



刘乐,庄传东,陈可添,等. 饲养密度对叠层笼养黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能及抗氧化能力的影响[J]. 南京农业大学学报,2026,49(4):885-893.

Liu L, Zhuang C D, Chen K T, et al. Effects of stocking density on the growth performance, slaughter characteristics, and antioxidant capacity of caged yellow-feathered broilers[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2026, 49(4): 885-893.

饲养密度对叠层笼养黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能及抗氧化能力的影响

刘乐¹, 庄传东², 陈可添¹, 沈丹¹, 茅慧华³, 唐倩³, 李延森¹, 李春梅^{1*}

(1.南京农业大学动物科技学院环境控制与智慧生产研究中心,江苏 南京 210014;2.温氏食品集团股份有限公司,广东 云浮 527400;3.金陵科技学院动物科学与食品工程学院,江苏 南京 210038)

摘要: [目的] 本试验旨在探究不同饲养密度对叠层笼养黄羽肉鸡生长性能、福利指标、屠宰性能及抗氧化能力的影响。 [方法] 试验选取 28 日龄黄羽肉鸡(土鸡 2 号)公鸡 405 只,随机分为 5 个不同饲养密度组,分别为 M18、M21、M23、M26 和 M29 组,各自对应密度每平方米 18、21、23、26 和 29 只,每组 9 个重复。肉鸡采用 3 层叠式笼饲喂(鸡笼规格 0.70 m×0.55 m×0.45 m),试验期 35 d。 [结果] M18 和 M21 组肉鸡在 42 日龄和 63 日龄时体重、平均日采食量和平均日增重无显著差异($P>0.05$),相比于 M18 和 M21 组, M29 组肉鸡的平均日采食量、平均日增重和出栏体重(63 日龄)显著降低($P<0.05$)。 M18 组肉鸡的步态评分显著低于其他各组($P<0.05$);各组之间的羽毛评分、胸囊肿评分无显著差异($P>0.05$)。与 M18、M21 组肉鸡相比, M26 和 M29 组肉鸡的胸肌率显著降低($P<0.05$),各组间的屠宰率、全净膛率、腹脂率和腿肌率均无明显改变($P>0.05$)。与 M18、M21 组肉鸡相比, M29 组肉鸡的血清和胸肌中过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性显著下降,丙二醛(MDA)含量显著增加($P<0.05$)。与 M18 组肉鸡相比, M29 组肉鸡的胸肌 CAT、GSH-Px、血红素加氧酶 1(HMOX1)、醌氧化还原酶 1(NQO1)mRNA 表达水平显著降低($P<0.05$), M21 组胸肌核因子 E2 相关因子 2(Nrf2)mRNA 的表达水平显著增加($P<0.05$),而各组间超氧化物歧化酶(SOD)mRNA 的表达水平无显著差异($P>0.05$)。 [结论] 黄羽肉鸡三层叠式笼养饲养密度以每平方米 18~21 只较为适宜,在该笼养密度下,肉鸡行走能力较好,并能保持较优的生长性能、屠宰性能以及抗氧化能力。

关键词: 笼养密度;黄羽肉鸡;生长性能;屠宰性能;抗氧化能力

中图分类号:S831.4

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2026)04-0885-09

Effects of stocking density on the growth performance, slaughter characteristics, and antioxidant capacity of caged yellow-feathered broilers

LIU Le¹, ZHUANG Chuandong², CHEN Ketian¹, SHEN Dan¹, MAO Huihua³,
TANG Qian³, LI Yansen¹, LI Chunmei^{1*}

(1. Research Center for Livestock Environmental Control and Smart Production, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China; 2. Wen's Foodstuffs Group Co., Ltd., Yunfu 527400, China; 3. College of Animal Science and Food Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China)

Abstract: [Objectives] This experiment aimed to investigate the impact of different stocking densities on the growth performance, welfare index, slaughter characteristics, and antioxidant capacity of caged yellow-feathered broilers. [Methods] The experiment selected 405 28-day-old yellow-feathered broiler roosters (Local Chicken No. 2) and randomly divided them into five groups with different stocking densities: M18, M21, M23, M26, and M29, corresponding to densities of 18, 21, 23, 26, and 29 birds·m⁻², respectively, with nine replicates per group. The broilers were housed in three-tier stacked cages (cage dimensions: 0.70 m × 0.55 m × 0.45 m), and the trial duration was 35 days. [Results] At 42 and 63 days of age, no significant differences were observed in body weight, average daily feed intake (ADFI), or average daily gain (ADG) between the M18 and M21 groups ($P>0.05$). In contrast, the M29 group exhibited significantly lower ADFI, ADG, and final body weight compared to the M18 and M21 groups ($P<0.05$). The gait score of the M18 group was significantly lower than that of the other groups ($P<0.05$). No significant differences were found in feather score or chest cyst score among the groups ($P>0.05$). Compared with the M18 and M21 groups, the breast muscle yield of the M26 and M29 groups were

