of arginine substitutes guanidinoacetic acid and N-carbamoylglutamic acid in broiler production were

---

收稿日期：2023-02-02

基金项目：国家重点研发计划项目（2021YFD1300404）；广东省重点领域研发计划项目（2020B0202090004）；国家肉鸡产业技术体系专项（CARS-41）；广东省农业科学院“十四五”农业优势产业学科团队项目（202106TD）

作者简介：谭淑君（1990—），女，在读硕士生，研究方向为动物营养与饲料科学，E-mail: 361271966@qq.com

通信作者：蒋宗勇（1963—），博士，研究员，研究方向为动物营养与饲料科学，E-mail: jiangz28@qq.com

summarized. Appropriate level of arginine in diet is beneficial to improve growth performance, carcass quality and meat quality, repair intestinal injury, maintain normal intestinal barrier function, regulate intestinal microflora, regulate the expression of intestinal digestive enzymes and amino acid transporters, and improve immunity and antioxidation capacity. Insufficient or excessive arginine in the diet is not conducive to the normal growth and development of broilers. The arginine requirement of broilers is affected by breed type, sex, feeding stage, ratio of arginine to lysine and so on. At present, most of the studies mainly focus on fast-growth white-feathered broilers, but there are few reports on the arginine requirement of yellow-feathered broilers in China, and the research results are quite different. As substitutes for arginine, guanidinoacetic acid and N-carbamoylglutamic acid have different effects on broilers. Guanidinoacetic acid does not completely replace arginine, but dietary supplementation with guanidinoacetic acid can reduce the use of arginine in energy metabolism and make it more useful for muscle growth and other physiological functions. N-carbamoylglutamic acid can increase the synthesis of endogenous arginine, increase the content of arginine in vivo and promote the growth of broilers. With the deepening of the studies on the effect and mechanism of arginine and its substitutes on broilers, the requirements of arginine will be more accurate, and be widely used in broiler production. It will help to further improve the production performance of broilers and improve feed utilization efficiency.

Key words: arginine; broiler; growth performance; carcass quality; intestinal health; immune function; antioxidation function

我国是全球第二大肉鸡主产国，2021 年我国肉鸡产量达 1 470 万 t[1]。随着肉鸡养殖规模不断扩大，饲养方式和标准化程度不同，肉鸡饲养业面临多种问题，其中比较突出的问题是饲料价格上涨和减抗政策的推进。2021 年肉鸡配合饲料价格同比上升 7.3%，饲料价格上升导致养殖成本增加，利润减少。如何选择合适的饲料添加剂，提高肉鸡生产量，降低饲养成本，成为肉鸡产业日益关注的问题。而随着全国禁止抗生素在饲料中使用，如何改善肉鸡肠道健康，寻求高效且无残留的抗生素替代物以提高肉鸡生产性能，也成为当前的研究热点[1-2]。

精氨酸，又名 2- 氨基 -5- 胍基戊酸，化学式为 $C_6H_{14}N_4O_2$，是一种碱性氨基酸，其在自然界中以 D 型和 L 型两种同分异构体的形式存在，但在动物机体中只有 L 型精氨酸具有生物学活性。家禽体内缺乏氨甲酰磷酸合成酶和鸟氨酸氨甲酰转移酶，因此不能通过自身合成精氨酸，只能由饲粮提供[3]。精氨酸不仅参与蛋白质的合成，还是肌酐、一氧化氮、尿素等众多代谢产物的前体，对机体代谢起重要调节作用[4]。精氨酸在机体内有多种代谢途径，但肉鸡主要通过鸟氨酸循环进行代谢。精氨酸在精氨酸酶作用下分解为鸟氨酸和尿素，尿素随尿液排出体外；鸟氨酸经过一系列反应转化为腐胺、谷氨酰胺和脯氨酸，其中腐胺能够生成亚精胺和精胺，三者统称为多胺，多胺参与 DNA、RNA 以及蛋白质的生物代谢，对细胞生长和增殖分化起重要作用；此外，精氨酸在一氧化氮酶（NOS）的作用下生成一氧化氮和瓜氨酸，瓜氨酸能够通过体内循环在肾脏重新合成内源性精氨酸，一氧化氮是动物机体内具有多种调节作用的信号分子，参与机体多种生理反应[5]。由此可见，精氨酸作为家禽的必需氨基酸，对肉鸡的多种生理功能都具有重要影响。随着精氨酸价格降低，精氨酸在肉鸡无抗饲料中的应用逐渐增多[6]。本文主要综述了精氨酸对肉鸡生长发育、胴体品质、肠道健康、免疫和抗氧化等方面的影响，以及精氨酸替代物胍基乙酸和 N- 氨甲酰谷氨酸的研究进展，并探讨精氨酸及其替代物在肉鸡生产中的应用效果及潜在作用机制，以期为肉鸡生产提供科学指导。

1　精氨酸对肉鸡生长性能的影响

1.1　精氨酸的促生长作用

精氨酸作为必需氨基酸之一，是蛋白质的组成成分，能够促进蛋白质合成，从而改善肉鸡生长性能。刘凤菊等[7]研究发现，随着饲粮精氨酸水平的增加，1~21 日龄肉仔鸡平均日增重显著增加，但当饲粮精氨酸水平达到 1.375% 后，平均日增重均呈下降趋势。陈西风等[8]研究发现，在饲粮中添加 0.4%、0.8%、1.2% 精氨酸，21~42 日龄 AA 肉鸡平均日增重分别比对照提高 13.02%、17.52%、15.21%，其中 0.4% 和 0.8% 精氨酸添加水平可降低料重比。郭祎玮[9]研究认为，饲粮精

氨酸添加水平与1~42日龄肉仔鸡平均日增重存在显著的剂量效应，平均日增重随着饲粮精氨酸添加水平增加而增加，当添加水平达到1.80%时呈下降趋势。这与Xu等[10]的研究结果相似，肉鸡平均日增重随着饲粮精氨酸水平的升高呈二次曲线增加，当精氨酸水平超过1.35%后，21日龄肉鸡体重呈下降趋势。这表明饲粮中适宜的精氨酸水平能够促进肉鸡生长，但精氨酸过量可能不利于肉鸡生长。

精氨酸还通过刺激动物下丘脑、胰腺和肾上腺等部位，调节生长相关激素的分泌，从而影响动物生长[11]。郭祎玮[9]研究发现，采食精氨酸水平为0.90%和1.35%饲粮的AA肉鸡，其血清生长激素、胰岛素、类胰岛素生长因子-1含量均高于精氨酸缺乏组和对照组肉鸡，其变化趋势与平均日增重的相似，而且当精氨酸水平增加到1.80%时，上述生长相关激素含量出现下降趋势。刘凤菊等[7]也发现，肉鸡血液胰岛素含量在饲粮精氨酸水平超过1.375%后呈下降趋势，平均日增重在精氨酸水平超过1.250%后显著降低。综上所述，适宜的精氨酸水平能够调控肉鸡生长相关激素的分泌，促进肉鸡生长发育，但精氨酸不足或者过量均不利于肉鸡正常生长。可见，确定适宜的饲粮精氨酸水平，对于提高肉鸡生长性能并降低养殖成本尤为重要。

1.2 精氨酸与赖氨酸的拮抗作用

肉鸡的生长除了与饲粮中适宜的精氨酸水平有关外，还与精氨酸/赖氨酸比值有关。赖氨酸是肉鸡的第二限制性氨基酸，在氨基酸平衡模型中，维持赖氨酸与其他氨基酸的平衡尤为重要[12]。对于肉鸡来说，精氨酸与赖氨酸同为碱性氨基酸，在肠道吸收过程中，共用一套碱性氨基酸转运系统，赖氨酸能够竞争性抑制肠道对精氨酸的吸收，反之亦然。当机体赖氨酸含量过高时，精氨酸酶活性增大，精氨酸降解加快。同时，肾小管对精氨酸的重吸收降低，精氨酸通过肾脏的排出量增多[13–14]。因此，精氨酸与赖氨酸在家禽的吸收、重吸收过程中都存在拮抗作用[15]。有研究指出，在美国NRC（1994）肉仔鸡标准精氨酸/赖氨酸比值为1.18 ∶ 1的基础上，提高饲粮赖氨酸含量，使精氨酸/赖氨酸比值达1 ∶ 1.22~1.48，肉鸡的采食量显著下降，生长受到抑制；而提高饲粮精氨酸含量，使精氨酸/赖氨酸比值为1.75 ∶ 1，则对肉鸡生长性能无负面影响[16]。由此可见，精氨酸与赖氨酸的拮抗作用主要与赖氨酸过量有关，当赖氨酸含量过高时，可能不利于肉鸡生长。目前针对肉鸡适宜精氨酸/赖氨酸比值的研究主要以快速型白羽肉鸡为主，初步得出1~21日龄玉米-豆粕型肉鸡饲粮适宜的精氨酸/赖氨酸比值为1.05~1.40，21~42日龄为1.15~1.61[9, 17–18]。适宜的精氨酸/赖氨酸比值的差异可能与肉鸡品种、品系、性别、饲养环境等有关，建议根据实际生产情况，设计适宜的精氨酸/赖氨酸比值。

