



叶金玲,丁发源,张赛,林厦菁,苟钟勇,王一冰,程忠刚,阮栋,蒋守群. 31~60日龄中速型麻黄鸡小麦-高粱型饲料粗蛋白质需要量[J]. 中国农业大学学报, 2026, 31(04):152-163.

YE Jinling, DING Fayuan, ZHANG Sai, LIN Xiajing, GOU Zhongyong, WANG Yibing, CHENG Zhonggang, RUAN Dong, JIANG Shouqun. Dietary crude protein requirements of wheat-sorghum feed for medium-growing ephedra chickens aged from 31 to 60 days[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(04):152-163.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.04.12

31~60日龄中速型麻黄鸡小麦-高粱型饲料粗蛋白质需要量

叶金玲 丁发源 张赛 林厦菁 苟钟勇 王一冰 程忠刚 阮栋 蒋守群*

(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,广州 510640)

摘要 为分析小麦-高粱型饲料粗蛋白质水平对31~60日龄中速型麻黄鸡生长性能、蛋白质沉积、血浆生化指标和肝脏蛋白质代谢的影响,以确定其饲料粗蛋白质需要量,本研究根据体重一致原则选用31日龄中速型麻黄鸡母鸡900只,随机分为5个粗蛋白质水平组(依次为16%、17%、18%、19%和20%),每组6个重复(30只鸡/重复),试验期为30 d。统计并比较分析不同蛋白质组肉鸡生长性能;每重复选取1只接近平均体重的肉鸡测定机体蛋白质沉积率;每重复选取2只接近平均体重的肉鸡进行屠宰采样,测定血浆生化指标和肝脏蛋白质代谢相关指标;应用荧光定量PCR法检测肝脏蛋白质代谢关键基因mRNA表达水平的变化。结果表明:1)肉鸡平均日增重、末重和体蛋白质含量随着饲料粗蛋白质水平的提高均呈线性和二次曲线升高($P<0.05$),料重比、日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率呈二次曲线降低($P<0.05$)。与16%粗蛋白质组相比,18%粗蛋白质组体蛋白质含量、日沉积蛋白质量、蛋白质沉积率均显著提高($P<0.05$)。与18%粗蛋白质组相比,19%和20%粗蛋白质组平均日增重和末重显著降低($P<0.05$),料重比显著升高($P<0.05$);20%粗蛋白质组日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率显著降低($P<0.05$)。2)肉鸡血浆总蛋白含量和胰岛素样生长因子1(IGF-1)随着饲料粗蛋白质水平的提高均呈线性和二次曲线升高($P<0.05$)。与16%粗蛋白质组相比,18%粗蛋白质组血浆中总蛋白含量显著提高($P<0.05$)。与18%粗蛋白质组相比,20%粗蛋白质组血浆IGF-1含量显著降低($P<0.05$)。3)18%粗蛋白质水平组试鸡肝脏IGF-1、哺乳动物雷帕霉素靶蛋白、核糖体蛋白激酶1和真核生物起始因子4E结合蛋白1 mRNA表达水平显著高于16%和20%粗蛋白质水平组($P<0.05$)。综上,小麦-高粱型饲料18%粗蛋白质水平可通过改善肉鸡血浆和肝脏蛋白质代谢提高31~60日龄中速型麻黄鸡生长性能和体蛋白质沉积。本研究通过推广精准营养技术和优化饲料资源利用,不仅显著提升了中速型麻黄鸡养殖效益,还有助于实现粮食资源节约。

关键词 中速型麻黄鸡;粗蛋白质;生长性能;蛋白质代谢;蛋白质沉积

中图分类号 S831.5

文章编号 1007-4333(2026)04-0152-12

文献标志码 A

Dietary crude protein requirements of wheat-sorghum feed for medium-growing ephedra chickens aged from 31 to 60 days

YE Jinling, DING Fayuan, ZHANG Sai, LIN Xiajing, GOU Zhongyong, WANG Yibing, CHENG Zhonggang, RUAN Dong, JIANG Shouqun*

(Institute of Animal Science/State Key Laboratory of Swine and Poultry Breeding Industry/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, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

收稿日期: 2025-06-18;接受日期: 2025-12-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1300404);国家肉鸡产业技术体系岗位科学家项目(CARS-41);广东省饲料产业技术体系项目(2024CXTD14);广州市科技计划项目(2024E04J0562, 202206010168);广东省自然科学基金项目(2022A1515012069, 2024A1515012121);广东省科技创新战略创新农村科技特派员驻镇帮镇扶村项目(STKJ202209046);广东省“百千万工程”农村科技特派员第二轮重点派驻任务项目(KTP20240166)

第一作者: 叶金玲(ORCID:0000-0003-2927-6986),助理研究员,主要从事黄羽肉鸡营养与饲料研究,E-mail: 930315604@qq.com

通讯作者: 蒋守群(ORCID:0000-0002-9251-306X),研究员,主要从事黄羽肉鸡营养与饲料研究,E-mail: jsqun3100@sohu.com

Abstract The study was to analyze the effects of wheat-sorghum dietary crude protein (CP) on the growth performance, protein deposition, plasma biochemical indicators, and liver protein metabolism of medium-growing yellow-feathered broilers aged from 31 to 60 days, and to determine their dietary crude protein requirements total of 900 31-day-old medium-growing ephedra chickens were randomly divided into five CP level groups (16%, 17%, 18%, 19% and 20%), with 6 replicates in each group and 30 broilers in each replicate. The experimental period was 30 d. After the experiment, the growth performance of broilers in different groups was counted. The protein deposition rate of broilers with average body weight was determined every repeat. Two broilers per replicate with average body weight were selected for slaughter sampling, and the biochemical indexes of plasma and liver protein metabolism were determined. The changes of mRNA expression level of protein metabolism key gene in liver were detected by RT-PCR. The results showed as follows: 1) With the increase of dietary CP level, the average daily gain (ADG), body weight and the body protein content all showed linear and quadratic changes ($P < 0.05$), and the ratio of feed to weight (F/G), the daily protein deposition and protein deposition rate showed quadratic changes ($P < 0.05$). Compared with 16% CP group, 18% CP group significantly increased the body protein content, daily protein deposition, and protein deposition rate ($P < 0.05$). Compared with 18% CP group, the ADG and 60-day-old weight of 19% and 20% CP group decreased significantly ($P < 0.05$), and the F/G increased significantly ($P < 0.05$). The daily protein deposition and protein deposition rate in 20% CP group were significantly decreased ($P < 0.05$). 2) With the increase of dietary CP level, the plasma total protein content and insulin-like growth factor-1 (IGF-1) of broilers showed linear and quadratic changes ($P < 0.05$). Compared with 16% CP group, the content of total protein in plasma of 18% CP group was significantly increased ($P < 0.05$). Compared with the 18% CP group, the plasma IGF-1 content in the 20% CP group decreased significantly ($P < 0.05$). 3) The mRNA expression levels of *IGF-1*, mammalian target protein of rapamycin, ribosomal protein kinase 1 and recombinant human eukaryotic translation initiation factor 4E-Binding protein 1 in the hepatic of 18% CP level group was significantly higher than that in 16% CP level group and 20% CP level group ($P < 0.05$). In summary, a wheat-sorghum-based diet with 18% CP level could enhance the growth performance and body protein deposition of medium-growing ephedra chickens from 31 to 60 days of age by improving plasma and liver protein metabolism. The study enhances the breeding efficiency of medium-growing ephedra chickens by promoting precision nutrition technology and optimizing feed resource utilization, while also contributing to the conservation of grain resources.