收稿日期:2025-03-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFD1300903)

作者简介:刘乐,硕士研究生。* 通信作者:李春梅,教授,主要从事养殖环境与畜禽健康相关研究, E-mail: chunmeili@njau.edu.cn。

significantly lower ($P < 0.05$). There were no significant differences in slaughter rate, eviscerated yield, abdominal fat percentage, or leg muscle yield among the groups ($P > 0.05$). Serum and breast muscle activities of catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GSH-Px) in the M29 group significantly decreased, while malondialdehyde (MDA) content significantly increased compared with the M18 and M21 groups ($P < 0.05$). Compared with the M18 group, the mRNA expression levels of CAT, GSH-Px, heme oxygenase 1 (HMOX1), and NAD(P)H:quinone oxidoreductase 1 (NQO1) in the breast muscle of the M29 group significantly decreased, whereas nuclear factor-erythroid 2-related factor 2 (Nrf2) mRNA expression significantly increased in the M21 group ($P < 0.05$). No significant differences were observed in superoxide dismutase (SOD) mRNA expression among the groups ($P > 0.05$). [Conclusions] For three-tier cage-reared yellow-feathered broiler roosters, a stocking density of 18–21 birds per square meter was considered optimal. At this density, the birds had good mobility and maintain superior growth performance, slaughter performance, and antioxidant capacity.

Keywords: cage density; yellow-feathered broilers; growth performance; slaughter performance; antioxidant capacity

作为我国特色肉鸡品种的黄羽肉鸡,因其肉质鲜美、风味独特而在肉鸡养殖业中占据重要地位^[1]。我国黄羽肉鸡饲养管理模式主要有散养和平养2种,随着土地资源日益紧缺和市场需求量的不断增加,规模化立体笼养逐渐成为主流模式。然而,现有的黄羽肉鸡立体笼养管理技术大多借鉴白羽肉鸡的饲养管理模式,忽视了黄羽肉鸡如胆小、警觉好斗、追逐性强、易应激等独特的生理和行为特性^[2]。这些习性使黄羽肉鸡在高密度饲养环境下更易产生打斗、啄羽等异常行为,严重影响生产效益。

集约化叠层笼养模式可显著提高单位面积内肉鸡饲养量,但高密度饲养会导致鸡舍环境恶化、肉鸡应激增加、生长性能下降及动物福利受损等问题^[3]。有研究表明,黄羽肉鸡饲养密度在每平方米24只时相比于8只,其出栏体重、平均日增重和平均日采食量,分别降低了16.1%、15.6%和14.0%^[4-5]。而饲养密度过低将造成鸡舍保温性能差、资源利用率下降,养殖成本增加。科学设定饲养密度是保障黄羽肉鸡高效生产的重要措施。目前,黄羽肉鸡的饲养密度仍未确定统一的科学指导标准,相关的科学研究报道也较少。因此,本试验以黄羽肉鸡(土鸡2号)公鸡为研究对象,研究不同饲养密度梯度对黄羽肉鸡生长性能、福利指标、屠宰性能及抗氧化能力的影响,以期为黄羽肉鸡的叠层笼养高效生产提供科学理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验动物

本试验在温氏食品集团股份有限公司广东省云浮市家禽研究院船岗肉鸡试验场开展。试验所用黄羽肉鸡是温氏食品集团广东养禽公司自主培育的土鸡2号。

1.2 试验设计

试验选取405只28日龄体重相近 $[(566.33 \pm 26.63) \text{ g}]$ 的健康雄性黄羽肉鸡,随机分为5个处理组,即M18、M21、M23、M26和M29组,其饲养密度分别为每平方米18、21、23、26和29只,对应为每笼7、8、9、10、11只,每个处理9个重复(笼)。试验所设的饲养密度分组参照文献[6]。试验期为35 d,对应黄羽肉鸡28~63日龄,在28~42日龄阶段饲喂育成鸡饲料,在43~63日龄饲喂育肥鸡饲料,肉鸡基础日粮配方组成及营养水平情况如表1所示。