2 精氨酸对肉鸡胴体品质和肉品质的影响

2.1 精氨酸对肉鸡胴体品质的影响

饲粮中适宜的精氨酸水平能够改善肉鸡的胴体品质。Corzo等[19]研究表明，增加42~56日龄肉鸡饲粮的精氨酸水平，其腹脂含量显著降低。Castro等[20]通过双能X线吸收测定法对肉鸡体成分进行检测，发现精氨酸能够增加Ross肉鸡的瘦肉率和骨密度，不增加脂肪的积累；精氨酸水平对瘦肉率的影响呈二次曲线关系，当精氨酸水平为1.22%时肉鸡的瘦肉率最高。贺永惠等[21]研究发现，Ross肉鸡的腿肌率随着精氨酸水平增加呈线性提高，腹脂率呈线性下降。在29~42日龄Cobb肉鸡饲粮中添加0.687%精氨酸，可以提高料重比，降低腹脂率，但对屠体率、胸肌率和腿肌率无明显影响[22]。而在120日龄清远麻鸡试验中，屠宰率随饲粮精氨酸水平升高呈线性和二次曲线增加，而胸肌率和腹脂率未随饲粮精氨酸水平变化而显著变化[23]。Fouad等[24]在饲粮中添加0.25%精氨酸，能够降低21~42日龄Cobb肉鸡的血浆甘油三酯和总胆固醇浓度，以及肝脏脂肪酸合成酶*Fas*基因的表达，提高心脏脂肪酸氧化的限速酶肉碱棕榈酰转移酶Ⅰ（*CPT1*）和3-羟烷基辅酶A脱氢酶（*3HADH*）基因的表达，从而减少脂肪酸的合成，增强脂肪酸的氧化，最终降低肉鸡腹脂率。Khalaji等[25]研究发现，高精氨酸处理组（12 g/kg）与对照组（8.4 g/kg）相比，虽然不能显著降低肉鸡的腹脂率，但能够降低甘油三酯、总胆固醇、糖化血红蛋白浓度，提高过氧化物酶体增生物激活受体α、γ（PPAR-α、PPAR-γ）和iNOS的表达量，提示精氨酸能够调控脂肪代谢，增强脂肪酸氧化相关基因的表达，有利于控制肉鸡脂肪沉积过多的问题。总体来说，

精氨酸能够降低肉鸡腹脂率，提高瘦肉率、胸肌率和腿肌率，改善肉鸡的胴体品质。

2.2 精氨酸对肉鸡肉品质的影响

已有研究发现，精氨酸能够改善肉鸡的肉品质。饲粮中添加 0.50% 精氨酸能够显著降低热应激肉鸡的胸肌 24 h 滴水损失，但肉色差异不显著[26]。0.30% 精氨酸水平能够使肉鸡腿肌和胸肌的硬度、弹性降至最低[21]。但精氨酸对 120 日龄清远麻鸡的胸肌剪切力、pH 值和肉色均无显著影响[23]。总体来说，精氨酸能够改善肉鸡的胴体品质和肉品质，但对不同日龄、不同类型的肉鸡，精氨酸对其胴体品质和肉品质的影响效果不同。肉品质是影响消费者购买意愿的重要因素，根据目前的研究结果，精氨酸对于肉鸡肉品质的影响效果不一，研究精氨酸对肉鸡肉品质的作用及其机制，需要更多深入的探讨。

3 精氨酸对肉鸡肠道健康的影响

3.1 精氨酸对肉鸡肠黏膜绒毛结构和肠道屏障功能的影响

精氨酸对肉鸡肠黏膜绒毛结构和肠道屏障功能的影响表现在多方面（表 1）。研究发现，球虫破坏肉鸡肠道黏膜完整性，增加其他致病菌感染的几率，目前缺乏有效的防控措施[27–29]。精氨酸能够改善球虫攻击后肉鸡肠道黏膜绒毛结构受损的情况，减少病变面积，维持肠道健康[37–39]。补充精氨酸可能是一种绿色的修复球虫对肉鸡肠道损伤的方式。鼠伤寒沙门氏菌也会造成肉鸡空肠绒毛尖端丢失、绒毛融合等情况，饲粮中添加 0.30% 精氨酸能够改善空肠绒毛结构损伤的状况[30]。此外，饲粮精氨酸水平除了影响种母鸡生产性能，还能够影响子代雏鸡的体重和肠道形态发育[31–32]。由此可见，精氨酸不仅能够缓解球虫和病原微生物对肉鸡肠道的损伤，改善肉鸡的肠道健康，还能影响子代肠道肠黏膜绒毛结构，增强子代肠道抵抗疾病的能力。

肠道屏障包括机械屏障、化学屏障、微生物屏障和免疫屏障，其中机械屏障由柱状上皮细胞、细胞间紧密连接蛋白、杯状细胞及其分泌的黏液组成。肠道上皮细胞结构完整性依赖于紧密连接蛋白 1（ZO–1）和密封蛋白（Claudins）等[40]。饲料中添加精氨酸能够提高正常情况下肉鸡肠道 ZO–1 的表达量，还能够在球虫、病原微生物、应激以及饲粮低蛋白等不利因素下，调节肠道 ZO–1、ZO–2、Claudin–1mRNA、Occludin mRNA 等紧密连接蛋白的表达，增加杯状细胞数和黏液层厚度，维持肠道机械屏障功能[23,33–36]。可见，精氨酸不仅能够提高正常生理状态下肠道紧密连接蛋白的表达，而且能够修复损伤的肠道屏障，保持肠道黏膜通透性，维护肠道机械屏障功能。此外，在低蛋白饲粮中添加精氨酸，能够使饲料蛋白的氨基酸比例更接近机体所需的氨基酸比例，提高饲粮蛋白质的利用率，增强肠道紧密连接蛋白的基因表达，维持肠道健康，有利于防御

表 1 精氨酸对肉鸡肠黏膜绒毛结构和肠道屏障功能影响的研究结果

Table 1 Research results of the effects of arginine on intestinal mucosal villus structure and intestinal barrier function in broilers

参考文献 Reference	品种类型 Classification	生理状态 Physiological state	饲粮精氨酸水平 Arginine level in diet (%)	研究结果 Research result
[27]	AA 肉鸡	球虫攻毒	2.02	提高肉鸡空肠绒毛高度，降低空肠 Toll 样受体 4（*TLR4*）mRNA 的表达水平
[28]	Cobb 肉鸡	低蛋白饲粮，球虫攻毒	1.75	提高十二指肠绒毛高度与隐窝深度的比值
[29]	Ross 肉鸡	球虫感染	1.375、1.650（可消化精氨酸）	提高绒毛高度以及绒毛高度与隐窝深度比值，减少病变面积，病变评分最低
[30]	AA 肉鸡	鼠伤寒沙门氏菌攻毒	1.72	提高空肠绒毛高度
[31]	海东肉种鸡	正常	1.16、1.36	提高回肠绒毛高度和十二指肠绒毛高度
[32]	海东肉种鸡	正常	1.36	增加 7 日龄雏鸡十二指肠、空肠、回肠绒毛高度以及绒毛面积
[33]	Ross 肉鸡	低蛋白饲粮	1.071（可消化精氨酸）	降低 21~35 日龄和 7~35 日龄的料重比，上调回肠黏膜上皮紧密连接蛋白 Claudin–1mRNA 的表达
[23]	清远麻鸡	正常	0.93	提高空肠 ZO–1 mRNA 的表达量
[34]	AA 肉鸡	产气荚膜梭菌攻毒	1.87	提高 21 日龄空肠 Claudin–1 mRNA 和 28 日龄回肠 Occludin mRNA 水平
[35]	Cobb 肉鸡	球虫攻毒	1.24~1.44	上调空肠 ZO–1 和 ZO–2 的表达
[36]	Ross 肉鸡	低温应激	1.469	提高十二指肠和空肠黏膜上皮绒毛高度以及绒毛高度与隐窝深度的比值，增加杯状细胞数和黏液层厚度

肠道病原体入侵，对肉鸡的生长发育起重要作用。

3.2 精氨酸对肠道消化酶活性和氨基酸转运载体表达的影响

精氨酸能通过影响肠道消化酶活性和氨基酸转运载体表达，进而影响肉鸡肠道对营养物质的吸收利用。陈凌云等[41]研究发现，1.16% 的饲粮精氨酸水平能明显提高海东雏鸡肠道营养转运载体寡肽转运蛋白（PePT1）、钠葡萄糖共转运载体 1（SGLT1）、葡萄糖转运载体 2（GLUT2）及消化酶胺肽酶 N（APN）、蔗糖酶 – 异麦芽糖酶（SI）基因的表达量，提升营养物质的转运效率。Teng 等[38]研究发现，添加精氨酸的低蛋白饲粮组的肠道 L 型氨基酸转运体 1（LAT1）和 L 型氨基酸转运体 2（LAT2）基因表达显著高于其他氨基酸组。与热应激组相比，添加 0.50% 精氨酸可以提高肉鸡十二指肠脂肪酶和回肠胰蛋白酶的活力[42]。由此可见，适宜的精氨酸水平有利于提高肉鸡肠道对养分的转运吸收能力。目前，关于精氨酸对肠道消化酶活性和氨基酸转运载体表达的研究较少，其作用机理仍需进一步深入探讨。