Keywords medium-growing ephedra chickens; crude protein; growth performance; protein metabolism; protein deposition

综合考虑肉质品质和生长效率,中速型黄羽肉鸡在我国市场需求占比连年增长。饲料中粗蛋白质水平是解决饲养高成本和氮高排放量的关键。研究表明,蛋白质作为畜禽饲料的主要营养成分,可以对生长性能^[1-3]、氮存留率^[2]和蛋白质沉积^[4]等产生显著影响。多项研究表明,肉鸡品种、性别、生长阶段不同,其对蛋白质的需求也有所差异。张相伦等^[4]研究发现,鲁西斗鸡1~42日龄和43~84日龄每日粗蛋白质需要量分别为3.12和9.05 g,粗蛋白质需要量分别为18.55%和17.39%。本课题组前期研究结果显示,采用玉米-豆粕-棉粕型基础饲料,根据二次曲线模型估测,粗蛋白质水平为23.18%时,1~25日龄竹丝鸡可获得最佳料重比^[5];粗蛋白质水平分别为21.46%、21.41%和21.83%时,26~45日龄竹丝鸡可分别获得

最佳体重、平均日增重、料重比^[6];以生长性能为评价指标,22~42日龄快速型黄羽肉鸡饲料的适宜粗蛋白质水平为17.50%(母鸡)和19.00%(公鸡),43~63日龄快速型黄羽肉鸡(母鸡和公鸡)饲料的适宜粗蛋白质水平为17.00%^[7]。

肝脏作为氮营养素代谢的枢纽,是家禽蛋白质代谢的重要场所。类胰岛素样生长因子1(IGF-1)在黄羽肉鸡的生长发育过程中发挥着重要作用,出雏后主要由肝脏分泌,其含量与生长性能呈正相关^[8]。IGF-1通过激活哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mTOR)磷酸化核糖体蛋白激酶1(S6K1)和真核生物起始因子4E结合蛋白1(4EBP1),进而调控蛋白质合成^[9-10]。在相同营养水平下达到各自出栏体重时,中速型黄羽肉鸡的肌肉脂肪酸组成和氨基酸

含量均优于慢速型和快速型,肉质更鲜美^[8,11]。但是,在生理特性、生长速度、采食量和胴体品质等方面,快速型、中速型和慢速型黄羽肉鸡都有差异。因此,根据肉鸡品种、性别以及生长阶段配制低玉米、低豆粕型饲料,不仅能满足中速型黄羽肉鸡的粗蛋白质需要量,还可以有效指导饲料及养殖企业生产,降低养殖成本。基于此,本研究以中速型麻黄鸡母鸡为研究对象,探究低玉米-低豆粕饲料不同粗蛋白质水平对其生长性能、蛋白质沉积率的影响,并结合血浆生化指标、肝脏蛋白质代谢分析研究31~60日龄中速型麻黄鸡母鸡饲料粗蛋白质需要量,为饲料的科学配制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及设计

试验用黄羽肉鸡品种为31日龄中速型麻黄鸡母鸡,购自河源市立华牧业有限公司。本研究的执行严格遵循广东省农业科学院动物科学研究所实验动物伦理委员会制定的规则(GAASISA-2024-020),并于2024年5月30日在广东省农业科学院动物科学研究所动物营养研究试验场开展饲养试验。选用31日龄中速型麻黄鸡900只,按照体重一致原则随机分为5个饲料粗蛋白质组(依次为16%、17%、18%、19%和20%),每组6个重复栏,每个重复栏30只鸡,试验期为30 d。

1.2 试验饲料

试验采用小麦-高粱型(圆柱形-颗粒料)饲料。根据2024年第35版《中国饲料成分及营养价值表》与标准《黄羽肉鸡营养需要量》(NY/T 3645—2020)^[12]科学配制试验饲料。主要通过调节玉米、高粱、豆粕、豆油、玉米蛋白粉的添加量,配制不同粗蛋白质水平的试验饲料,详见表1。

1.3 饲养管理

试验鸡采用地面平养,饲养管理和常规免疫程序参照《黄羽肉鸡规模化健康养殖综合技术》^[13]进行。试验期内每天定时记录舍内温度和相对湿度,并观察试验鸡的健康状况。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能

以重复为单位空腹称重,记录试验鸡的31日龄体重和60日龄体重,计算生长性能的各指标(平均日增重、平均日采食量、料重比和死淘率)。

1.4.2 样品采集与制备

1)31日龄时,全群鸡中随机选取肉鸡6只;61日龄时,每重复随机选取1只肉鸡,均采用窒息处死。窒息处死的试验肉鸡剖开腹腔后清除消化内容物(在本研究中设定为空体),并称重。空体样品的制作、机体粗蛋白质含量的测定以及粗蛋白质沉积的计算均参考本课题组成员林厦菁等^[7]的方法。按以下公式计算得出蛋白质沉积率:

$$\text{蛋白质沉积率} = [(T_{60} \times C_{60} - T_{31} \times C_{31}) / (\text{总耗料量} \times \text{饲料粗蛋白质含量})] \times 100\% \quad (1)$$

日沉积蛋白质量 = $[(T_{60} \times C_{60} - T_{31} \times C_{31})] / 30$ (2)
式中: T 为某日龄空体绝干重, g ; C 为某日龄空体粗蛋白质含量, %。

2)60日龄当天20:00断料供水,次日早上每重复采取2只接近平均体重试验鸡的翅静脉血于绿色抗凝管中,然后按照2 000 g的转速常温离心10 min后分装于无菌EP管中,最后保存于-80℃超低温冰箱备测血浆生化指标;同一部位取2份肝脏组织样品,1份固定,1份装于无菌2 mL EP管中,保存于-80℃超低温冰箱备测蛋白质代谢酶酶活,以及相关基因的mRNA表达水平。

1.4.3 血浆生化指标和肝脏蛋白质代谢指标

肝脏样品10%匀浆液的制备以及总蛋白含量的测定方法参考Ye等^[14]方法操作。运用南京建成生物工程研究所的生化试剂盒测定血浆生化指标包括总蛋白(TP)、球蛋白(GLB)、白蛋白(ALB)、尿酸(UA)的含量,以及肝脏中谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)活性。血浆中胰岛素样生长因子1(IGF-1)含量、生长激素(GH)和胰岛素样生长因子结合蛋白5(IGFBP-5)含量采用酶联免疫吸附试验(ELISA)法测定,以上试剂盒均购自江苏酶免实业有限公司。以上所有指标的详细检测方法参照相应试剂盒说明书操作,用SYNERGY H1多功能酶标仪(BioTek,美国)测定OD值。

