

小肽螯合铁对肉鸡生产性能、血液指标 及肠道健康的影响

李 芳, 罗 雄, 陈 倩

(成都蜀星饲料有限公司, 成都 611633)

摘 要: 试验旨在研究日粮中添加不同水平小肽螯合铁(SPCI)对肉鸡生长性能、血液指标及肠道健康的影响, 以为SPCI在肉鸡日粮中的合理应用提供依据。试验将500只1日龄健康AA白羽肉公鸡, 随机分为5组, 每组10个重复, 每个重复10只。对照组仔鸡饲喂基础日粮, 试验1、2、3、4组仔鸡分别饲喂添加40、80、120和160 mg·kg⁻¹的SPCI日粮(以铁计), 试验周期为21 d。结果表明, 与对照组相比, 各试验组肉鸡的日增重和21日龄体重均显著提高($P<0.05$); 血浆铁、血红蛋白和转铁蛋白饱和度均显著上升($P<0.05$); 与对照组相比, 各试验组十二指肠和空肠的绒毛高度、绒毛比均显著提高($P<0.05$), 空肠杯状细胞数量和分泌型免疫球蛋白A(SIgA)含量均显著增加($P<0.05$)。研究表明, 饲料中添加适量SPCI, 可提高肉鸡生长性能, 改善血液指标和肠道健康指标。结合生产实际, 小肽螯合铁水平40 mg·kg⁻¹时, 性价比最高, 能够满足肉鸡生长需要。

关键词: 小肽螯合铁; 生产性能; 肠道健康; 肉鸡

中图分类号: S816.7; S831.5 文献标志码: A 文章编号: 1001-0084(2026)04-0001-07

Effects of Small Peptide Chelated Iron (SPCI) on Growth Performance, Blood Indices and Intestinal Health of Broilers

LI Fang, LUO Xiong, CHEN Qian

(Chengdu Shuxing Feed Co., Ltd., Chengdu 611633, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary supplementation with different levels of small peptide chelated iron (SPCI) on growth performance, blood indices and intestinal health of broilers, and to provide a reference for the rational application of SPCI in broiler diets. A total of 500 healthy one-day-old AA white-feathered broiler cockerels were randomly allocated into five groups with 10 replicates per group and 10 birds per replicate. The control group was fed a basal diet, and the experimental groups were fed the basal diet supplemented with 40 mg·kg⁻¹ (experimental group 1), 80 mg·kg⁻¹ (experimental group 2), 120 mg·kg⁻¹ (experimental group 3) and 160 mg·kg⁻¹ (experimental group 4) of SPCI, respectively. The experiment lasted for 21 days. The results showed that compared with the control group, the average daily gain and body weight at 21 days of age in all SPCI-supplemented groups were significantly increased ($P<0.05$). Plasma iron concentration, hemoglobin concentration and transferrin saturation were also significantly increased ($P<0.05$). Compared with the control group, the villus height and villus height-to-crypt depth ratio in the duodenum and jejunum were significantly increased ($P<0.05$), and the number of goblet cells and secretory immunoglobulin A (SIgA) content in the jejunum were significantly increased ($P<0.05$). In conclusion, dietary supplementation with an appropriate level of SPCI

作者简介: 李芳(1985—), 女, 研究方向为动物营养与饲料科学, 微量元素的应用与研发。

significantly improved growth performance, blood indices and intestinal health of broilers. Considering practical production, the optimal level of SPCI with the highest cost-effectiveness was 40 mg · kg⁻¹, which could meet the growth requirements of broilers.