3.3 精氨酸对肠道微生物菌群的影响

精氨酸可调节肠道微生物组成和相对丰度，改善肉鸡肠道菌群平衡，促进肠道健康。研究发现，黄羽肉鸡回肠微生物菌群中，有益菌如厚壁菌门（Firmicutes）和罗姆布茨菌属（*Romboutsia*）的相对丰度随着饲粮精氨酸水平（8.5~13.3 g/kg）的提高而增加，而有害菌如变形杆菌门（Proteobacteria）和狭义梭菌属（*Clostridium sensu stricto*）的相对丰度则随之降低[43]。鼠伤寒沙门氏菌攻毒试验中，攻毒组肉鸡回肠中变形杆菌门（Proteobacteria）肠杆菌科（Enterobacteriaceae）埃希氏 – 志贺氏菌属（*Escherichia–Shigella*）等有害菌数量明显增多，有益菌数量明显减少；而饲粮添加精氨酸的攻毒组有益菌数量明显增加，有害菌数量显著减少[33]。Zhang 等[44]研究发现，肉鸡感染艾美耳球虫和产气荚膜梭菌后，饲粮添加精氨酸可以缓解肉鸡盲肠内大肠埃希氏杆菌和产气荚膜梭菌数量增加的情况。卵内注射 0.50% 精氨酸能够显著增加雏鸡盲肠内乳酸杆菌数量，减少大肠菌群和大肠埃希氏菌数量，表明精氨酸可以调整雏鸡盲肠的菌群结构[45]。可见，适宜的精氨酸可调节肉鸡肠道微生物丰度和多样性，维持肠道菌群平衡。

综上所述，精氨酸能够修复肉鸡肠黏膜绒毛结构和肠道屏障功能，提高肠道消化酶活性和氨基酸转运载体的表达，调节肠道微生物菌群结构，对维护肉鸡肠道健康具有重要作用。饲粮添加适宜精氨酸，可增强肉鸡肠道抵御疾病的能力，可有效缓解目前集约化养殖以及禁抗政策下抗生素使用受限导致疾病多发的困境。

4 精氨酸对肉鸡免疫和抗氧化功能的影响

4.1 精氨酸对肉鸡免疫功能的影响及其机制

精氨酸可以通过自身及其代谢产物调节机体免疫功能（表 2）。林智鑫等[46]研究发现，添加精氨酸能够降低肉鸡感染禽腺病毒 I 群 4 型病毒（FAdV–4）后的死亡率，提高免疫器官指数和血液免疫指标。缺乏精氨酸会导致机体免疫水平低下，适宜的精氨酸水平可以提高机体免疫状况，但过高的精氨酸水平则会抑制机体免疫功能。Guo 等[47]和 Liu 等[48]研究发现，过高的精氨酸水平使肉鸡血液免疫相关指标降低，不能改善生长性能，这可能与精氨酸抑制蛋白酪氨酸激酶 2/信号转导和转录激活因子 3（JAK/STAT3）通路相关的 STAT3 表达，影响 B 细胞介导的体液免疫有关。精氨酸能够缓解传染性法氏囊病病毒（IBDV）和脂多糖（LPS）攻毒后对肉鸡全身性炎症的影响[49–50]。适当添加精氨酸可以改善艾美耳球虫攻毒下肉鸡异嗜性细胞氧化爆发和单核细胞氧化爆发，添加 0.30% 和 0.60% 精氨酸均可以提高血清 IgM 和 IgG 的含量[51]。

精氨酸对肉鸡的免疫作用，除了其本身能够正向调节自然杀伤细胞（NK 细胞）、增强巨噬细胞活性、刺激淋巴细胞生成，从而提高机体抗感染和抗肿瘤能力[52]，其代谢过程中产生的多胺和 NO 也发挥着重要作用。多胺具有调节巨噬细胞、促进细胞增殖、修复组织损伤等作用[2,53]。NO 不仅能够调节免疫细胞，如调节 T 细胞、巨噬细胞、NK 细胞的活性，抑制抗体应答反应与肥大细胞反应能力，还能够扩张血管，维持血流畅通，增加外周循环血量，增强机体免疫力[54–55]。此外，精氨酸能够通过多种途径缓解机体肠道炎症，如抑制 IL–1β、IL–2、IL–17 等促炎因子的分泌，提高 IL–10、IgA 和 IgG 的含量；还可以通过激活雷帕霉素靶蛋白复合物 1（mTORC1）通路，促进机体的蛋白质合成，修复损伤的肠道结构；激活

表 2　精氨酸对肉鸡免疫功能影响的研究结果

Table 2　Research results of the effect of arginine on immune function of broilers

参考文献 Reference	品种类型 Classification	生理状态 Physiological state	饲粮精氨酸水平 Arginine level in diet(%)	研究结果 Research result
［46］	Ross 肉鸡	FAdV-4 攻毒	1.44、1.68、1.92	提高脾脏、胸腺和法氏囊指数，降低死亡率；提高 GLO、IgG、IL-1β、TNF-α、INF-γ、NO 水平和 iNOS 活性；提高肝脏中 iNOS mRNA 的表达量，降低肝脏的病毒量
［8］	AA 肉鸡	正常	0.80	提高血清 IgG、IgM 水平
［47］	AA 肉鸡	正常	1.35	提高血清中 IL-2、NO 水平和 iNOS 活性以及回肠和肝脏中 iNOS mRNA 的表达量；1.80% 时，肉鸡血清中 IL-2、NO 水平和 iNOS 活性等有下降趋势
［48］	AA 肉鸡	正常	1.47	生长性能最佳；提高肉鸡血清 IgG、IgM 水平；降低法氏囊 IgG、IgM、转录抑制因子 B 细胞淋巴因子 6（BCL-6）、STAT3 mRNA 的表达量；超过 1.47% 时，生长性能无明显改善，血清 IgG、IgM 水平显著低于对照
［49］	Ross 肉鸡	IBDV 攻毒	1.76	提高血清溶菌酶活性、IgA 水平、抗传染性法氏囊病抗体滴度
		球虫攻毒	1.90	降低空肠黏膜 IgG 水平和 TLR4 的 mRNA 表达量；激活 mTORC1 通路
		LPS 攻毒	1.42	降低脾脏 $CD11^+$、$CD14^+$ 和 B 淋巴细胞比例，以及脾脏 IL-1β、IL-10、TLR4、NFκB 的 mRNA 表达量
［50］	Ross 肉鸡	LPS 攻毒	1.42	降低脾脏 $CD11^+$、$CD14^+$ 和 B 淋巴细胞比例；降低脾脏 IL-1β、IL-10、TLR4、NFκB 的 mRNA 表达量；降低盲肠 IL-1b、IL-10、TLR4 和 NFκB 的 mRNA 表达量
［51］	Cobb 肉鸡	球虫攻毒	0.30、0.60	改善异嗜性细胞氧化爆发和单核细胞氧化爆发；提高血清 IgM 和 IgG 含量

转录因子 E2 相关因子 2- 抗氧化反应元件（Nrf2-ARE）通路，上调抗氧化相关蛋白的表达，提高机体抗氧化能力的同时增强机体的免疫功能[56]。

综上所述，精氨酸主要通过精氨酸酶和 NO 代谢途径发挥免疫调节作用，精氨酸缺乏或者过量都可能抑制肉鸡的免疫作用，适宜的精氨酸水平能够提高肉鸡的免疫能力，增强肉鸡抵抗各种疾病的能力。

4.2　精氨酸对肉鸡抗氧化功能的影响及其机制

精氨酸可以通过提高肉鸡血浆或者组织中的总超氧化物歧化酶（T-SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GPH-Px）、过氧化氢酶（CAT）活性等方式增强抗氧化能力。范秋丽等[23]研究发现，清远麻鸡血浆 T-SOD、T-AOC 和 GPH-Px 活性，以及空肠黏膜 T-SOD 活性随饲粮精氨酸水平的升高呈二次曲线增加，丙二醛（MDA）含量随饲粮精氨酸水平升高呈线性和二次曲线降低。饲粮中添加 0.50% 精氨酸能够提高热应激状态下肉鸡血清 CAT、SOD、GSH-Px 活性以及胸肌 CAT、GSH-Px 活性[26]。这与晏利琼等[42]的研究结果相似，饲粮中添加 0.50% 精氨酸提高了肉鸡空肠 CAT 活性和血红素加氧酶 -1（HMOX-1）基因表达量，降低低氧诱导因子 1（HIF-1）和单磷酸腺苷活化蛋白激酶 α1（AMPK-α1）的 mRNA 水平，从而提高热应激肉鸡的抗氧化能力。可见，精氨酸不仅能够提高正常状况下肉鸡的抗氧化能力，还对热应激条件下的机体抗氧化功能具有改善作用。