1.4.4 基因表达检测

肝脏样品中相关基因表达的检测方法和步骤参考Ye等^[14]。从GenBank中鸡目的基因编码区的保守序列设计特异性引物进行实时荧光定量PCR(qRT-PCR),所需引物由生工生物工程(广州)股份有限公司合成,引物序列详见表2。以 β -肌动蛋白(β -actin)为内参基因,计算目的基因的表达水平采用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 方法。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)
Table 1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)

项目 Item	粗蛋白质水平/% Crude protein levels				
	16	17	18	19	20
原料/% Ingredient					
玉米 Corn	23.47	18.46	13.35	8.43	3.21
小麦 Wheat	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
高粱 Sorghum	16.00	18.00	20.00	22.00	24.00
豆粕 Soybean meal	2.00	4.50	7.00	9.20	11.80
菜籽粕 Rapeseed meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
葵花粕 Sunflower meal	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	3.10	3.30	3.50	3.80	4.00
豆油 Soybean oil	2.60	3.00	3.50	4.00	4.50
石粉 Limestone	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl(98.5%)	0.54	0.48	0.42	0.37	0.32
DL-蛋氨酸 DL-Methionine(99%)	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient level ¹⁾					
氮校正代谢能/(MJ/kg) MEn	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13
粗蛋白质/% CP	16.04	17.03	18.02	19.01	20.04
赖氨酸/% Lys	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
蛋氨酸/% Met	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
色氨酸/% Trp	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
苏氨酸/% Thr	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
钙/% Ca	0.74	0.73	0.76	0.75	0.76
总磷/% P	0.55	0.56	0.55	0.54	0.55
非植酸磷/% NPP	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29

注：¹⁾预混料为每千克饲料提供：维生素 A 9 000 IU, 维生素 D₃ 500 IU, 维生素 E 35 IU, 维生素 K₃ 2.2 mg, 维生素 B₃ 35 mg, 维生素 B₅ 10 mg, 维生素 B₇ 0.10 mg, 维生素 B₉ 0.7 mg, 维生素 B₁₂ 15 μg, 胆碱 1 000 mg, 铁(FeSO₄·7H₂O) 80 mg, 铜(CuSO₄·5H₂O) 7 mg, 锰(MnSO₄·H₂O) 60 mg, 锌(ZnSO₄·7H₂O) 60 mg, 碘(KI) 0.6 mg, 硒(Na₂SeO₃) 0.15 mg。²⁾氮校正表观代谢能、氨基酸和非植酸磷为计算值；粗蛋白质、钙和总磷为实际试验测定值, 分别参照 GB/T 6432—2018、GB/T 6436—2018、GB/T 6437—2018 方法进行测定。

Note: ¹⁾The premix provided the following per kg of the diet : VA 9 000 IU, VD₃ 500 IU, VE 35 IU, VK₃ 2.2 mg, VB₃ 35 mg, VB₅ 10 mg, VB₇ 0.10 mg, VB₉ 0.7 mg, VB₁₂ 15 μg, choline 1 000 mg, Fe(FeSO₄·7H₂O) 80 mg, Cu(CuSO₄·5H₂O) 7 mg, Mn(MnSO₄·H₂O) 60 mg, Zn(ZnSO₄·7H₂O) 60 mg, I (KI) 0.6 mg, Se(Na₂SeO₃) 0.15 mg。²⁾MEn, amino acid, and NPP were calculated values, the calculation was made according to the values of each feed material in the *Tables of Feed Composition and Nutritive Values in China* (35rd edition, 2024); CP, Ca and TP were measured values, and methods in GB/T 6432-2018, GB/T 6436-2018 and GB/T 6437-2018 were used for determination, respectively.

表2 qRT-PCR引物序列
Table 2 qRT-PCR primer sequences

基因 Gene	GenBank 登录号 GenBank accession number	引物序列(5'-3') Primer sequences(5'-3')	退火温度/℃ Annealing temperature
类胰岛素样生长因子1 <i>IGF-1</i>	NM_001004384.2	F:CATTTCTTCTACCTTGGC R:TCATCCACTATTCCCTTG	60
哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 <i>mTOR</i>	XM_417614.7	F:GGTGATGACCTTGCCAAACT R:CTCTTGTCATCGCAACCTCA	60
核糖体蛋白激酶1 <i>S6K1</i>	NM_001030721.1	F:TGGACCATGGAGGAGTTGG R:AGCACTCCGGTCGGATCTT	58
真核生物起始因子4E结合蛋白1 <i>4EBP1</i>	XM_424384.7	F:GCGAATGTAGGTGAAGAAGAG R:AACAGGAAGGCACTCAAGG	60
β -肌动蛋白 <i>β-actin</i>	NM_205518.2	F:GAGAAATTGTGCGTGACATCA R:CCTGAACCTCTCATTGCCA	60

1.5 数据处理及统计分析

使用SAS 9.0的PROC ANOVA程序对各项指标进行方差分析, $P<0.05$ 判断处理效应差异显著性。使用Duncan氏多重比较法,对各处理组的均值进行两两比较。最后,通过正交多项式对比(Orthogonal polynomial contrasts)分析处理效应的趋势(线性和二次效应)。试验数据结果以平均值与标准误形式表示。对差异显著的重要的检测指标进行二次曲线拟合分析,进而得到以该指标为基础的最适宜的饲粮粗蛋白质水平。计算公式如下:

$$y = Ax^2 + Bx + C \tag{3}$$

$$x_0 = -B / (2 \times A) \tag{4}$$

式中:A代表二次项系数,B代表一次项系数,C代表常数项,y代表差异显著指标测定值,x代表饲粮粗蛋白质水平, x_0 为最适宜的饲粮粗蛋白质水平。

2 结果与分析

2.1 小麦-高粱型饲粮粗蛋白质水平对中速型麻黄鸡生长性能和体蛋白质沉积率(干物质基础)的影响

如表3所示,随着小麦-高粱型饲粮中粗蛋白质水平的提高,31~60日龄肉鸡平均日增重、60日龄体重、粗蛋白质日摄入量和体蛋白质含量呈线性和二次曲线升高($P<0.05$),料重比、日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率呈二次曲线降低($P<0.05$)。与16%粗蛋白质组相比,18%粗蛋白质组肉鸡粗蛋白质日摄入量、体蛋白质含量、日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率显著升高($P<0.05$)。与17%粗蛋白质

组相比,18%粗蛋白质组肉鸡粗蛋白质日摄入量显著升高($P<0.05$)。与18%粗蛋白质组相比,19%和20%粗蛋白质组肉鸡平均日增重和60日龄体重显著降低($P<0.05$),料重比显著升高($P<0.05$);20%粗蛋白质组肉鸡粗蛋白质日摄入量显著升高($P<0.05$),日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率显著降低($P<0.05$)。

2.2 小麦-高粱型饲粮粗蛋白质水平对60日龄中速型麻黄鸡血浆生化指标和肝脏蛋白质代谢酶活性的影响

如表4所示,随着小麦-高粱型饲粮中粗蛋白质水平的提高,60日龄肉鸡血浆总蛋白含量和胰岛素样生长因子1(IGF-1)均呈线性和二次曲线升高($P<0.05$)。与16%、19%和20%粗蛋白质组相比,17%和18%粗蛋白组60日龄血浆总蛋白含量显著提高($P<0.05$)。与20%粗蛋白质组相比,17%和18%粗蛋白质组60日龄中速型麻黄鸡血浆IGF-1均显著提高($P<0.05$)。饲粮粗蛋白质水平对60日龄中速型麻黄鸡肝脏关键蛋白质代谢酶活性均无显著影响($P<0.05$)。