Key words: small peptide chelated iron; growth performance; intestinal health; broilers

铁元素作为基础核心营养元素已有大量研究, 1994年版的NRC^[1]给出肉鸡0~8周龄饲料铁的需求量为80 mg · kg⁻¹, 2004年版中国农业部《鸡饲养标准》^[2]推荐0~3周龄肉鸡饲料中铁含量为100 mg · kg⁻¹, 4周龄后为80 mg · kg⁻¹。以往对鸡铁营养需要量的研究, 主要集中在基础日粮中额外添加无机铁(如硫酸亚铁)的效应^[3-5]以及有机铁与无机铁的比较^[6-8], 结果表明有机铁在利用效率上显著优于无机铁。小肽螯合铁(SPCI)是一种新型有机铁源, 被视为第四代铁补充剂, 已成为当前动物营养研究的热点之一。相关研究表明, 肽结合矿物质具有化学稳定性高、吸收效率高和生物利用率高等优势^[9-10], 还有研究发现日粮中添加低剂量螯合微量元素有助于提高肉鸡的生长性能和抗氧化能力^[11-12], 但SPCI的添加剂量与其作用效果之间的确切关系尚缺乏系统研究。本试验依据NRC标准和国内标准以及商业饲料检测数据, 设置4个SPCI添加剂量(40、80、120和160 mg · kg⁻¹), 初步探索SPCI在肉鸡饲料中的适宜添加水平, 并研究不同剂量SPCI对肉鸡生长性能、血液指标及肠道健康的影响。

1 材料与方法

1.1 实验动物

试验选择500只1日龄健康AA白羽肉公鸡, 按照体重无差异原则随机分为5个处理组, 每个处理组10个重复, 每个重复10只鸡。对照组饲喂基础日粮, 试验1、2、3、4组分别添加40、80、120和160 mg · kg⁻¹的SPCI(以铁计, 以大豆肽为原料, 分子量<1 000 Da占比超过50%, 按氨基酸检测结果计算摩尔比为1:1)。试验周期21 d。本试验所有大宗原料均使用铁本底值较低品种, 所有矿物质等添加剂均为试剂级, 尽可能降低基础饲料中的铁含量。实测基础饲料铁含量为59.60 mg · kg⁻¹。除铁以外的饲料营养水平参考国内外相关标准, 基础饲料配方及营养水平见表1。

1.2 饲养管理

试验期间肉鸡自由采食与饮水, 网上三层笼养, 温度、湿度、光照均为全自动控制, 具体

饲养管理参数按照2014版《AA肉鸡饲养管理手册》执行。

表1 基础饲料组成及营养水平(DM基础)

原料	添加比例/%	营养水平	含量
玉米	53.06	能量/(MJ · kg ⁻¹)	13.39
稻谷	6.50	粗蛋白质/%	23.00
碎米	12.10	钙/%	1.00
大豆浓缩蛋白(CP 65.00%)	16.50	有效磷/%	0.45
酪蛋白(CP 88.90%)	7.00	赖氨酸/%	1.15
大豆油	0.60	蛋氨酸/%	0.50
DL-蛋氨酸(98.00%)	0.30	铁 ^c /(mg · kg ⁻¹)	59.60
碳酸钙	1.40		
磷酸氢钙	1.70		
氯化钠	0.30		
氯化胆碱(50.00%)	0.30		
复合维生素 ^a	0.05		
矿物预混料 ^b	0.19		
总计	100.00		

注: a为每kg饲料添加: 维生素A 10 000 IU; 维生素D₃ 2 500 IU; 维生素E 25 IU; b为每kg饲料微量元素添加: Mn(甘氨酸锰) 100 mg, Zn(甘氨酸锌) 80 mg, Cu(甘氨酸铜) 8 mg, I(碘酸钙) 0.7 mg, Se(亚硒酸钠) 0.3 mg; c为铁含量为实际检测结果。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 样品采集与处理

试验第21天称重, 每个重复选择1只鸡颈静脉采血, 制备抗凝全血和血浆样品; 颈部放血后, 解剖取十二指肠, 空肠和回肠观测肠道形态, 测定空肠中杯状细胞数量, 刮取空肠黏膜两份, 测定SIgA含量。