1.3 饲养管理

试验期间,肉鸡的饲养管理严格执行温氏食品集团股份有限公司养禽生产技术部所编制的《黄羽肉鸡饲养管理手册》及相关标准,遵循养殖场地的常规管理和免疫程序进行。试验所用3层叠式笼的笼具规格为70 cm×55 cm×45 cm(长×宽×高),每笼配备2个饮水乳头。试验期间,舍内实行24 h光照,舍内温度维持在21~29℃,相对湿度45%~60%,肉鸡采食和饮水自由。

1.4 样品采集

试验第34天,禁食过夜,次日,在每个重复中随机选取该笼最接近平均体重的3只肉鸡进行翅下静脉采血(不加任何试剂的真空采血管),静置分层后离心(4℃、3 000 r·min⁻¹)15 min,取血清,保存于-20℃冰箱备用。取胸肌样品于冻存管中,液氮速冻后存于-80℃冰箱备用。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 生长性能测定 试验第1天(28日龄,禁食12 h)、第14天(42日龄,禁食12 h)和第35天(63日龄,禁食12 h)分别以重复为单位记录肉鸡体重和采食量,计算前期(28~42 d)、后期(43~63 d)和全期(28~63 d)的平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。计算公式: $ADG = (\text{平均末重} - \text{平均初重}) / \text{试验时间}$; $ADFI = (\text{总加料量} - \text{剩料量}) / (\text{试验时间} \times \text{每重复鸡只数})$; $F/G = ADFI / ADG$ 。

表 1 基础日粮营养成分及水平(风干基础)

Table 1 Nutritional components and levels of the base diet(air dry) %

项目 Items	28~42 日龄 28 to 42 days of age	43~63 日龄 43 to 63 days of age	项目 Items	28~42 日龄 28 to 42 days of age	43~63 日龄 43 to 63 days of age
原料组成 Ingredients composition			营养组成 Nutrient composition ²⁾		
玉米 Corn	60.63	63.49	粗蛋白质 Crude protein	17.50	16.00
豆粕 Soybean meal	8.70	5.66	粗脂肪 Crude ether extract	5.05	6.50
菜籽粕 Rapeseed meal	12.00	12.00	粗纤维 Crude fiber	3.57	3.24
葵花籽粕 Sunflower meal	5.00	4.00	粗灰分 Crude ash	5.07	4.70
羽毛粉 Feather meal	1.50	1.50	钙 Calcium	0.75	0.70
石粉 Limestone	1.11	1.10	总磷 Total phosphorus	0.59	0.55
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.90	0.75	有效磷 Available phosphorous	0.26	0.23
玉米油 Corn oil	2.71	4.15	钠 Natrium	0.16	0.16
赖氨酸 Lys	0.63	0.61	代谢能 Metabolizable energy ³⁾ *	12 761.20	13 305.12
蛋氨酸 Met	0.26	0.18			
苏氨酸 Thr	0.14	0.14			
精氨酸 Arg	0.03	0.04			
缬氨酸 Val	0.04	0.03			
氯化胆碱 Choline chloride	0.05	0.04			
氯化钠 NaCl	0.30	0.31			
预混料 Premix ¹⁾	6.00	6.00			

注:1)每千克日粮中由预混料提供的营养成分如下:维生素 A 1 000 IU,维生素 B₁ 2.0 mg,维生素 B₂ 6.4 mg,维生素 B₆ 2.0 mg,维生素 B₁₂ 0.012 mg,维生素 D₃ 3 000 IU,维生素 E 16 IU,维生素 K 2.0 mg,生物素 0.1 mg,叶酸 1.0 mg,泛酸钙 10.0 mg,尼克酰胺 26.0 mg,胆碱 700 mg,碘 0.15 mg,硒 0.15 mg,铜 8 mg,锌 60 mg,锰 80 mg,铁 80 mg。2)营养水平中带*为计算值,计算方法参考试验材料部分中表观代谢能的测定国标,其他均为实测值。3)代谢能单位为 kJ·kg⁻¹。