2.3 小麦-高粱型饲粮中粗蛋白质水平对60日龄中速型麻黄鸡肝脏IGF-1/mTOR通路关键基因mRNA表达水平的影响

由图1可知,饲粮粗蛋白质水平对肝脏IGF-1/mTOR信号通路关键基因mRNA表达水平具有显著影响。随着饲粮粗蛋白质水平的提高,试鸡肝脏IGF-1、mTOR、S6K1和4EBP1 mRNA表达水平呈

表 3 小麦-高粱型饲料粗蛋白水平对 31~60 日龄中速型麻黄鸡生长性能和体蛋白质沉积率(干物质基础)的影响

Table 3 Effects of the wheat-sorghum dietary crude protein levels on growth performance and rate of protein deposition (dry matter basis) of medium-growing ephedra chickens from 31 to 60 days

项目 Item	饲料粗蛋白质水平 Dietary crude protein level					SEM	P 值 P value			
	16%	17%	18%	19%	20%		粗蛋白 质水平 CP level	线性 Linear	二次 Quadratic	
生长性能										
Growth performance										
31 日龄体重/g 31 d BW	644.00	644.44	643.78	644.06	644.00	0.27	0.519	0.653	0.903	
60 日龄体重/g 60 d BW	1 520.43 ab	1 536.78 ab	1 558.56 a	1 483.00 b	1 478.25 b	16.73	0.009	0.015	0.036	
平均日采食量/g ADFI	95.48	92.79	93.50	92.09	91.16	1.40	0.277	0.037	0.114	
平均日增重/g ADG	29.21 ab	29.74 ab	30.49 a	27.96 b	27.81 b	0.56	0.009	0.016	0.035	
料重比 F/G	3.27 ab	3.13 ab	3.07 b	3.29 a	3.28 a	0.05	0.004	0.206	0.008	
粗蛋白质日摄入量/g Daily CP intake	15.31c	15.80c	16.85 b	17.51 b	18.27 a	0.23	<0.001	<0.001	<0.001	
死亡率/% Mortality	1.11	0.00	0.56	0.00	1.11	0.68	0.563	0.999	0.378	
体蛋白质沉积率										
Rate of protein deposition										
体蛋白质含量/% Body protein content	43.47 b	45.78 ab	49.14a	49.69a	46.43ab	0.70	0.020	0.047	0.005	
日沉积蛋白质量/g Daily protein deposition	4.73 b	5.63 ab	6.56a	5.66ab	4.93b	0.19	0.012	0.765	0.003	
蛋白质沉积率/% Rate of protein deposition	30.90 bc	35.72 ab	38.96a	32.35bc	26.91c	1.16	0.005	0.171	0.001	

注：同一行数据肩标的不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；含相同字母或未标注字母表示差异不显著($P>0.05$)。表 4 同。

Note: The different lowercase letters on the shoulder of the same row of data indicate significant differences ($P<0.05$). The presence of the same letter or unmarked letters indicates that the difference is not significant ($P>0.05$). The same as Table 4.

先上升后下降的趋势；18% 粗蛋白质水平组试鸡肝脏 *IGF-1*、*mTOR*、*S6K1* 和 *4EBP1* mRNA 表达水平显著高于 16% 粗蛋白质水平组 ($P<0.05$)。与 16% 粗蛋白质水平组相比，20% 粗蛋白质水平对肝脏 *IGF-1*/*mTOR* 信号通路关键基因 mRNA 表达水平均无显著影响 ($P>0.05$)。

2.4 二次曲线回归分析评估饲料粗蛋白质需要量

由表 5 可知，通过二次曲线回归方程拟合进行估测，31~60 日龄中速型麻黄鸡母鸡粗蛋白质需要量以平均日增重为效应指标是 17.50%，每日需要量为 16.36 g/d；以料重比为效应指标是 17.80%，每日需要量为 16.64 g/d；以体蛋白质含量为效应指标是 18.35%，每日需要量为 17.16 g/d；以日蛋白质沉积质量为效应指标是 17.98%，每日需要量为 16.81 g/d；

以蛋白质沉积效率为效应指标是 17.67%，每日需要量为 16.52 g/d；以血浆总蛋白含量为效应指标是 17.63%，每日需要量为 16.48 g/d；以血浆 *IGF-1* 含量为效应指标是 17.55%，每日需要量为 16.40 g/d。

3 讨 论

3.1 小麦-高粱型饲料中粗蛋白质水平对 31~60 日龄中速型麻黄鸡生长性能和体蛋白质沉积的影响

生长性能是衡量畜禽机体生长情况、饲喂饲料成效、估测转化率及经济效益的关键指标。本研究结果显示，饲料粗蛋白质水平对 31~60 日龄中速型麻黄鸡平均日采食量没有显著影响，这与耿爱莲等^[15]在 1~42 日龄新配套系商品代北京油鸡、张正菲等^[16]在 1~42 日龄盐津乌骨鸡的研究结果相一

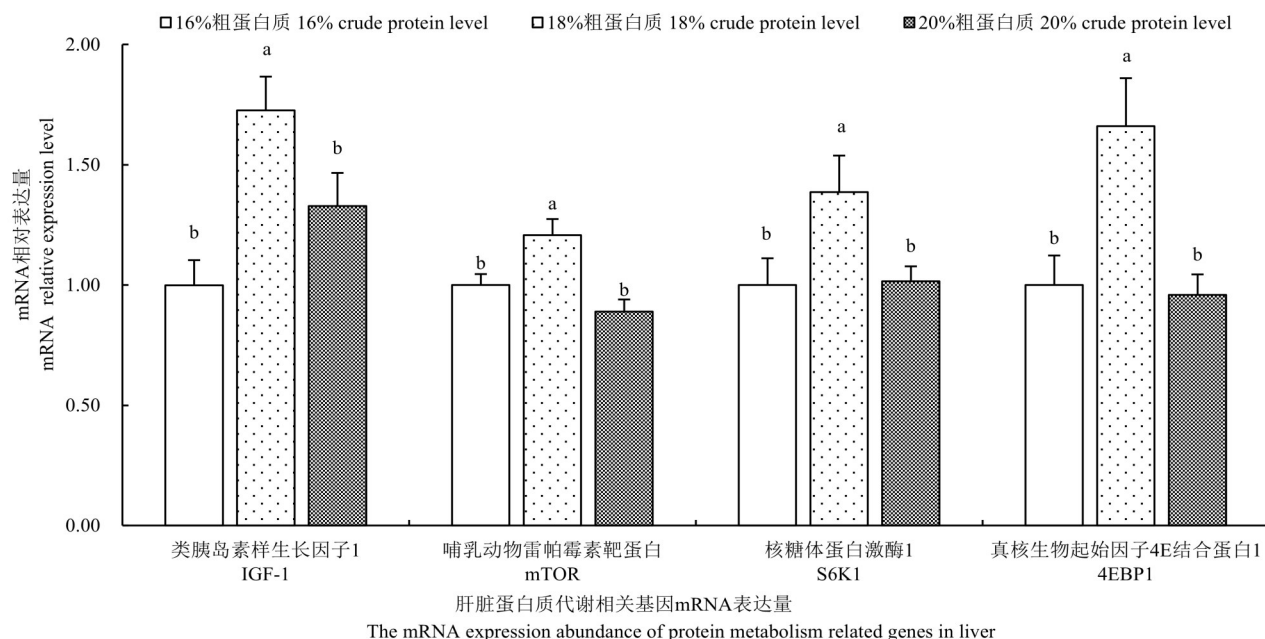
表4 小麦-高粱型饲料中粗蛋白水平对60日龄中速型麻黄鸡血浆生化指标和肝脏蛋白质代谢酶的影响