1.3.2 生产性能

生产性能: 试验第0天和第21天称重, 统计饲料消耗量, 并计算1~21 d的平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和耗料增重比(F/G)。计算公式如下:

ADG=(结束重-初始重)/试验天数
ADFI=试验周期内耗饲料量/试验天数
F/G=ADFI/ADG

1.3.3 血液指标

血液指标：血红蛋白(Hb)含量、红细胞压积(Hct)采用全自动分析仪检测，血浆铁、血浆铁蛋白和总铁结合力均采用南京建成生物工程研究有限公司的试剂盒检测。

转铁蛋白饱和度=血浆铁/总铁结合力×100%。

1.3.4 肠道形态学及健康指标

肠道形态学及健康指标：将肉鸡十二指肠、空肠和回肠的切片 HE 染色后使用光学显微镜拍照，采用 Image-Pro-Plus 6.0 图像分析软件，测定各样品的绒毛高度、隐窝深度，并计算绒隐比(绒毛高度/隐窝深度)。空肠杯状细胞数量，利用阿利新蓝-过碘酸-雪夫(AB-PAS)对空肠切片进行

染色，测定空肠杯状细胞数量。空肠黏膜 SIgA 含量、血浆内毒素含量，均采用南京建成生物工程研究有限公司的试剂盒检测。

1.4 数据统计与分析

利用 SAS 的 GLM 程序对所有数据进行 One-Way ANOVA 分析，数据以“平均值±标准差”表示， $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 SPCI对肉鸡生产性能的影响

饲料添加不同水平的 SPCI 对 21 日龄肉鸡生产性能的影响结果见表 2。组间日采食量、料重比以及死亡率差异不显著。与对照组相比，试验组 21 日龄肉鸡体重和日增重均显著增加($P<0.05$)。

表2 饲料中添加 SPCI对肉鸡生产性能的影响

组别	21 日龄体重/g	日增重/g	日采食量/g	料重比	死亡率/%
对照组	873.10±11.02 ^c	39.65±5.12 ^c	56.24±3.11	1.42±0.02	3.00
试验 1 组	924.38±16.02 ^b	42.10±1.42 ^b	56.98±1.25	1.35±0.03	2.00
试验 2 组	954.51±12.05 ^{ab}	43.53±3.04 ^{ab}	58.54±1.82	1.34±0.02	3.00
试验 3 组	973.32±12.10 ^a	44.44±3.42 ^a	59.10±2.05	1.33±0.02	2.00
试验 4 组	976.48±13.02 ^a	44.58±2.52 ^a	60.44±1.95	1.35±0.03	2.00

注：同列数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 SPCI对肉鸡血液指标的影响

饲料添加不同水平的 SPCI 对肉鸡血液指标的影响见表 3。试验组间红细胞压积及血浆铁含量差异均不显著。与对照组相比，试验组血浆铁、血红

蛋白和转铁蛋白饱和度均显著升高($P<0.05$)，血红蛋白和转铁蛋白饱和度随日粮中 SPCI 的添加量增加而显著提升，且除试验 4 组外各试验组血浆铁蛋白含量也显著提高。

表3 饲料中添加 SPCI对肉鸡血液指标的影响

组别	血浆铁/(mg·L ⁻¹)	血红蛋白/(g·L ⁻¹)	红细胞压积/%	血浆铁蛋白/(μg·L ⁻¹)	转铁蛋白饱和度/%
对照组	1.37±0.12 ^b	118.82±13.81 ^c	30.65±3.51	43.26±4.25 ^c	14.55±1.18 ^d
试验 1 组	2.25±0.18 ^a	138.04±15.14 ^b	32.07±2.28	67.97±2.11 ^a	21.85±2.25 ^c
试验 2 组	2.26±0.14 ^a	146.14±13.52 ^{ab}	31.46±2.26	65.83±5.56 ^a	26.51±3.81 ^{bc}
试验 3 组	2.14±0.28 ^a	146.03±13.86 ^{ab}	31.90±1.30	54.04±4.74 ^{ab}	33.74±3.54 ^a
试验 4 组	2.31±0.20 ^a	160.14±12.11 ^a	34.80±2.28	48.42±3.28 ^{bc}	33.42±4.21 ^a