精氨酸具有较强的清除自由基（如 DPPH 自由基、ABTS 自由基、超氧自由基等）作用，对机体起抗氧化作用；同时精氨酸还能够通过精氨酸 -NO 途径、谷胱甘肽（GSH）合成途径、核转录因子红系 2 相关因子 2（Nrf2）信号通路途径（图 1）等发挥抗氧化功能[57-58]。

总的来说，精氨酸能够提高肉鸡抗氧化能力，缓解氧化应激，维持肉鸡的正常生理功能，这对于肉鸡应对疾病以及饲养环境的各种变化具有积极意义。目前精氨酸及其代谢物在免疫和抗氧化作用机制方面的相关研究仍需深入探讨，随着研究加深，精氨酸更多的免疫和抗氧化功能将被逐渐发掘出来，更好地应用于肉鸡生产上。

5　肉鸡精氨酸需要量

近年有关肉鸡精氨酸需要量的研究结果见表 3，将 AA 肉鸡研究结果与美国 NRC（1994）[60]以及我国《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）[61]的肉鸡精氨酸推荐用量对比，除郭祎玮[9]的研究结果外，其他研究得到的肉鸡精氨酸需要量均高于标准，这可能与制定标准的年份较远有关。随着饲养条件改变以及对精氨酸需要量研究的深入，精氨酸在肉鸡上的需要量普遍比标准推荐量高。而不同研究结果之间的差异，可能与肉鸡的品种、性别、饲粮配方、饲养环境等有关。虽然白羽肉鸡试验均使用 AA 肉鸡，但刘凤菊等[7]研究使用雄性 AA 肉鸡，而郭祎玮[9]和 Xu 等[10]

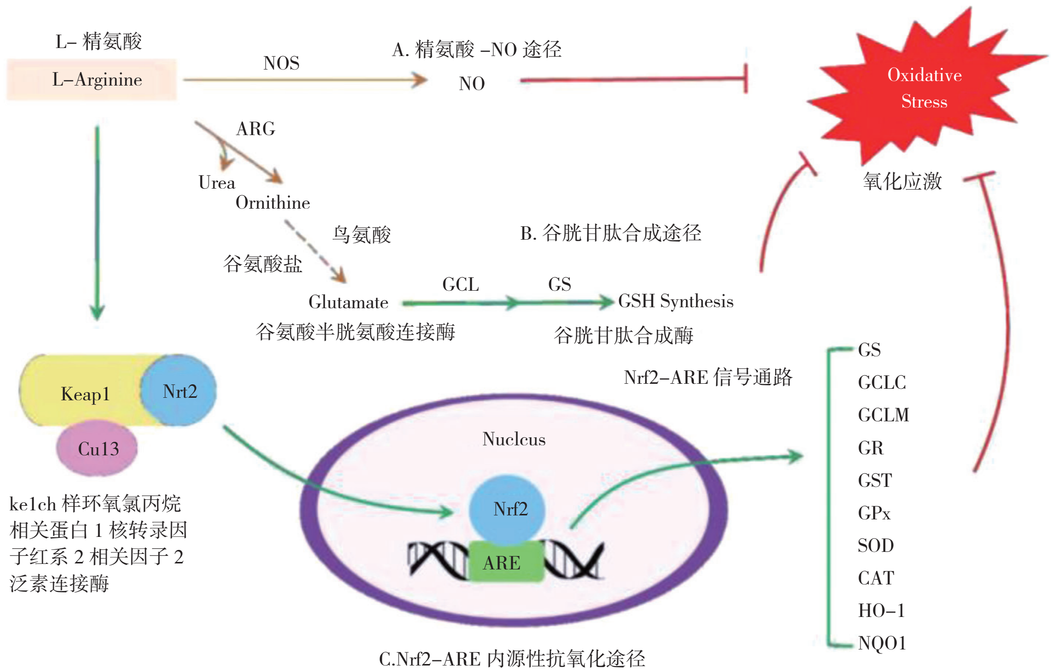

图 1　精氨酸抗氧化机制[57]

Fig.1　Antioxidation mechanism of arginine[57]

表 3　肉鸡精氨酸需要量的研究结果

Table 3　Research result of arginine requirement of broilers

参考文献 Reference	品种类型 Classification	饲养阶段 Feeding stage	评定指标 Evaluation indicator	需要量 Requirement (%)
[7]	AA 肉鸡	1~21	平均日增重	1.38
[9]	AA 肉鸡	1~21	平均日增重	0.97
		21~42	平均日增重	1.05
[10]	AA 肉鸡	0~42	平均日增重和免疫功能	1.76
[23]	清远麻鸡	91~120	平均日增重	0.88
			料重比	0.94
[59]	岭南黄羽肉种鸡	232~266	产蛋率	1.10

的试验并未明确肉鸡性别。性别不同，肉鸡的生长速度、胴体组成、消化生理均存在差别，因此对精氨酸营养需要量的分析也会存在差异。此外，除陈西风等[8]的研究使用玉米－膨化玉米型饲粮配方外，其他研究均在玉米－豆粕型饲粮基础上添加玉米蛋白粉以降低基础饲粮配方的精氨酸含量，再根据试验需要添加精氨酸，最终达到预期的饲粮精氨酸水平。对比郭祎玮[9]和 Xu 等[10]的研究发现，两者均使用 AA 肉鸡作为研究对象且基础配方相似，但两者精氨酸梯度设置不同，得出的适宜精氨酸添加水平不一致，这也可能与 AA 肉鸡的饲养环境、饲养方式、疾病感染情况等有关。随着黄羽肉鸡产业的发展，有关黄羽肉鸡精氨酸需要量的研究逐渐增多。91~120 日龄的雌性清远麻鸡饲粮精氨酸需要量为 0.88%[23]，36~38 周龄快大型黄羽肉鸡蛋种鸡饲粮精氨酸需要量为 1.10%[59]，均高于《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）和《黄羽肉鸡营养需要量》（NY/T3645—2020）[62]。肉鸡的精氨酸需要量与肉鸡品种、饲养环境、饲料配方等密切相关，因此，在生产中需要根据实际情况设计饲粮精氨酸水平以获得更好的生长。

表 4 列举了肉鸡常用饲料原料中精氨酸的含量及其与赖氨酸的比值。其中大豆粕、棉籽粕、芝麻粕、血粉的精氨酸含量较高，玉米、小麦、皮大麦、谷子、木薯干、木薯渣、甘薯干及苜蓿草粉的精氨酸含量较低，皮大麦、木薯渣、鱼粉、血粉以及苜蓿草粉的精氨酸 / 赖氨酸比值较低。由此表明，应基于基础饲料中的精氨酸含量制定相应的精氨酸添加配方，以满足精氨酸的精准需求量和饲粮氨基酸的平衡性。对饲粮适宜的精氨酸 / 赖氨酸比值研究发现，目前的研究结果均高于美国 NRC（1994）[60]和我国《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）标准[61]。不同研究得出的适宜精氨酸 / 赖氨酸比值不一，可能与肉鸡品种有关，而即使同为白羽肉鸡，其生长速度、胴体组成以及消化生理都会存在一定差异，而且饲养时间不同也影响肉鸡对精氨酸与赖氨酸的需要量。

表 4　肉鸡饲料原料中精氨酸含量及其与赖氨酸的比值
Table 4　Arginine content and its ratio to lysine in broiler feed ingredients

类型 Type	原料 Ingredient	精氨酸含量 Arginine content (%)	精氨酸 / 赖氨酸 Arg/Lys
能量饲料 Energy feed	玉米	0.36	1.64
	软质小麦	0.56	1.70
	硬质小麦	0.70	1.84
	皮大麦	0.12	0.29
	谷子	0.30	2.00
	木薯干	0.40	3.08
	甘薯干	0.16	1.00
	木薯渣	0.03	0.23
蛋白质饲料 Protein supplement	大豆粕	3.13	1.21
	玉米酒精糟及可溶物	1.12	1.58
	玉米蛋白粉	1.73	1.88
	菜籽粕	1.83	1.41
	双低菜籽粕	2.03	1.13
	棉籽粕	4.65	2.36
	芝麻粕	4.99	4.62
	棕榈仁饼	1.65	4.13
	鱼粉	1.66	0.32
	血粉	2.99	0.45
粗饲料 Forage roughage	苜蓿草粉	0.59	0.95

注：数据来源于《黄羽肉鸡营养需要量》（NY/T3645—2020）。玉米、大豆粕、玉米蛋白粉、棉籽粕、鱼粉、苜蓿草粉的粗蛋白含量分别为 7.6%、41.7%、56.3%、43.5%、62.5%、14.3%。

Note: Data source *Nutrient requirements of Yellow-feathered Chicken* (NY/T3645-2020). Crude protein content in corn, soybean meal, corn gluten meal, cottonseed meal, fish meal, alfalfa meal are 7.6%, 41.7%, 56.3%, 43.5%, 62.5%, 14.3%, respectively.