Table 4 Effects of the wheat-sorghum dietary crude protein levels on plasma biochemical indicators and liver protein metabolism enzymes on 60 day old medium-growing ephedra chickens

项目 Item	饲料粗蛋白质水平 Dietary crude protein level					SEM	P值 P-value		
	16%	17%	18%	19%	20%		粗蛋白 质水平 CP level	线性 Linear	二次 Quadratic
血浆生化指标 Plasma biochemical indicator									
总蛋白/(g/L) TP	21.43 b	24.04 a	24.23 a	21.39 b	19.67 b	0.42	0.001	0.046	<0.001
白蛋白/(g/L) ALB	13.02	13.71	13.99	13.83	13.43	0.39	0.947	0.727	0.688
球蛋白/(g/L) GLB	9.66	10.71	9.54	9.62	7.31	0.48	0.282	0.098	0.107
白蛋白/球蛋白 ALB/GLB	1.75	1.18	1.63	1.95	1.67	0.09	0.130	0.444	0.649
尿酸/(μmol/L) UA	327.02	334.71	347.89	344.65	351.25	9.42	0.928	0.382	0.665
生长激素/(μg/L) GH	14.91	16.53	15.59	15.81	14.88	0.51	0.843	0.851	0.646
胰岛素样生长因子1/(μg/L) IGF-1	27.73 ab	30.06 a	30.15 a	27.62 ab	24.90 b	0.57	0.017	0.043	0.003
胰岛素样生长因子结合 蛋白5/(μg/L) IGFBP-5	11.64	11.74	12.42	11.60	11.16	0.25	0.622	0.530	0.384
肝脏蛋白质代谢酶 Liver protein metabolism enzymes									
谷草转氨酶/(U/g) AST	4.46	5.23	5.55	5.29	5.16	0.14	0.184	0.179	0.053
谷丙转氨酶/(U/g) ALT	3.24	2.91	3.05	3.12	3.16	0.09	0.835	0.963	0.679
谷草转氨酶/谷丙转氨酶 AST/ALT	1.44	1.71	1.89	1.81	1.66	0.07	0.312	0.255	0.090

致。但是,饲料粗蛋白质水平对1~42日龄北京油鸡的周平均采食量有显著影响,随粗蛋白质水平升高呈上升趋势,推荐其饲料粗蛋白质水平19%^[1]。付曦瑶^[17]研究发现,随着粗蛋白水平的提高,56~70日龄中国山鸡母鸡平均日采食量和料重比呈线性、二次曲线和三次曲线降低,平均日增重呈二次曲线和三次曲线升高;结合生产成本和养殖效益,推荐56~70日龄中国山鸡母鸡饲料粗蛋白质水平为22.73%。饲料粗蛋白质水平显著改变了1~56日龄慢速型黄羽肉鸡母鸡平均日增重和料重比,18%粗蛋白质组平均日增重和28日龄末重显著低于20%粗蛋白质组,但其料重比显著高于20%粗蛋白质组;16%粗蛋白质组平均日增重和56日龄末重显

著低于17%和18%粗蛋白质组,但其料重比显著高于17%和18%粗蛋白质组,推荐1~28日龄慢速型黄羽肉鸡母鸡饲料粗蛋白质水平为20%;29~56日龄饲料粗蛋白质水平为17%^[18]。范秋丽等^[6]以26~45日龄竹丝鸡为试验对象发现,18.50%~22.50%粗蛋白质水平显著影响竹丝鸡终末体重、平均日增重和料重比,且随着粗蛋白质水平的升高,终末体重和平均日增重呈线性和二次曲线升高,料重比呈线性和二次曲线降低,建议饲料粗蛋白质水平为21.40%~21.83%,与本研究结果基本一致。综上,说明适宜的粗蛋白质水平有助于为机体提供更为均衡的营养,而过高不仅会降低饲料的利用率,还增加了饲养成本和氮排放量。通



不同字母上标表示差异显著, $P < 0.05$ 。

Bars with different letters are statistically different, $P < 0.05$.

图 1 饲料粗蛋白质水平对中速型麻黄鸡肝脏蛋白质代谢相关基因表达量的影响

Fig. 1 Effects of dietary crude protein level on mRNA expression abundance of protein metabolism related genes in liver tissue of medium-growing ephedra chickens

表 5 二次曲线回归模型估测饲料最佳粗蛋白质水平

Table 5 Estimations of optimal dietary crude protein level based on quadratic regression models

项目 Item	回归方程 Regression equation	R^2	P 值 P value	最佳粗蛋白质 水平/% Optimal crude protein level	每日粗蛋白质需 要量/(g/d) Daily crude protein requirement
平均日增重/g ADG	$y = -0.331x^2 + 11.473x - 69.434$	0.686	0.035	17.50	16.36
料重比 g/g F/G	$y = 0.0386x^2 - 1.371x + 15.304$	0.589	0.008	17.80	16.64
体蛋白质含量/% Body protein content	$y = -1.177x^2 + 43.200x - 346.640$	0.773	0.005	18.35	17.16
日沉积蛋白质量/g Daily protein deposition	$y = -0.370x^2 + 3.310x - 113.310$	0.723	0.003	17.98	16.81
蛋白质沉积率/% Rate of protein deposition	$y = -2.103x^2 + 74.343x - 619.420$	0.885	0.001	17.67	16.52
总蛋白/(g/L) TP	$y = -0.835x^2 + 29.443x - 235.610$	0.896	<0.001	17.63	16.48
胰岛素样生长因子 1/ (μ g/L) IGF-1	$y = -0.9086x^2 + 31.899x - 249.890$	0.971	0.003	17.55	16.40

过剂量-效应二次曲线回归方程估测,分别以平均日增重、料重比为效应指标,得到31~60日龄中速型麻黄鸡母鸡的粗蛋白质需要量分别为17.50%和17.80%,比估测粗蛋白质水平稍低一些;每日粗蛋白质需要量为16.36和16.64 g/d。结果显示,与《黄羽肉鸡营养需要量》标准(NY/T 3645—2020)^[12]中此生长阶段的参考值(17.50%)相比存在一定偏差,推测与饲料类型或组成有关。