注：同列数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 SPCI对肉鸡小肠健康指标的影响

饲料添加不同水平的 SPCI 对肉鸡小肠形态结构指标的影响结果如表 4 所示。相比对照组，试验组

十二指肠的绒毛高度和绒隐比均显著提高($P<0.05$)，且试验 2 组显著高于试验 1 组和试验 4 组($P<0.05$)；试验组空肠段绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度

均显著高于对照组($P<0.05$)；各组回肠段绒毛高度和隐窝深度差异不显著，试验1组和试验2组较试验3组和试验4组具有更高的绒隐比。

本试验将肉鸡空肠中杯状细胞数量和SIgA含量及血浆中内毒素含量作为肠道健康指标，结果

如表5所示。与对照组相比，试验组空肠中杯状细胞的数量显著提高($P<0.05$)，试验3组含量最高且显著高于试验4组；试验组SIgA含量显著提高($P<0.05$)，试验2、3、4组之间差异不显著。日粮中添加SPCI对血浆中内毒素含量的影响不显著。

表4 饲料中添加SPCI对肉鸡肠道形态的影响

组别	十二指肠			空肠			回肠		
	绒毛高度/ μm	隐窝深度/ μm	绒隐比V/C	绒毛高度/ μm	隐窝深度/ μm	绒隐比V/C	绒毛高度/ μm	隐窝深度/ μm	绒隐比V/C
对照组	1 187.15 $\pm$ 105.02 ^a	185.11 $\pm$ 19.58	6.55 $\pm$ 0.78 ^a	967.91 $\pm$ 120.52 ^b	171.22 $\pm$ 18.20	4.64 $\pm$ 0.28 ^b	865.22 $\pm$ 120.14	130.92 $\pm$ 13.56	5.81 $\pm$ 0.56 ^{ab}
试验1组	1 418.23 $\pm$ 125.23 ^b	186.24 $\pm$ 20.15	7.62 $\pm$ 0.55 ^b	1 194.12 $\pm$ 105.45 ^a	197.14 $\pm$ 21.54	5.53 $\pm$ 0.55 ^a	829.75 $\pm$ 95.12	142.14 $\pm$ 12.88	6.05 $\pm$ 0.47 ^a
试验2组	1 583.34 $\pm$ 125.88 ^a	186.45 $\pm$ 15.76	8.55 $\pm$ 0.46 ^a	1 142.09 $\pm$ 124.56 ^a	184.72 $\pm$ 22.10	5.58 $\pm$ 0.54 ^a	815.30 $\pm$ 108.12	143.23 $\pm$ 17.12	6.20 $\pm$ 0.49 ^a
试验3组	1 494.85 $\pm$ 115.11 ^{ab}	178.63 $\pm$ 25.22	8.42 $\pm$ 0.38 ^a	1 126.12 $\pm$ 110.23 ^a	195.43 $\pm$ 27.29	5.60 $\pm$ 0.72 ^a	783.91 $\pm$ 110.24	137.07 $\pm$ 14.20	5.65 $\pm$ 0.66 ^b
试验4组	1 398.79 $\pm$ 133.08 ^b	179.83 $\pm$ 22.18	7.82 $\pm$ 0.65 ^b	1 208.08 $\pm$ 131.02 ^a	189.20 $\pm$ 24.16	5.50 $\pm$ 0.61 ^a	841.54 $\pm$ 104.36	137.70 $\pm$ 10.23	5.68 $\pm$ 0.71 ^b