Note:1)Premix provides the followings for per kilogram of diet:vitamin A 1 000 IU,vitamin B₁ 2.0 mg,vitamin B₂ 6.4 mg,vitamin B₆ 2.0 mg,vitamin B₁₂ 0.012 mg,vitamin D₃ 3 000 IU,vitamin E 16 IU,vitamin K 2.0 mg,biotin 0.1 mg,folic acid 1.0 mg,calcium pantothenate 10.0 mg,nicotinamide 26.0 mg,choline 700 mg,I 0.15 mg,Se 0.15 mg,Cu 8 mg,Zn 60 mg,Mn 80 mg and Fe 80 mg. 2)Nutrient levels with * are calculated values,the calculation method refers to the national standard for the determination of apparent metabolizable energy in the experiment material section,and the rest are measured values. 3)The unit of metabolic energy is kJ·kg⁻¹.

1.5.2 福利评分指标 试验结束前 1 天(62 日龄),从每个处理的每个重复中随机挑选 6 只鸡(合计 270 只)对行走能力、羽毛质量进行评分。屠宰时观察肉鸡(135 只)胸囊肿情况并评分。参考 Garner 等^[7]的步态评分标准、Mahmoud 等^[8]的羽毛评分标准以及黎鸿彬等^[9]的胸囊肿评分标准,本研究评分标准见表 2。

表 2 动物福利指标评分标准

Table 2 Animal welfare indicators scoring criteria

分数 Score	步态评分 Gait score	羽毛评分 Feather score	胸囊肿评分 Breast cyst score
0	能够正常行走	羽毛质量良好,无损伤	无积液
1	轻微的步态缺陷	羽毛受到损伤,但没有裸露皮肤	积液面积≤1 cm ²
2	有明显的步态缺陷,不稳、跛行等	裸露面积少于 9 cm ²	积液面积>1~4 cm ²
3	只有在外界的刺激下才能行走	裸露面积多于 9 cm ²	积液面积>4~9 cm ²
4	无法行走	完全裸露	积液面积>9 cm ²

1.5.3 屠宰性能测定 试验鸡只屠宰前均禁食 12 h,随后每个重复随机选取 3 只,共 135 只,屠宰前称活重。将鸡置于干冰桶内待其缺氧麻醉或死亡后进行屠宰。屠宰时参考国家标准《NY/T 823—2004 家禽生产性能名词术语和度量统计方法》,测定并计算其屠宰性能及器官指数。计算公式:屠宰率=屠体重/活重×100%;全净膛率=全净膛重/活重×100%;腹脂率=(腹部脂肪重+肌胃外脂肪重)/(全净膛重+腹脂重)×100%;胸肌率=胸肌重/全净膛重×100%;腿肌率=腿肌重/全净膛重×100%;器官指数=器官重/活重。

1.5.4 血清抗氧化指标测定 取血清样本和胸肌样品,采用试剂盒测定其丙二醛(MDA)含量,总抗氧化能力(T-AOC)和过氧化氢酶(CAT)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性。上述试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,具体试验操作严格按照使用说明书进行。

1.5.5 胸肌抗氧化相关基因表达测定 1)RNA 提取:称取约 100 mg 样本,使用 FreeZol Reagent 试剂盒(R711-02,诺唯赞,南京)按说明书提取胸肌样品的总 RNA,用微量分光光度计(Thermo,美国)检测 RNA 浓度(D_{260}/D_{280} 为 1.8~2.0),使用 RNase-free H₂O 均一化各管,使 RNA 浓度至 500 ng·μL⁻¹。2)反转录:使用反转录试剂盒 ABScript III RT Master Mix for qPCR with gDNA Remover(RK20249,ABclonal,武汉),按照

说明书进行 RNA 反转录后,得到产物 cDNA,保存于-20 ℃,用于后续 RT-PCR。3) RT-PCR:将 2× Universal SYBR Green Fast qPCR Mix(RK21203,ABclonal,武汉) 10 μL,正向、反向引物(10 μmol·L⁻¹)各 0.4 μL,cDNA 2 μL,RNase-free H₂O 7.2 μL 配制 20 μL 反应体系于 96 孔 PCR 板,离心后使用实时荧光定量 QuantStudio™ PCR 仪器(ABI,美国)进行 qPCR 检测。反应结束后以鸡 *β-actin* 基因为内参,用 2^{-ΔΔC_t} 法^[10] 计算不同密度处理组相关基因的相对表达水平。试验检测相关基因的引物均由生工生物工程(上海)有限公司合成。引物序列见表 3。