6　精氨酸替代物研究

目前较多研究发现，胍基乙酸和 N– 氨甲酰谷氨酸可以作为精氨酸的替代物在畜禽生产中使用。添加胍基乙酸和 N– 氨甲酰谷氨酸可减少饲粮精氨酸的添加量，使精氨酸的各种生理功能得到更好发挥，最终达到提高肉鸡生长性能、降低饲料成本的效果。

胍基乙酸是肌酸的前体物，在体内由甘氨酸和精氨酸合成，精氨酸的脒基通过甘氨酸脒基转移酶（AGAT）催化转移至甘氨酸，形成胍基乙酸并最终合成肌酸参与能量代谢[63]。饲粮中添加胍基乙酸能够减少精氨酸被机体用于合成胍基乙酸，从而使更多的精氨酸用于肌肉生长和参与其他生理功能。Majdeddin 等[64]研究发现，胍基乙酸能够提高肉鸡在热应激条件下的饲料转化率和存活率。胍基乙酸还可以提高孵化时雏鸡的质量，改善冷应激对雏鸡生成性能和腹水指数的影响[65]，在低蛋白饲粮中补充胍基乙酸能够维持肉鸡正常生长发育[66]。已有较多研究显示，胍基乙酸并不能完全替代精氨酸，在严重缺乏精氨酸的饲粮中添加胍基乙酸，并不能弥补精氨酸缺乏对肉鸡生长性能的负面影响；在精氨酸接近充足时补充胍基乙酸，能促进肉鸡的生长发育。目前保守的胍基乙酸替代精氨酸比率为 1 ： 1，但有研究指出，以肉鸡的生长速度或饲料利用率为指标，胍基乙酸替代精氨酸的比率以 0.77~1.30 ： 1 为宜[67]。随着胍基乙酸替代精氨酸研究的加深，对于胍基乙酸在肉鸡上的推荐用量将会更加精准。

N– 氨甲酰谷氨酸作为精氨酸替代物，在尿素循环中替代 N– 乙酰谷氨酸，使机体产生内源性精氨酸，早期广泛运用于提高猪、牛、羊等多肽动物的繁殖性能[68]。目前较多研究发现，N– 氨甲酰谷氨酸对猪具有促进生长、增强免疫力、提升繁殖能力、改善胴体品质等作用[69]。随着对 N– 氨甲酰谷氨酸研究的加深，发现其对肉鸡也有重要作用。王春平等[70]研究发现，0.12%N– 氨甲酰谷氨酸能够提高 1~42 日龄快大型肉鸡的平均日增重和胸肌率，以平均日增重为评定指标进行回归分析，得出肉鸡适宜添加水平为 0.10%。黄雅莉等[71]研究表明，饲粮中 0.40%N– 氨甲酰谷氨酸不仅能提高三黄鸡胴体品质，增加血液中 IgA 的含量，还能改善养分代谢率。饲粮中添加 0.08%~0.12%N– 氨甲酰谷氨酸能够促进大骨鸡小肠和盲肠的肠道绒毛结构，其中 0.08%N– 氨甲酰谷氨酸还能调整大骨鸡的盲肠菌群结构，调节肠道微生物相对丰度，促进肠道健康[72]。Hu 等[73]在饲粮中添加 0.05%~0.20% N– 氨甲酰谷氨酸，能够提高 1~18 日龄快大型黄羽肉鸡的生长性能，通过回归分析计算得出黄羽肉鸡 N– 氨甲酰谷氨酸的需要量为 0.09%~0.12%。N– 氨甲酰谷氨酸具有促进肉鸡生长、改善胴体品质、维持肠道健康等作用。目前关于肉鸡对 N– 氨甲酰谷氨酸推荐用量的研究仍较少，对黄羽肉鸡的相关研究报道更少，仅有快大型黄羽肉鸡的推荐量，而不同品种肉鸡 N– 氨甲酰谷氨酸的推荐用量不一。因此，有关 N– 氨甲酰谷氨酸在肉鸡上的研究仍有待进一步深入探讨。

7 展望

适宜的精氨酸水平能够提高肉鸡的生长性能，改善胴体品质和肉品质，并且无论在正常还是某些疾病状态下，均能提高机体的免疫功能和抗氧化能力，维持肠道健康。这对于禁抗环境下预防疾病发生或减少疾病对肉鸡生长的影响具有重要意义。此外，通过添加适宜精氨酸达到肉鸡体内氨基酸平衡，可减少蛋白质饲料原料的用量，降低饲料成本，也是应对目前饲料价格上升、饲养成本增加的有效措施。但肉鸡精氨酸需要量受品种类型、性别、饲养阶段等多种因素影响，同时饲粮赖氨酸水平很大程度上影响肉鸡精氨酸的需要量，即饲粮适宜的精氨酸/赖氨酸比值很关键，而精氨酸与其他氨基酸之间的平衡比例也有待深入研究。目前无论是快大型白羽肉鸡还是黄羽肉鸡的精氨酸需要量研究结果，普遍高于美国NRC(1994)[60]和我国《黄羽肉鸡营养需要量》(NY/T3645—2020)[62]。因此，在实际生产中，需要根据肉鸡的情况及饲养环境等因素进行调整。另外，随着黄羽肉鸡产业的迅速发展，对不同性别、不同生长速度、不同生长阶段黄羽肉鸡精氨酸需要的研究加深，黄羽肉鸡精氨酸营养需要量将更加精准。近几年，精氨酸发酵及提取纯化的工艺日益成熟，国内精氨酸生产量增加，结晶精氨酸价格越来越低，精氨酸在肉鸡生产上的应用将越来越广泛。

胍基乙酸和N-氨甲酰谷氨酸作为常用的精氨酸替代物，虽然在肉鸡上的应用逐渐增多，但目前对于两者的适宜添加量研究仍较少。建议着重研究不同品种、不同生长阶段下肉鸡胍基乙酸与精氨酸的最适替代率，以及N-氨甲酰谷氨酸的推荐用量，扩大两者在肉鸡上的应用，从而减少精氨酸使用量，降低饲料成本。总的来说，通过直接添加精氨酸，或使用精氨酸替代物间接增加肉鸡体内的精氨酸含量和提升精氨酸的利用率，均可达到提高肉鸡生产性能、降低饲料成本、增加肉鸡养殖效益的目的。

参考文献(References):

[1] 张怡，肖彬杉，王昆，辛翔飞，王济民. 2021年全球肉鸡生产、贸易及产业经济发展研究[J]. 中国畜牧杂志，2022,58(3):216-222. DOI:10.19556/j.0258-7033.20220111-10.
ZHANG Y, XIAO B S, WANG K, XIN X F, WANG J M. Research on global broiler production, trade and industrial economic development in 2021[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2022,58(3):216-222 DOI:10.19556/j.0258-7033.20220111-10.

[2] 张文婷，汪琛，张腾飞，商雨，王红琳，卢琴，罗玲，罗青平，邵华斌. 无抗养殖趋势下的家禽细菌病防控[J]. 中国家禽，2019,41(22):1-4. DOI: 10.16372/j.issn.1004-6364.2019.22.001.
ZHANG W T, WANG C, ZHANG T F, SHANG Y, WANG H L, LU Q, LUO L, LUO Q P, SHAO H B. Prevention and control of poultry bacteriological diseases under the trend of antibiotic-free breeding[J]. *China Poultry*, 2019(22):1-4. DOI: 10.16372/j.issn.1004-6364.2019.22.001.

[3] WU G Y , BAZER F W, DAVIS T A, KIM S W, LI P, RHOADS J M, SATTERFIELD M C, SMITH S B, SPENCER T E, YIN Y L. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease[J]. *Amino Acids*, 2009, 37(1):153-168. DOI: 10.1007/s00726-008-0210-y.

[4] WU G Y, MORRIS S M. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond [J]. *Biochemical Journal*, 1998(336):1-17. DOI: 10.1042/bj3360001.

[5] 王庆争，王尚圣，谢晓红，雷岷，郭志强，李周权. 精氨酸的免疫机制及其在动物生产中的应用[J]. 中国饲料，2018(1):49-54. DOI: 10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20180109.
WANG Q Z, WANG S S, XIE X H, LEI M, GUO Z Q, LI Z Q. The immune mechanism of arginine and its applications in animal production[J]. *China Feed*, 2018(1):49-54. DOI: 10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20180109.

[6] 王洪荣，季昀. 氨基酸的生物活性及其营养调控功能的研究进展[J]. 动物营养学报，2013, 25(3): 447-457. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2013.03.001.
WANG H R, JI Y. Advanced research in biological activities and functions of nutritional regulation of amino acids[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(3): 447-457. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2013.03.001.

[7] 刘凤菊，呙于明，王磊. 1~3周龄雌性肉仔鸡精氨酸需要量[J]. 动物营养学报，2011,23(4):571-577. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2011.04.007.
LIU F J, GUO Y M, WANG L. Arginine requirement for female broiler chicks aged from 1 to 3 weeks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011,23(04):571-577. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2011.04.007.