注：同列数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

表5 饲料中添加SPCI对肉鸡小肠健康指标的影响

组别	杯状细胞数量/(cells·mm ⁻²)	SIgA/(g·L ⁻¹)	血浆内毒素/(EU·mL ⁻¹)
对照组	1 515.10 $\pm$ 202.01 ^c	14.81 $\pm$ 2.54 ^c	0.99 $\pm$ 0.10
试验1组	2 108.47 $\pm$ 324.15 ^{ab}	19.89 $\pm$ 1.89 ^b	1.01 $\pm$ 0.14
试验2组	2 025.82 $\pm$ 286.17 ^{ab}	21.80 $\pm$ 2.14 ^a	1.03 $\pm$ 0.11
试验3组	2 246.88 $\pm$ 276.26 ^a	20.77 $\pm$ 3.05 ^{ab}	1.01 $\pm$ 0.12
试验4组	1 997.01 $\pm$ 305.14 ^b	23.17 $\pm$ 2.45 ^a	1.02 $\pm$ 0.17

注：同列数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 SPCI对肉鸡生产性能的影响

铁是动物体内参与氧运输与储存的关键元素。SPCI作为一种新型高效铁添加剂，能够同时提供小肽与铁元素，有助于提升动物生产性能^[13-15]。Shinde et al.在罗斯雏鸡日粮中添加蛋氨酸亚铁，结果表明与玉米-豆粕型基础日粮对照组相比，补铁组肉鸡在育成期及全期的体重增重和料重比均得到改善，胫骨和肝脏的铁浓度更高，排泄的铁较少^[16]。Yang et al.研究表明，在罗斯雏鸡日粮中添加160 mg·kg⁻¹酵母蛋白铁可显著提高日增重，并显著提高血清胆固醇水平($P<0.05$)，但胴体固醇水平有所降低，说明有机铁有不同于无机铁对脂质代谢的作用机制^[17]。本研究结果表明，SPCI能显著

提高肉鸡日增重和21日龄体重。Zamany et al.在AA肉鸡研究中发现，按NRC推荐量66%添加氨基酸微量元素时，雏鸡的平均日增重、平均日采食量最高，料重比最低，且该组与全量添加组血浆尿酸水平降低42%^[18]。Han et al.研究结果表明，以200~600 mg·kg⁻¹的混合微量元素(50%硫酸盐+50%小肽螯合物)替代1 000 mg·kg⁻¹无机微量元素，可降低817肉鸡粪便中锌和锰的排放，且对生长性能与屠宰性能无负面影响，同时血清胆固醇、尿素氮和丙二醛含量均显著下降($P<0.05$)^[19]。本研究结果表明，低剂量的SPCI并不会对动物生产性能造成负面影响。此外，Razanova et al.研究证实，整合微量元素可提高胸肌干物质和蛋白质含量，降低胸肌、腿肌和肝脏脂肪含量等^[20]。综上，有机铁

可能通过提高铁的吸收利用率, 增强机体含铁酶活性, 进而提高机体能量代谢, 提高肉鸡生长性能。本试验条件下, 推荐添加 $40\sim 80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 SPCI。

3.2 SPCI对肉鸡血液指标的影响

血红蛋白、红细胞压积、血浆铁、铁蛋白、转铁蛋白饱和度是红细胞功能和铁营养状况的核心指标。血红蛋白是红细胞内负责结合和运输氧气的蛋白质, 是判断动物是否存在贫血最直接、最常用的指标, 通常与红细胞压积一同测定, 综合评定机体红细胞功能^[21]。汤芹等研究表明, 日粮添加复合氨基酸铁组的红细胞压积、血红蛋白浓度高于硫酸亚铁组^[22]。马新燕研究表明, 日粮中添加蛋白铁, 相比于添加硫酸亚铁, 血红蛋白显著提高^[23]。Shinde et al. 研究也表明, 添加适量蛋氨酸亚铁能够显著提高血液中红细胞计数、血红蛋白浓度、红细胞压积以及血浆、胫骨和肝脏中的铁含量^[16]。本研究结果表明, 21 日龄肉鸡血液中血红蛋白随着 SPCI 添加水平的增加而增加, 红细胞压积也有所增加。原因可能是有机铁与硫酸亚铁具有不同的肠道吸收方式, 例如甘氨酸亚铁的吸收可能与 PepT1 转运吸收机制相关^[24]。