蛋白质沉积量和蛋白质沉积率是衡量家禽蛋白质沉积效率的重要指标^[16]。本研究结果显示,31~60日龄中速型麻黄鸡体蛋白质含量随着饲料粗蛋白质水平的增加呈线性和二次曲线增加,这与范秋丽等^[19]在竹丝鸡上的研究报道一致,但与林厦菁等^[7]在快速型黄羽肉鸡上的报道不一致。张相伦等^[4]研究发现,饲料粗蛋白质水平对1~12周龄鲁西斗鸡粗蛋白质摄入量、粗蛋白质沉积量影响显著,在1~42日龄时,随饲料粗蛋白质水平的升高鲁西斗鸡蛋白质沉积率显著降低,17.3%组粗蛋白质沉积率显著高于19.3%组。张正菲等^[16]研究发现,43日龄盐津乌骨鸡低蛋白质组(17.4% CP、18.7% CP)蛋白质沉积率显著高于高蛋白质组(20% CP、21.3% CP和22.6% CP)。以上研究结果提示,遗传背景和生长周期上的差异会导致它们在蛋白质利用和沉积效率上的差异。本研究结果表明,随饲料粗蛋白质水平的升高,31~60日龄肉鸡体蛋白质含量、日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率均呈现先升高后降低的趋势,说明饲料粗蛋白质水平供应不足,机体的正常代谢受阻进而使得蛋白质沉积率偏低;当供给过高时,由于不能完全被机体消化吸收同样会造成机体代谢紊乱,还可能出现腹泻等症状,也会造成蛋白质沉积率降低。通过剂量-效应二次曲线回归方程估测,分别以体蛋白质含量、日沉积蛋白质量和蛋白质沉积率为效应指标,得到31~60日龄中速型麻黄鸡母鸡的粗蛋白质需要量分别为18.35%、17.98%和17.67%,每日粗蛋白质需要量为17.16、16.81和16.52 g/d。

3.2 小麦-高粱型饲料中粗蛋白水平对中速型麻黄鸡血浆生化指标的影响

血浆生化指标中的总蛋白、白蛋白和球蛋白含量,是体现摄入蛋白质在机体内的吸收和代谢情况的重要指标^[18]。阮栋等^[18]研究发现,饲料粗蛋白质

水平显著影响1~28日龄慢速型黄羽肉鸡母鸡血浆总蛋白和白蛋白含量,但饲料粗蛋白质水平对29~56日龄肉鸡血浆总蛋白和白蛋白含量无显著影响。但付曦瑶^[17]发现饲料蛋白质水平过高会导致血浆中总蛋白和白蛋白含量降低。本研究结果显示,60日龄肉鸡血浆总蛋白随饲料粗蛋白质水平的升高呈现先升高后降低的趋势,说明只有适宜的饲料蛋白质水平才有利于机体对氮沉积和蛋白质的利用。尿酸作为蛋白质消化分解后的终产物,是衡量蛋白质利用情况的关键指标^[7]。本课题组前期研究发现,饲料粗蛋白质水平显著影响22~42日龄快大型黄羽肉鸡母鸡血清尿酸含量,对43~63日龄母鸡血清尿酸含量无显著影响;饲料粗蛋白质水平显著影响22~42日龄和43~63日龄快大型黄羽肉鸡公鸡血清尿酸含量^[7]。本研究发现,饲料粗蛋白质水平对31~60日龄肉鸡血浆中尿酸含量无显著影响,与林厦菁等^[7]在43~63日龄快大型黄羽肉鸡母鸡与阮栋等^[18]在1~28日龄慢速型黄羽肉鸡母鸡上的研究结果相一致。以上研究结果说明,饲料粗蛋白质水平对肉鸡血浆蛋白质代谢的影响主要受性别和生长阶段的影响。

IGF-1主要由肝脏分泌,通过调节胰岛素生长因子结合蛋白(IGFBPs)来诱导细胞反应,并能够介导生长激素(GH)生成,并与体内大多数器官的生长发育和功能有关^[8]。武佳玉^[20]以7~12周龄蛋鸡为试验对象的最新研究发现,从肝脏转录组的差异表达基因中筛选了与生长相关的基因,包括IGF-1和IGFBP-5。本研究结果表明,随饲料粗蛋白质水平的增加,肉鸡血浆IGF-1含量呈线性和二次曲线升高,且IGF-1含量的变化趋势与平均日增重一致,此结果与范秋丽等^[5]在竹丝鸡上的研究粗蛋白质需要量的结果相似。这说明31~60日龄生长中期肉鸡生长速度较快,同时这个结果也与本研究中蛋白质代谢、体蛋白质沉积率和生长性能的变化趋势相呼应。由此可以推测,饲料粗蛋白质水平对中速型麻黄鸡血浆生化指标的影响与生长阶段息息相关。因此,在饲养过程中,应根据肉鸡的不同生长阶段,科学搭配饲料,确保蛋白质的合理供给,才更有利于其生长发育并能获得最佳的生长性能。

3.3 小麦-高粱型饲料中粗蛋白质水平对中速型麻黄鸡肝脏蛋白质代谢的影响

谷草转氨酶和谷丙转氨酶是肝脏细胞损伤程

度以及衡量其功能的主要指标。本研究结果显示,饲料粗蛋白质水平对60日龄黄羽肉鸡肝脏氨基酸代谢酶的活性均无显著影响。这表明肉鸡肝脏没有受到损害,饲料氨基酸的平衡状况较好。

肝脏也是家禽出雏后分泌IGF-1的重要器官,当其分泌不足时会直接导致机体循环中IGF-1浓度降低,从而影响其生长发育^[8]。在白鹅上的研究发现,18%组苏牧白鹅肝脏组织中IGF-1 mRNA表达量显著低于16%组和20%组,且这两组之间无显著差异^[21]。本研究结果显示,肉鸡肝脏IGF-1 mRNA的相对表达量随着饲料中粗蛋白质水平的变化呈先升高后降低的趋势;当饲料蛋白质水平增加到18%时,肝脏IGF-1表达量达到最佳,与血浆中IGF-1含量对应一致。研究表明,IGF-1可以激活mTOR,并通过S6K1和4EBP1 2个不同的靶点来促进体内蛋白质的合成^[22-23]。本研究发现,饲料粗蛋白质水平的不断增加引起肝脏IGF-1/mTOR信号通路关键基因mRNA表达丰度也呈先上升后下降的趋势。由此推测,当饲料蛋白质水平增加到18%时,其可能通过诱导黄羽肉鸡肝脏分泌IGF-1进而激活mTOR信号通路,促进肝脏蛋白质合成代谢^[24-25],过高则会抑制该作用,这与机体蛋白质沉积的结果也相对应。