[8] 陈西风，刘维平. 饲粮中补充不同水平精氨酸对肉鸡生长性能及免疫的影响[J]. 中国饲料，2019(21):51-53. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20192110.
CHEN X F, LIU W P. Effects of dietary arginine supplementation on growth performance and immune status of broiler chickens[J]. *China Feed*, 2019(21):51-53. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20192110.

[9] 郭祎玮. 精氨酸对肉仔鸡生长性能和免疫功能的影响及其机理研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2014.
GUO Y W. Effects of arginine on growth performance and immune function in broilers and the underlying mechanism[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014.

[10] XU Y Q, GUO Y W, SHI B L, YAN S M, GUO X Y. Dietary arginine supplementation enhances the growth performance and immune status of broiler chickens[J]. *Livestock Science*, 2018, 209: 8-13. DOI: 10.1016/j.livsci.2018.01.001.

[11] SILVA L, MURAKAMI A E, FERNANDES J, ROSA D D, URGNANI J F. Effects of dietary arginine supplementation on broiler breeder egg production and hatchability[J]. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 2012,14(4):267–273. DOI:10.1590/S1516-635X2012000400006.

[12] 苟钟勇, 王一冰, 林厦菁, 李龙, 范秋丽, 叶金玲, 蒋守群. 黄羽肉鸡营养与饲料研究进展[J]. 广东农业科学, 2020,47(11):125–134. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.11.014.

GOU Z Y, WANG Y B, LIN X J, LI L, FAN Q L, YE J L, JIANG S Q. Research progress in nutrition and feed of yellow-feathered broiler chickens[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(11):125–134. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.11.014.

[13] 贾红敏, 韩冰, 刘向阳, 谯仕彦. 赖氨酸及其在鸡、猪营养上的研究进展[J]. 动物营养学报, 2020,32(3):989–997. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2020.03.003.

JIA H M, HAN B, LIU X Y, QIAO S Y. Advances in lysine and its nutrition in chickens and pigs[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020,32(3):989–997. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2020.03.003.

[14] 田颖, 时明慧. 赖氨酸生理功能的研究进展[J]. 美食研究, 2014,31(3):60–64. DOI:10.3969/j.issn.1009-4717.2014.03.014.

TIAN Y, SHI M H. The research progress of the physiologic functions of lysine[J]. *Journal of Researches on Dietetic Science and Culture*, 2014,31(3):60–64. DOI:10.3969/j.issn.1009-4717.2014.03.014.

[15] 范玉洁, 王晓旭, 鲍坤, 钟伟, 李光玉, 王凯英. 精氨酸在动物营养中的生理作用及其研究进展[J]. 特产研究, 2021,43(2):101–105. DOI: 10.16720/j.cnki.tcyj.2021.039.

FAN Y J, WANG X X, BAO K, ZHONG W, LI G Y, WANG K Y. Research progress on the role of arginine in animal nutrition and physiology[J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2021,43(2):101–105. DOI: 10.16720/j.cnki.tcyj.2021.039.

[16] 王纪亭, 孙存孝, 杨在宾, 高振川, 姜云侠, 张琪. 肉鸡日粮中赖氨酸与精氨酸适宜比例的研究[J]. 畜牧兽医学报, 1999,30(3):217–224. DOI:10.3321/j.issn:0366-6964.1999.03.006.

WANG J T, SUN C X, YANG Z B, GAO Z C, JIANG Y X, ZHANG Q. Study on effects of different ratios of lysine to arginine (L/A) in diets of broiler[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 1999(3):26–33. DOI:10.3321/j.issn:0366-6964.1999.03.006.

[17] 董晓丽, 谢春元, 国春艳. 1~35 日龄肉鸡日粮精氨酸与赖氨酸最佳比值的研究[J]. 中国饲料, 2019(5):42–46. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20190510.

DONG X L, XIE C Y, GUO C Y. Optimum dietary arginine to lysine ratio for growth performance from 1 to 35 days of age in broiler [J]. *China Feed*, 2019(5):42–46. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20190510.

[18] 孙丰. 日粮精氨酸和赖氨酸水平对肉仔鸡生长性能及血液生化指标的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.

SUN F. Effects of dietary arginine and lysine on growth and blood biochemical indicator in broilers[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.

[19] CORZO A, MORAN E J, HOEHLER D. Arginine need of heavy broiler males: applying the ideal protein concept[J]. *Poultry Science*, 2003,82(3):402–407. DOI:10.1093/ps/82.3.402.

[20] CASTRO F L S, SU S, CHOI H, KOO E, KIM W K. L-Arginine supplementation enhances growth performance, lean muscle, and bone density but not fat in broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(4): 1716–1722. DOI: 10.3382/ps/pey504.

[21] 贺永惠, 王清华, 苗志国, 刘保国, 何云, 刘兴友. 饲粮精氨酸水平对肉鸡肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2016,28(1):64–70. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2016.01.010.

HE Y H, WANG Q H, MIAO Z G, LIU B G, HE Y, LIU X Y. Effects of dietary arginine level on meat quality of broilers[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016,28(1):64–70. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2016.01.010.

[22] FILHO S T S, DA C LIMA E M, DE OLIVEIRA D H, DE ABREU M L T, ROSA P V, DE LAURENTIZ A C, DE P NAVES L, RODRIGUES P B. Supplemental L-arginine improves feed conversion and modulates lipid metabolism in male and female broilers from 29 to 42 days of age[J]. *Animal*, 2021, 15(2): 100120. DOI:10.1016/j.animal.2020.100120.

[23] 范秋丽, 叶金玲, 林楚晓, 林厦菁, 李龙, 邝智祥, 国春艳, 邓远帆, 蒋守群, 阮栋. 饲粮精氨酸水平对 91~120 日龄清远麻鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2021,33(7):3821–3832. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2021.07.024.

FAN Q L, YE J L, LIN C X, LIN X J, LI L, KUANG Z X, GUO C Y, DENG Y F, JIANG S Q, RUAN D. Effects of dietary arginine level on growth performance, antioxidant capacity, immune function and meat quality of Qingyuan partridge chickens during 91 to 120 days of age [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021,33(7):3821–3832. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2021.07.024.

[24] FOUAD A M, EL-SENOUSEY H K, YANG X J, YAO J H. Dietary L-arginine supplementation reduces abdominal fat content by modulating lipid metabolism in broiler chickens[J]. *Animal*, 2013, 7(8): 1239–1245.DOI:10.1017/S1751731113000347.

[25] KHALAJI S, ZAGHARI M, GANJKHANLOO M, GHAZIANI F. Arginine, soy isoflavone and hydroxypropylmethylcellulose have protective effects against obesity in broiler breeder hens fed on high energy diets[J]. *British Poultry Science*, 2013, 54(6):766–779. DOI: 10.1080/00071668.2013.843070.

[26] 杨书慧, 谭灵琳, 周建, 丁斌鹰, 刘玉兰, 易丹. L- 精氨酸对热应激肉鸡肌肉品质和抗氧化功能及能量代谢的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2014,50(19):37–41.

YANG S H, TAN L L, ZHOU J, DING B Y, LIU Y L, YI D. Effects of L-arginine on meat quality, antioxidative function, and energy metabolism of broilers under heat stress[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2014,50(19):37–41.

[27] 王庆, 曾宪军, 樊志红, 何佳楠, 康桦华, 何叔年, 陈杰, 彭新宇. 鸡球虫疫苗和抗球虫药穿梭使用对鸡球虫耐药性的影响[J]. 广东农业科学, 2022,49(3):116–123. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2022.03.013.

WANG Q, ZENG X J, FAN Z H, HE J N, KANG H H, HE S N, CHEN J, PENG X Y. Effect of chicken coccidia vaccine and anticoccidial drugs shuttle program on the drug resistance of coccidia[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2022,49(3):116–123.DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2022.03.013.

[28] 廖申权, 戚南山, 吕敏娜, 吴彩艳, 李娟, 蔡海明, 林栩慧, 胡俊菁, 于林增, 张健騑, 谢明权, 孙铭飞. 鸡球虫病流行病学、防治

药物与疫苗研究进展[J]. 广东农业科学, 2020,47(11):171–181. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2020.11.019.

LIAO S Q, QI N S, LYU M N, WU C Y, LI J, CAI H M,LIN X H, HU J J, YU L Z, ZHANG J F, XIE M Q, SUN M F. Research progress in the epidemiology, anticoccidial drugs and vaccines of avian coccidiosis [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(11):171–181. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2020.11.019.

[29] 陈玉婷, 彭新宇, 袁明贵, 孙俊颖, 何立美, 尹烨华, 魏光伟 .3 株柔嫩艾美耳球虫野外分离株的药物敏感性试验研究[J]. 广东农业科学, 2013,40(22):125–128.DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2013.22.049.

CHEN Y T, PENG X Y, YUAN M G, SUN J Y, HE L M, YIN Y H, WEI G W. Study on drug–sensitivity test of three wild strains of *Eimeria tenella*[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013,40(22):125–128. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2013.22.049.

[30] ZHANG B B, LI G, SHAHID M S, GAN L P, FAN H, LV Z P, YAN S J, GUO Y M. Dietary L–arginine supplementation ameliorates inflammatory response and alters gut microbiota composition in broiler chickens infected with *Salmonella enterica serovar typhimurium* [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(4): 1862–1874. DOI:10.1016/j.psj.2019.10.049.