血浆铁是反映循环中可用于造血和组织利用的铁量, 血浆铁蛋白含量可反映机体总铁储备, 两个指标共同反映机体贫血程度^[25]。转铁蛋白饱和度 (Transferrin saturation, TSAT) 反映循环铁对造血组织的即时供应状态, 可作为供铁方向的参考指标, 但不等于机体整体的铁供需匹配度。相莲等研究证实, 血浆铁和 TSAT 水平与机体贫血程度密切相关, 正常情况下 $\text{TSAT}\geq 20\%$ ^[26]。傅鑫森等研究表明, 肉鸡日粮中添加赖氨酸铁和谷氨酸铁 40 、 80 和 $120\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 血清铁含量显著升高, 添加 $40\sim 120\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时血清总铁结合力显著降低^[27]。杨向科等研究表明, 日粮中添加甘氨酸铁 (Fe-Gly), 与对照组相比, Fe-Gly 组前期、中期和后期的血清铁和钙含量均显著提高 ($P<0.05$), 后期的血清锌含量也显著提高 ($P<0.05$)^[28]。本研究中, 日粮中添加 SPCI $40\sim 160\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 血浆铁含量显著升高, 血浆铁蛋白含量也有提高, 其中添加 SPCI $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时含量最高, 试验组 TSAT 均大于等于 20% , 由此说明 SPCI 的添加可以全方面改善机体铁代谢。

3.3 SPCI对肉鸡小肠形态结构及健康指标的影响

小肠形态结构, 特别是十二指肠、空肠和回肠的

绒毛高度与绒隐比, 是评价肠道消化吸收功能及黏膜健康的核心指标。本研究结果表明, SPCI 能显著提高十二指肠与空肠的绒毛高度及绒隐比, 表明其对肠道绒毛发育具有促进作用。黄河等研究表明, 适量添加牛乳铁蛋白肽可改善肠道形态, 增加绒毛高度与隐窝深度, 从而增强肠道屏障功能与吸收面积, 但过量添加则产生负面效应^[29]。本研究同样发现过量添加 SPCI 不利于肠道健康, SPCI 的适宜添加剂量为 $40\sim 80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Yoon et al. 研究表明, 抗菌肽 A3 和 P5 可调节肠道菌群结构, 抑制有害菌增殖并促进有益菌生长, 从而维持肠道微生态平衡、改善肠道健康, 这可能是 SPCI 发挥作用的潜在机制之一^[30]。

杯状细胞数量、分泌型免疫球蛋白 A (SIgA) 含量及血浆内毒素水平是评估肠道屏障功能、黏膜免疫状态及全身炎症风险的重要指标。杯状细胞通过分泌黏液保护肠上皮, SIgA 是黏膜免疫的主要效应分子, 血浆内毒素则反映肠道通透性与系统性炎症风险。王亚等研究表明, 给草鱼补充氨基酸微量元素可增加肠道绒毛高度与杯状细胞数量, 增强黏液分泌与物理屏障功能, 同时降低炎症因子水平与病原菌定植, 从而维护肠道稳态^[31]。本研究结果表明, 日粮中添加 SPCI 显著提高了空肠杯状细胞数量与 SIgA 含量。黄奇奇等研究结果也支持这一结论, 该研究发现有机微量元素可提高空肠与十二指肠绒毛高度及抗氧化酶活性, 降低血浆二胺氧化酶活性与炎症因子水平, 并提升空肠 SIgA 含量, 说明有机微量元素有助于减轻肠道炎症与氧化应激, 增强免疫防御功能^[32]。综上, 适量添加 SPCI, 可通过改善肠道形态、增强屏障功能、调节黏膜免疫及减轻炎症反应, 从而提升肉鸡肠道健康。