3.4 中速型黄羽肉鸡饲料粗蛋白质需要量的探讨

通过做梯度试验确定的某一营养物质的需要量^[26-27],与试验设计梯度中的一个水平点通常会存在一定偏差。本研究中所做的血浆生化指标和肝脏蛋白质代谢等指标均是围绕肉鸡机体蛋白质代谢和生长发育情况;并且,非线性回归模型中蛋白质沉积率和血浆生化指标(总蛋白和IGF-1含量)的决定系数(R^2)大于0.88,说明该阶段机体蛋白质沉积和血浆生化指标与饲料粗蛋白质水平比较符合二次曲线回归方程。因此,建议以机体蛋白质沉积指标(蛋白质沉积率)为首要选择,推荐31~60日龄中速型黄羽肉鸡母鸡饲料粗蛋白质水平为17.67%;其次考虑血浆生化指标(总蛋白和IGF-1含量),建议饲料粗蛋白质水平依次为17.63%和17.55%。综合考虑,建议此阶段中速型麻黄鸡母鸡饲料粗蛋白质水平主要维持在17.55%~17.67%为宜。但大于《黄羽肉鸡营养需要量》标准(NY/T 3645—2020)^[12]中此生长阶段的参考值(17.50%),推测可能与基础饲料中的组成成分密

切相关。小麦和高粱中的抗营养因子会增加动物消化道食糜粘度,降低了营养物质的吸收,建议小麦型/高粱型饲料需要添加复合酶制剂和功能性活性物质如益生菌等^[28]。

4 结 论

在本研究条件下,当小麦-高粱型饲料氮校正表观代谢能为12.13 MJ/kg,赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸水平分别为0.97%、0.41%、0.66%和0.20%时,粗蛋白质水平为18%时可通过改善肉鸡血浆和肝脏蛋白质代谢提高31~60日龄中速型麻黄鸡母鸡生长性能和体蛋白质沉积。通过剂量-效应二次曲线回归方程估测,分别以蛋白质沉积率、血浆总蛋白含量和血浆IGF-1含量(决定系数 R^2 大于0.88)为效应指标,31~60日龄中速型麻黄鸡母鸡的粗蛋白质需要量分别为17.67%、17.63%和17.55%,每日粗蛋白质需要量为16.52、16.48和16.40 g/d。

参考文献 References

- [1] 赵伟玉. 饲料粗蛋白质和赖氨酸水平对北京油鸡生长性能、肉品质和肠道微生物区系的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023
Zhao W Y. Effects of dietary crude protein and lysine levels on growth performance, meat quality and gut microbiota of Beijing you chicken[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [2] Gou Z Y, Jiang S Q, Jiang Z Y, Zheng C T, Li L, Ruan D, Chen F, Lin X J. Effects of high peanut meal with different crude protein level supplemented with amino acids on performance, carcass traits and nitrogen retention of Chinese Yellow broilers[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2016, 100(4): 657-664
- [3] Shen Y T, Li W T, Kai L X, Fan Y Q, Wu Y P, Wang F Q, Wang Y Z, Lu Z Q. Effects of dietary metabolizable energy and crude protein levels on production performance, meat quality and cecal microbiota of Taihe Silky Fowl during growing period[J]. *Poultry Science*, 2025, 104(1): 104654
- [4] 张相伦, 姜淑贞, 杨在宾, 杨维仁, 张桂国, 窦文洁, 陈冠军, 高翔. 1~12周龄鲁西斗鸡粗蛋白质沉积及需要量[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(11): 2583-2590
Zhang X L, Jiang S Z, Yang Z B, Yang W R, Zhang G G, Dou W J, Chen G J, Gao X. Crude protein deposition and requirement of Luxi Game chickens aged 1 to 12 weeks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(11): 2583-2590 (in Chinese)
- [5] 范秋丽, 蒋守群, 汪汉华, 阮栋, 程忠刚. 1~25日龄竹丝鸡饲料粗蛋白质需要量研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2022, 49(2): 501-509
Fan Q L, Jiang S Q, Wang H H, Ruan D, Cheng Z G. Study on dietary crude protein requirement of silky fowl during 1 to 25 days of age[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2022, 49(2): 501-509 (in Chinese)
- [6] 范秋丽, 阮栋, 蒋守群, 程忠刚, 汪汉华. 26~45日龄竹丝鸡饲料粗蛋白质需要量研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2022, 49(5): 1727-1737
Fan Q L, Ruan D, Jiang S Q, Cheng Z G, Wang H H. Study on dietary crude