[31] 林昊, 贺海莲, 王静鸽, 张振明, 陈凌云, 丁保安 . 青海海东鸡母体日粮精氨酸水平对子代雏鸡肠道形态和血清生化指标影响[J]. 饲料工业, 2021,42(6):20–25. DOI:10.13302/j.cnki.fi.2021.06.004.

LIN H, HE H L, WANG J G, ZHANG Z M, CHEN L Y, DING B A. Effects of maternal dietary arginine level on intestinal morphology and serum biochemical indices of Qinghai Haidong chicken[J]. *Feed Industry*, 2021,42(6):20–25. DOI:10.13302/j.cnki.fi.2021.06.004.

[32] 林昊 . 青海海东鸡母体日粮精氨酸和维生素 D3 水平与子代胚胎期和雏鸡肠道组织形态关系研究[D]. 西宁 : 青海大学 , 2021. DOI:10.13302/j.cnki.fi.2021.06.004.

LIN H. Study on the relationship between arginine and vitamin D3 levels in maternal diet of Haidong chicken in Qinghai province and intestinal morphology and histology of offspring during embryonic period[D]. Xining: Qinghai University, 2021.DOI:10.13302/j.cnki.fi.2021.06.004.

[33] BAREKATAIN R, CHRYSTAL P V, HOWARTH G S, MCLAUGHLAN C J, GILANI S, NATTRASS G S. Performance, intestinal permeability, and gene expression of selected tight junction proteins in broiler chickens fed reduced protein diets supplemented with arginine, glutamine, and glycine subjected to a leaky gut model[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(12): 6761–6771. DOI: 10.3382/ps/pez393.

[34] 张贝贝 . 精氨酸对肉仔鸡肠道黏膜损伤的缓解作用及机理研究[D]. 北京 : 中国农业大学, 2018.

ZHANG B B. The attenuate effects of arginine on the intestinal mucosal injury of broiler chickens and the related mechanisms[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.

[35] CASTRO F L S, TENG P Y, YADAV S, GOULD R L, CRAIG S, PAZDRO R, KIM W K. The effects of L–Arginine supplementation on growth performance and intestinal health of broiler chickens challenged with *Eimeria* spp.[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(11): 5844–5857. DOI: 10.1016/j.psj.2020.08.017.

[36] ABDULKARIMI R, SHAHIR M H, DANESHYAR M. Effects of dietary glutamine and arginine supplementation on performance, intestinal morphology and ascites mortality in broiler chickens reared under cold environment[J]. *Asian-Australalasian Journal of Animal Sciences*, 2019, 32(1): 110–117. DOI: 10.5713/ajas.17.0150.

[37] TAN J Z, APPLEGATE T J, LIU S S, GUO Y M, EICHER S S D.Supplemental dietary L–arginine attenuates intestinal mucosal disruption during a coccidial vaccine challenge in broiler chickens[J]. *British Journal of Nutrition*, 2014, 112(7): 1098–1109. DOI:10.1017/S0007114514001846.

[38] TENG P Y, CHOI J , YADAV S, TOMPKINS Y H, KIM W K. Effects of low–crude protein diets supplemented with arginine, glutamine, threonine, and methionine on regulating nutrient absorption, intestinal health, and growth performance of Eimeria–infected chickens[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(11): 101427. DOI:10.1016/j.psj.2021.101427.

[39] YAZDANABADI F I, MOHEBALIAN H, MOGHADDAM G, ABBASABADI M, SARIR H, VASHAN S J H, HAGHPARAST A. Influence of *Eimeria* spp. infection and dietary inclusion of arginine on intestine histological parameters, serum amino acid profile and ileal amino acids digestibility in broiler chicks[J]. *Veterinary Parasitology*, 2020,286:102941. DOI:10.1016/j.vetpar.2020.109241.

[40] VAN ITALLIE C M, TIETGENS A J, ANDERSON J M. Visualizing the dynamic coupling of claudin strands to the actin cytoskeleton through ZO–1[J]. *Molecular Biology of the Cell*, 2017, 28(4): 524–534. DOI: 10.1091/mbc.E16–10–0698.

[41] 陈凌云, 林昊, 贺海莲, 王静鸽, 张振明, 丁保安, FRONTE B. 海东鸡种鸡日粮精氨酸水平对子代 7 日龄雏鸡小肠黏膜中营养转运载体及消化酶基因表达影响[J]. 中国家禽, 2020,42(12):47–54. DOI: 10.16372/j.issn.1004–6364.2020.12.009.

CHEN L Y, LIN H, HE H L, WANG J G, ZHANG Z M, DING B A, FRONTE B. Effects of different levels of arginine on the gene expression of nutrient transporters and digestive enzymes in the small intestinal mucosa of 7 day old chicks in Haidong chicken[J]. *China Poultry*, 2020,42(12):47–54. DOI: 10.16372/j.issn.1004–6364.2020.12.009.

[42] 晏利琼, 廖满, 谢佳倩, 谭灵琳, 丁斌鹰, 杨书慧, 刘玉兰, 杨鹰 . L–精氨酸和 α– 酮戊二酸对热应激肉鸡肠道吸收功能、抗氧化能力、能量代谢的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2016,52(15):33–41.

YAN L Q, LIAO M, XIE J Q, TAN L L, DING B Y, YANG S H, LIU Y L, YANG Y. Effects of L–arginine and α–ketoglutaric acid on intestinal absorption, antioxidant capacity, energy metabolism of heat–stressed broilers[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2016,52(15):33–41.

[43] RUAN D, FOUAD A M, FAN Q L, HUO X H, KUANG Z X, WANG H, GUO C Y, DENG Y F, ZHANG C, ZHANG J H, JIANG S Q. Dietary L–arginine supplementation enhances growth performance, intestinal antioxidative capacity, immunity and modulates gut microbiota in yellow–feathered chickens[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(12): 6935–6945. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.042.

[44] ZHANG B B, LV Z P, LI H X, GUO S S, LIU D, GUO Y M. Dietary L–arginine inhibits intestinal *Clostridium perfringens* colonisation and attenuates intestinal mucosal injury in broiler chickens[J]. *British Journal of Nutrition*, 2017,118(5): 321–332.DOI: 10.1017/S0007114517002094.

[45] OMIDI S, EBRAHIMI M, JANMOHAMMADI H, MOGHADDAM G,

RAJABI Z, HOSSEINTABAR-GHASEMABAD B. The impact of in ovo injection of L-arginine on hatchability, immune system and caecum microflora of broiler chickens [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020, 104(1): 178–185. DOI: 10.1111/jpn.13222.

[46] 林智鑫, 周嘉鑫, 陈立圳, 高玉云, 王全溪, 王长康 . 饲粮精氨酸水平对肉仔鸡免疫功能及其抗 FAdV-4 影响的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2020,51(4):772–782.DOI:10.11843/j.issn.0366–6964.2020.04.013. LIN Z X, ZHOU J X, CHEN L Z, GAO Y Y, WANG Q X, WANG C K. Effects of dietary arginine levels on immune function and anti-FAdV-4 capacity of broilers [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*,2020,51(4):772–782.DOI:10.11843/j.issn.0366–6964.2020.04.013.

[47] GUO Y W , SHI B L , YAN S M , XU Y Q, LI J L, LI T Y. Effects of arginine on cytokines and nitric oxide synthesis in broilers [J]. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2015, 25(2): 366–371.

[48] LIU S S, TAN J Z, HU Y D, JIA X B, KOGUT M H, YUAN J M, ZHANG H F. Dietary L-arginine supplementation influences growth performance and B-cell secretion of immunoglobulin in broiler chickens [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019,103(4):1125–1134. DOI: 10.1111/jpn.13110.

[49] 谭建庄 . 日粮精氨酸对不同疾病模型肉鸡免疫功能的调节作用与机理研究[D]. 北京 : 中国农业大学, 2014.
TAN J Z. Effects of dietary L-Arginine supplementation on immune functions in broilers chickens challenged with different pathogens [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.

[50] TAN J Z, LIU S S, GUO Y M, APPLEGATE T J, EICHER S D. Dietary L-arginine supplementation attenuates lipopolysaccharide-induced inflammatory response in broiler chickens [J]. *British Journal of Nutrition*, 2014, 111(8): 1394–1404. DOI: 10.1017/S0007114513003863.

[51] PEREZ-CARBAJAL C, CALDWELL D, FARNELL M, STRINGFELLOW K, POHL S, CASCO G, PRO-MARTINEZ A, RUIZ-FERIA C A. Immune response of broiler chickens fed different levels of arginine and vitamin E to a coccidiosis vaccine and *Eimeria* challenge [J]. *Poultry Science*, 2010, 89(9): 1870–1877. DOI: 10.3382/ps.2010–00753.