4 结 语

本试验结果表明, 日粮添加 $40\sim 160\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 SPCI 可显著提高 1~21 日龄 AA 肉鸡日增重与 21 日龄体重, 提升血浆铁、血红蛋白及转铁蛋白饱和度, 改善十二指肠、空肠绒毛发育, 并提高空肠杯状细胞数量与黏膜 SIgA 含量, 全面优化肉鸡铁代谢与肠道屏障、黏膜免疫功能, 且不会提高机体炎症水平。SPCI 作用效果存在剂量效应, 高添加量 ($160\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 仅进一步提升增重与血液血红蛋白指标, 肠道健康相关指标无显著改善。综合生产效益与投入成本, 基础饲粮铁本底 $59.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 条件下,

肉鸡日粮推荐 SPCI 适宜添加量为 $40\sim 80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;
 $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 可满足基础生长需求, $80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 综合
 促生长、补铁、护肠效果最佳。

[参 考 文 献]

- [1] Committee on Animal Nutrition. Nutrient requirements of poultry: Ninth revised edition[M]. Washington DC: National Academy Press, 1994.
- [2] 中华人民共和国农业部. 鸡饲养标准: NY/T 33—2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [3] 雷凯文, 吴昊, 王茜, 等. 饲料铁添加量对黄羽肉鸡生长性能、抗氧化能力和屠宰性能的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(5): 2961–2969.
- [4] 期道婷, 郑路, 吴昊, 等. 饲料铁添加水平对肉鸡生长、脂肪沉积及脂质代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(6): 3698–3707.
- [5] 马春艳, 罗绪刚, 张丽阳等. 饲料铁水平对 22~42 日龄肉仔鸡生长性能和胴体性能及肌肉品质的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(17): 53–58.
- [6] 杜爱玲. 不同铁源日粮对肉种鸡生长性能和鸡蛋铁含量的影响[J]. 中国饲料, 2018(22): 52–56.
- [7] 向荣, 李文斌, 刘爱巧, 等. 不同铁源对京红 1 号商品蛋鸡生产性能及蛋壳品质的影响[J]. 养殖与饲料, 2020(3): 21–23.
- [8] 屠友金, 邹晓庭, 唐胜球. 日粮中不同铁源对罗曼蛋鸡产蛋性能以及蛋品质的影响[J]. 浙江大学学报·农业与生命科学版, 2004(5): 561–566.
- [9] VEGARUD GE, LANGSRUD T, SVENNING C, et al. Mineral-binding milk proteins and peptides; occurrence, biochemical and technological characteristics[J]. British Journal of Nutrition, 2000, 84. DOI: 10.1017/s0007114500002300.
- [10] SUN L M, YU B, LUO Y H, et al. Effect of small peptide chelated iron on growth performance, immunity and intestinal health in weaned pigs[J]. Porcine Health Management, 2023, 9(32): 1–11.
- [11] GHASMI H A, HAJKHODADADI I, HAFIZ M, et al. Effect of advanced chelate technology based trace minerals on growth performance, mineral digestibility, tibia characteristics, and antioxidant status in broiler chickens[J]. Nutrition & Metabolism (Lond), 2020, 17(1): 94.
- [12] KONG J, QIU T, YAN X, et al. Effect of replacing inorganic minerals with small peptide chelated minerals on production performance, some biochemical parameters and antioxidant status in broiler chickens[J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13. DOI: 10.3389/fphys.2022.1027834.
- [13] 单春乔, 刘斯斯, 赵荣, 等. 小肽螯合铁对仔猪补铁效果的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2018, 12(7): 54–56, 60.
- [14] 李桂霞, 范东良. 小肽铁和卟啉铁对断奶仔猪生长性能、血液指标和粪便菌群的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(11): 34–38.
- [15] 王双龙, 鲁玲华, 王晓平. 不同水平小肽铁对仔猪生长性能、血常规指标及免疫功能的影响[J]. 饲料研究, 2025, 48(6): 38–42.
- [16] SHINDE P L, INGALE, S L, CHOI J Y, et al. Efficiency of inorganic and organic iron sources under iron depleted conditions in broilers[J]. British Poultry Science, 2011, 52(5): 578–583.
- [17] YANG C J, UUGANBAYAR D, NA S T, et al. Effects of organic iron supplementation on growth performance and body composition in broiler chicks[J]. Korean Journal of Poultry Science, 2004, 31(2): 93–100.
- [18] ZAMANY S, SEDGHI M, HAFIZI M, et al. Organic acid-based chelate trace mineral supplement improves broiler performance, bone composition, immune responses, and blood parameters[J]. Biological Trace Element Research, 2023. DOI: 10.1007/s12011–023–03555–w.
- [19] HAN X F, KONG J, ZHENG C J, et al. The effects of a mixture of small peptide chelating minerals and inorganic minerals on the production performance and tissue deposition of broiler chickens[J]. Frontiers in Veterinary Science, 2024, 11. DOI: 10.3389/fvets.2024.1380911.
- [20] RAZANOVA O P, OHORODNICHUKGM, SKOROMNA T L, et al. Meat productivity and quality of meat and liver of broiler chickens after consuming diet with mineral supplements containing chelates of cuprum, iron, zinc, and manganese[J]. Regulatory Mechanisms in Biosystems, 2024, 15(1): 159–165.
- [21] 孙健. 甘氨酸亚铁对肉鸡生理生化指标及相关基因表达量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [22] 汤芹, 林映才, 郑黎, 等. 金属氨基酸螯合物在动物营养中的应用[J]. 中国饲料, 2001(24): 14–16.
- [23] 马新燕. 肉仔鸡对有机蛋白铁相对生物学利用率及其饲料铁适宜水平的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [24] 马文强. 甘氨酸亚铁螯合物的肠道吸收特点及其生物学效应研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [25] 高牧池. 血清转铁蛋白与铁蛋白检测在缺铁性贫血中的诊断价值[J]. 实验室检测, 2025(23): 277–279.
- [26] 相莲, 李卓, 王蓓, 等. 缺铁性贫血患者红细胞内游离原卟啉、