- protein requirement of silky fowl during 26 to 45 days of age[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2022, 49(5): 1727-1737 (in Chinese)
- [7] 林厦菁,周桂莲,蒋守群,蒋宗勇,郑春田,陈芳,苟钟勇,李龙. 22~63日龄快大型黄羽肉鸡粗蛋白质营养需要量[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(6): 1453-1466
Lin X J, Zhou G L, Jiang S Q, Jiang Z Y, Zheng C T, Chen F, Gou Z Y, Li L. Crude protein requirement of fast-growing yellow broilers aged from 22 to 63 days[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(6): 1453-1466 (in Chinese)
- [8] 束婧婷,姬改革,单艳菊,章明,巨晓军,刘一帆,屠云洁,盛中伟,唐燕飞,蒋华莲,邹剑敏. IGF1-PI3K-Akt信号通路相关基因在黄羽肉鸡肌肉和肝脏中的表达[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(9): 2027-2038
Shu J T, Ji G G, Shan Y J, Zhang M, Ju X J, Liu Y F, Tu Y J, Sheng Z W, Tang Y F, Jiang H L, Zou J M. Expression analysis of IGF1-PI3K-Akt-dependent pathway genes in skeletal muscle and liver tissue of yellow feather broilers[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(9): 2027-2038 (in Chinese)
- [9] Uyanga V A, Zhao J P, Wang X G, Jiao H C, Onagbesan O M, Lin H. Dietary L-citrulline modulates the growth performance, amino acid profile, and the growth hormone/insulin-like growth factor axis in broilers exposed to high temperature[J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 8(13): 937443
- [10] Li X R, Wu B, Zhang L Y, Liao X D, Li S Y, Wang C, Lu L. Calcium, non-phytate phosphorus and electrolyte balance in low-protein diet influence growth, tibia development and muscular protein deposition in medium-growing yellow-feathered broilers[J]. *Poultry Science*, 2025, 104(10): 105541
- [11] 范秋丽,李龙,苟钟勇,王一冰,林厦菁,蒋守群. 相同营养条件下不同生长速度黄羽肉鸡肉品质的比较研究[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(11): 6147-6160
Fan Q L, Li L, Gou Z Y, Wang Y B, Lin X J, Jiang S Q. Comparative study on meat quality of yellow-feather chickens with different growth speed under the same nutritional conditions[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(11): 6147-6160 (in Chinese)
- [12] NY/T3645—2020. 黄羽肉鸡营养需要量[S]. 北京:中国农业出版社, 2020
NY/T3645—2020. Nutrient requirements of yellow chickens[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2020: 5-7 (in Chinese)
- [13] 舒鼎铭. 黄羽肉鸡规模化健康养殖综合技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2015
Shu D M. *Comprehensive Technology for Large-scale Healthy Raising of Yellow Broilers*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (in Chinese)
- [14] Ye J L, Jiang S Q, Cheng Z G, Ding F Y, Fan Q L, Lin X J, Wang Y B, Gou Z Y. Feed restriction improves lipid metabolism by changing the structure of the cecal microbial community and enhances the meat quality and flavor of bearded chickens[J]. *Animals*, 2022, 12(970)
- [15] 耿爱莲,王海宏,张帆,初芹,张剑,晏志勋,曹婧,张小月,刘华贵. 饲料代谢能和粗蛋白质水平对1~6周龄北京油鸡新配套系生长性能和血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(8): 4395-4404
Geng A L, Wang H H, Zhang F, Chu Q, Zhang J, Yan Z X, Cao J, Zhang X Y, Liu H G. Effects of dietary metabolizable energy and crude protein levels on growth performance and serum biochemical indexes in Beijing you chicken new line aged from 1 to 6 weeks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(8): 4395-4404 (in Chinese)
- [16] 张正菲,汤安兴,孙金东,付礼想,王星仙,张诗云,杨亮宇,牛国一,陶琳丽. 盐津乌骨鸡雏鸡饲料适宜粗蛋白质水平研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2025, 52(4): 1543-1553
Zhang Z F, Tang A X, Sun J D, Fu L X, Wang X X, Zhang S Y, Yang L Y, Niu G Y, Tao L L. Study on the appropriate dietary crude protein level of Yanjin black-bone chickens[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2025, 52(4): 1543-1553 (in Chinese)
- [17] 付曦瑶. 中国山鸡育成期适宜蛋白质水平的研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2023
Fu X Y. Study on suitable protein level of Chinese pheasant during growing period[D]. Beijing: Chinese Academy of Agriculture Sciences, 2023 (in Chinese)
- [18] 阮栋,周桂莲,王薇薇,苟钟勇,林厦菁,叶金玲,丁发源,晏石娟,蒋守群. 饲料代谢能和粗蛋白质水平对1~8周龄慢速型黄羽肉鸡母鸡生长性能、胴体品质和血浆生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(12): 7649-7663
Ruan D, Zhou G L, Wang W W, Gou Z Y, Lin X J, Ye J L, Ding F Y, Yan S J, Jiang S Q. Effects of dietary metabolizable energy and crude protein levels on growth performance, carcass quality and plasma biochemical indices of slow-growing yellow-feathered female chickens aged from 1 to 8 weeks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(12): 7649-7663 (in Chinese)
- [19] 范秋丽,蒋守群,汪汉华,阮栋,程忠刚. 不同性别竹丝鸡育肥期饲料粗蛋白质需要量研究[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(4): 2361-2373
Fan Q L, Jiang S Q, Wang H H, Ruan D, Cheng Z G. Study on dietary crude protein requirement of different genders of silky fowl during fattening phase[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(4): 2361-2373 (in Chinese)
- [20] 武佳玉. 7~12周龄蛋鸡蛋白质与氨基酸需要动态预测模型的研究及氨基酸代谢相关基因表达分析[D]. 武汉:华中农业大学, 2024
Wu J Y. The dynamic prediction model of protein and amino acid requirement in 7-12 weeks old laying hens and the expression analysis of amino acid metabolism related genes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2024 (in Chinese)
- [21] 张玲,董飏,段修军,孙国波,袁旭红,李小芬. 日粮粗蛋白质水平对鹅组织 IGF-I mRNA 表达的影响[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(6): 330-334
Zhang L, Dong B, Duan X J, Sun G B, Yuan X H, Li X F. Effects of dietary crude protein levels on IGF-1 mRNA expression in some tissues of geese[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 27(6): 330-334 (in Chinese)
- [22] Abdellatif M, Trummer-Herbst V, Heberle A M, Humnig A, Pendl T, Durand S, Cerrato G, Hofer S J, Islam M, Voglhuber J, Ramos Pittol J M, Kepp O, Hoeffler G, Schmidt A, Rainer P P, Scherr D, von Lewinski D, Bisping E, McMullen J R, Diwan A, Eisenberg T, Madeo F, Thedieck K, Kroemer G, Sedej S. Fine-tuning cardiac insulin-like growth factor 1 receptor signaling to promote health and longevity[J]. *Circulation*, 2022, 145(25): 1853-1866
- [23] Xu Y, Wei J L, Wang W, Mao Z B, Wang D D, Zhang T, Zhang P X. Oleanolic acid slows down aging through IGF-1 affecting the PI3K/AKT/mTOR signaling pathway[J]. *Molecules*, 2025, 30(3): 740
- [24] Yoshida T, Delafontaine P. Mechanisms of IGF-1-mediated regulation of skeletal muscle hypertrophy and atrophy[J]. *Cells*, 2020, 9(9): 1970
- [25] Kuznetsova M V, Rodin M A, Shulgina N S, Krupnova M Y, Kuritsyn A E, Nemova N N. Gene expression of GH/IGF axis components and myogenic regulatory factors in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walb) under the influence of continuous lighting[J]. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2025, 61(1): 162-176
- [26] Gong C Y, Shi H P, Liu S, Gao X Y, Zhang S J, Liu H, Wan D, Yin Y L. Determination of optimal dietary calcium levels under different zinc sources in Jing Tint 6 layer chicks from hatch to day 14[J]. *Animal Nutrition*, 2025, 21: 63-69
- [27] Gong C Y, Liu G, Shi H P, Liu S, Gao X Y, Zhang S J, Liu H, Li R, Wan D. Assessment of non-phytate phosphorus requirements of Chinese Jing tint 6 layer chicks from hatch to day 42[J]. *Animals*, 2024, 14(14): 2093

- [28] 叶金玲, 范秋丽, 林厦菁, 王一冰, 张赛, 罗琦丽, 苟钟勇, 蒋守群. 小麦型饲料中添加复合酶、大豆异黄酮、复合益生菌与酵母培养物对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和肉品质的影响[J]. 饲料工业, 2025, 46(3): 49-55

Ye J L, Fan Q L, Lin X J, Wang Y B, Zhang S, Luo Q L, Gou Z Y, Jiang S Q.
Effects of complex enzymes, soybean isoflavones, compound probiotics or

yeast culture added in wheat diet on growth performance, slaughter performance and meat quality of yellow feathered chickens[J]. *Feed Industry*, 2025, 46(3): 49-55 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 叶金玲, 硕士, 助理研究员。广东省农业科学院动物科学研究所助理研究员, 研究方向为动物营养与饲料科学。参与科研项目共66项, 其中主持横向科技项目8项, 发表SCI论文3篇和核心论文12篇; 参编著作《黄羽肉鸡的营养》《湾区农讯百强技术》; 参与发表专利16项, 参与登记成果1项, 参与授权软件著作权33项。



通讯作者简介: 蒋守群, 博士, 研究员, 广东省农业科学院硕士生导师。国家肉鸡产业技术体系岗位科学家、全国动物营养指导委员会委员、农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室副主任, 中国畜牧兽医学动物营养学会理事。主要从事黄羽肉鸡精准营养与肉品质营养调控研究。主持国家科技支撑计划项目、国家重点研发专项子课题、现代农业产业技术体系项目、广东省自然科学基金项目、广东省科技计划重点项目和广州市科技计划重点项目等40多项。获国家科学技术进步二等奖、农业农村部“神农”中华农业科技一等奖、中华农业科技创新团队奖各1项, 广东省科学技术一等奖2项; 发表学术论文200多篇, 其中SCI论文60多篇。获国家和国际发明专利授权11件和软件著作权35件; 主编专著1部, 参编论著6部。制定国家标准、农业行业标准和团体标准共7项。