[52] 张益凡, 徐颖, 胡良宇, 王梦芝 . 动物机体精氨酸和赖氨酸功能互作效应与机制的研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2022,58(6):105–110, 116. DOI: 10.19556/j.0258–7033.20210517–05.
ZHANG Y F, XU Y, HU L Y , WANG M Z. Research progress on the interaction effect and mechanism of arginine and lysine in animal body [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2022,58(6):105–110, 116. DOI: 10.19556/j.0258–7033.20210517–05.

[53] 梁姝婕,董涛,叶慧,左建军,冯定远 . 氨基酸营养对家禽免疫的影响[J]. 饲料工业, 2021,42(5):26–33. DOI: 10.13302/j.cnki.fi.2021.05.006.
LIANG S J, DONG T, YE H, ZUO J J, FENG D Y. Effects of amino acids nutrition on immunity of poultry [J]. *Feed Industry*, 2021,42(5):26–33. DOI: 10.13302/j.cnki.fi.2021.05.006.

[54] 林厦菁, 蒋守群 . 氨基酸对家禽免疫功能的影响及其调控机制[J]. 中国家禽, 2014,36(11):39–43. DOI:10.16372/j.issn.1004–6364.2014.11.017.
LIN X J, JIANG S Q. Resent advances in nutrition of amino acids and immune function of poultry [J]. *China Poultry*, 2014,36(11):39–43. DOI:10.16372/j.issn.1004–6364.2014.11.017.

[55] D'AMATO J L , HUMPHREY B D. Dietary arginine levels alter markers of arginine utilization in peripheral blood mononuclear cells and thymocytes in young broiler chicks [J]. *Poultry Science*, 2010, 89(5):938–947.DOI:10.3382/ps.2009–00611.

[56] 熊传帅, 黎力之, 周建旭, 关玮琨, 廖晓鹏, 张海波, 郭冬生, 文龙 . 精氨酸对动物肠道炎症的影响及其在畜牧生产上的应用研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2021,57(12):20–25. DOI: 10.19556/j.0258–7033.20201225–05.
XIONG C S, LI L Z, ZHOU J X, GUAN W K, LIAO X P, ZHANG H B, GUO D S, WEN L. Advances in effects of arginine on intestinal inflammation in animals and its application in animal husbandry [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2021,57(12):20–25. DOI: 10.19556/j.0258–7033.20201225–05.

[57] 梁明才, 杨林 . 精氨酸抗氧化作用机制[J]. 生物信息学, 2020,18(4):201–205. DOI: 10.12113/202007001.
LIANG M C, YANG L. Antioxidant mechanism of arginine [J]. *Chinese Journal of Bioinformatics*,2020,18(4):201–205.DOI: 10.12113/202007001.

[58] AHMAD A, SATTAR M Z A, RATHORE H A, HUSSAIN A I, KHAN S A, FATIMA T, AFZAL S, ABDULLAH N A, JOHNS E J. Antioxidant activity and free radical scavenging capacity of L-arginine and NaHS: a comparative *in vitro* study [J]. *Acta Poloniae pharmaceutica*, 2015,72(2):245–252.

[59] 苟钟勇, 蒋守群, 蒋宗勇, 郑春田, 李龙, 陈芳, 林厦菁, 范秋丽 . 饲粮精氨酸水平对黄羽肉种鸡产蛋高峰期繁殖性能的影响[J]. 动物营养学报, 2017,29(6):1904–1912. DOI:10.3969/j.issn.1006–267x.2017.06.011.
GOU Z Y, JIANG S Q, JIANG Z Y, ZHENG C T, LI L, CHEN F, LIN X J, FAN Q L. Effects of dietary arginine levels on reproductive performance of Chinese yellow-feather broiler breeders during peak period of laying [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017,29(6):1904–1912. DOI:10.3969/j.issn.1006–267x.2017.06.011.

[60] National Research Council. Nutrient requirements of poultry [M]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1994.

[61] 中华人民共和国农业部 . 鸡饲养标准 : NY/T 33–2004 [S/OL]. (2004–08–25) http://down.foodmate.net/standard/sort/5/7410.html.
Agricultural Ministry of the People's Republic of China. NY/T 33–2004 Feeding standard of chicken [S/OL]. (2004–08–25) http://down.foodmate.net/standard/sort/5/7410.html.

[62] 农业农村部 . NY/T 3645–2020 黄羽肉鸡营养需要量[S/OL]. (2020–07–27) [2020–10–27]. http://down.foodmate.net/standard/sort/5/82802.html.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs.NY/T 3645–2020 Nutrient requirements of yellow chicken [S/OL]. (2020–07–27) [2020–10–27]. http://down.foodmate.net/standard/sort/5/82802.html.

[63] 王艳玲, GICA W T, 永锋, 姜海龙 . 胍基乙酸合成代谢途径及其在动物生产中应用研究进展[J]. 饲料研究, 2022,45(5):133–137. DOI:10.13557/j.cnki.issn1002–2813.2022.05.028.
WANG Y L, GICA W T, YONG F, JIANG H L. Anabolic pathway of guanidine acetic acid and application in animals production [J]. *Feed Research*, 2022,45(5):133–137.DOI:10.13557/j.cnki.issn1002–

2813.2022.05.028.

[64] MAJDEDDIN M, BRAUN U, LEMME A, GOLIAN A, KERMANSHAHI H, DE SMET S, MICHIELS J. Guanidinoacetic acid supplementation improves feed conversion in broilers subjected to heat stress associated with muscle creatine loading and arginine sparing[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(9):4442-4453. DOI: 10.1016/j.psj.2020.05.023.

[65] MIRI B, GHASEMI H A, HAJKHODADADI I, KHALTABADI F A H. Effects of low eggshell temperatures during incubation, in ovo feeding of L-arginine, and post-hatch dietary guanidinoacetic acid on hatching traits, performance, and physiological responses of broilers reared at low ambient temperature[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(1):101548. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101548.

[66] SHARMA N K, CADOGAN D J, CHRYSTAL P V, MCGILCHRIST P, WILKINSON S J, INHUBER V, MOSS A F. Guanidinoacetic acid as a partial replacement to arginine with or without betaine in broilers offered moderately low crude protein diets[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(4):101692.DOI: 10.1016/j.psj.2021.101692.

[67] PORTOCARERO N, BRAUN U. The physiological role of guanidinoacetic acid and its relationship with arginine in broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(7):101203.DOI: 10.1016/j.psj.2021.101203.

[68] 庞美蓉, 马艳粉 . N- 氨甲酰谷氨酸在畜禽应用中的研究进展[J]. 养殖与饲料, 2021, 20(10):87-90. DOI:10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2021.10.032.
PANG M R, MA Y F. Research progress on the application of N-carbamoylglutamic acid in livestock and poultry[J]. *Animals Breeding and Feed*, 2021,20(10):87-90.DOI:10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2021.10.032.

[69] 周苗, 范馨尹, 康萌 . N- 氨甲酰谷氨酸在猪生产中的研究进展[J]. 养猪, 2022(1):33-37. DOI:10.13257/j.cnki.21-1104/s.2022.01.011.
ZHOU M, FAN X Y, KANG M. Advances of N-carbamylglutamic in pig production[J]. *Swine Production*, 2022(1):33-37. DOI:10.13257/j.cnki.21-1104/s.2022.01.011.

[70] 王春平, 吴飞 .N- 氨甲酰谷氨酸对快大型肉鸡生长性能、血清生化指标、屠宰性能及肌肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2020,32(6):2631-2637. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2020.06.022.
WANG C P, WU F. Effects of N-carbamylglutamate on growth performance, serum biochemical indexes, slaughter performance and meat quality of broilers[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020,32(6):2631-2637. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2020.06.022.

[71] 黄雅莉, 周贞兵, 贺文美, 彭婷, 侯小露 . N- 氨甲酰谷氨酸对三黄鸡生长性能、血液指标及血清游离氨基酸含量的影响[J]. 饲料工业, 2017, 38(4):49-54.DOI:10.13302/j.cnki.fi.2017.04.010.
HUANG Y L, ZHOU Z B, HE W M, PENG T, HOU X L. Effects of N-carbamylglutamate on growth performance, blood parameters and serum free amino acid content of three yellow chicken[J]. *Feed Industry*, 2017, 38(4):49-54.DOI:10.13302/j.cnki.fi.2017.04.010.

[72] 张岩, 张洁慧, 刘承惠, 张喆, 马巍, 王春强 . 日粮 NCG 水平对大骨鸡生产性能及蛋品质的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(22):34-37. DOI:10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2021.22.007.
ZHANG Y, ZHANG J H, LIU C H, ZHANG Z, MA W, WANG C Q. Effect of dietary NCG levels on production performance and egg quality of Dagu chicken hens[J]. *Feed Research*, 2021, 44(22):34-37. DOI:10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2021.22.007.

[73] HU Y, SHAO D, WANG Q, XIAO Y Q, ZHAO X, SHEN Y R, ZHANG S, TONG H B, SHI S. R. Effects of dietary N-carbamylglutamate supplementation on growth performance, tissue development and blood parameters of yellow-feather broilers[J]. *Poultry Science*, 2019,98(5):2241-2249.DOI: 10.3382/ps/pey591.

（责任编辑　崔建勋）