- 血浆铁和转运铁蛋白饱和度检测水平及临床意义[J]. 海南医学, 2022, 33(22): 2892-2895.
- [27] 傅鑫森, 韩苗苗, 董元洋, 等. 新型复合氨基酸络合铁对肉鸡生产性能、血液指标和组织铁含量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(10): 126-138.
- [28] 杨向科, 颜士伟, 徐子平, 等. 甘氨酸螯合铁对疫苗应激条件下黄羽肉鸡生长性能、肉品质及血清生化、免疫和抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(6): 3728-3740.
- [29] 黄河, 庄懿, 钟国防, 等. 饲料中添加牛乳铁蛋白肽对大口黑鲈幼鱼生长性能、消化酶活力、肠道组织结构及抗病力的影响[J]. 水生生物学报, 2023, 47(3): 505-514.
- [30] YOON J H, INGALE S L, KIM J S, et al. Effects of dietary supplementation of synthetic antimicrobial peptide-A3 and P5 on growth performance, apparent total tract digestibility of nutrients, fecal and intestinal microflora and intestinal morphology in weanling pigs[J]. Livestock Science, 2014, 159(1): 53-60.
- [31] 王亚, 钟蕾, 胡毅, 等. 氨基酸微量元素螯合物对草鱼肝脏和肠道健康的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2024(7): 149-158.
- [32] 黄奇奇, 熊平文, 熊亨, 等. 复合有机微量元素对生长育肥猪肠道微量元素沉积和肠道健康的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2025, 61(6): 330-337.