表 3 RT-PCR 引物序列
Table 3 Sequences of RT-PCR primers

基因 Gene	登录号 Accession No.	引物对序列 Primer pairs sequence(5'→3')	产物大小/bp Products size
<i>Nrf2</i>	NM_205117.1	CAGGCCGTCTTGAAGCTCATCTC/CTTGCCCTCTCCTGCGTATATCTCG	179
<i>HMOX1</i>	NM_205344.1	ACGTCGTTGGCAAGAAGCATCC/TTGAACCTGGTGGCGTTGGAGAC	181
<i>NQO1</i>	NM_001277621.1	TCGCCGAGCAGAAGAAGATTGAAG/GCTGGTGAGTGACAGCATGGC	191
<i>SOD</i>	NM_205064.2	GGTGACCTCGGCAATGTGACTG/AATGATGCAGTGTGGTCCGGTAAG	93
<i>CAT</i>	NM_001031215.2	CACGTATTACGGCACTGCTGGAC/ACGAGAAGTGGCTTGCGGTATG	86
<i>GSH-Px</i>	NM_001277853.2	AAGTGCTGCTGGTGGTCAACG/GTTGGTGGCGTTCTCCTGGTG	155
<i>β-actin</i>	NM_205518.2	TTGGTTTGTCGAAGCAAGCGG/CCCCACATACTGGCACTTT	100

1.6 数据统计与分析

采用 Excel 2010 软件进行前期数据处理,采用 SPSS 25.0 软件进行平均值的单因素方差分析(one-way ANOVA),组间差异用 Duncan's 法进行多重比较。结果以平均值±标准误($\bar{x}\pm SE$)表示,利用 GraphPad Prism 9.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同饲养密度对黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 4 可知:与 M18 组的肉鸡相比,M29 组肉鸡 42 日龄体重显著降低($P<0.05$);M26 和 M29 组的 63 日龄肉鸡体重、43~63 日龄平均日采食量、43~63 日龄及 28~63 日龄平均日增重均显著降低($P<0.05$)。此外,与 M18、M21 组相比,M29 组 63 日龄体重和 28~63 日龄平均日采食量、平均日增重均显著降低($P<0.05$)。随着饲养密度的提高,43~63 日龄料重比有升高的趋势($0.05<P<0.10$)。

表 4 不同饲养密度对黄羽肉鸡生长性能的影响($n=9$)
Table 4 Effects of different stocking densities on growth performance of yellow-feathered broilers

项目 Items	时期/日龄 Stage/day-old	密度组别 Density group				
		M18	M21	M23	M26	M29
体重/g Body weight	28	573.30±4.21	568.80±5.25	564.61±4.94	566.00±5.54	562.61±3.71
	42	1 108.36±9.39 ^a	1 099.95±8.45 ^{ab}	1 098.79±7.20 ^{ab}	1 089.00±7.77 ^{ab}	1 079.39±7.41 ^b
	63	2 086.88±14.67 ^a	2 056.39±12.48 ^{ab}	2 024.90±13.02 ^{bc}	2 021.85±9.34 ^{bc}	2 002.32±9.51 ^c
平均日采食量/(g·d ⁻¹) Average daily feed intake(ADFI)	28~42	83.12±4.82	83.11±4.85	80.93±3.87	82.03±3.43	81.31±3.22
	43~63	123.20±4.40 ^a	121.81±3.95 ^{ab}	120.15±4.03 ^{bc}	118.76±2.47 ^c	119.00±2.90 ^c
	28~63	106.70±4.21 ^a	105.88±3.88 ^a	104.00±3.50 ^b	103.64±2.51 ^b	103.48±2.73 ^b
平均日增重/(g·d ⁻¹) Average daily gain(ADG)	28~42	38.03±2.25	37.94±1.76	37.19±2.37	37.62±1.95	37.44±2.74
	43~63	48.93±4.50 ^a	47.82±3.83 ^{ab}	46.98±4.18 ^{ab}	46.40±2.97 ^b	46.15±2.99 ^b
	28~63	44.44±2.27 ^a	43.75±2.02 ^{ab}	42.95±2.32 ^{bc}	42.79±1.52 ^{bc}	42.56±1.02 ^c
料重比 Feed/gain (F/G)	28~42	2.19±0.19	2.20±0.16	2.18±0.16	2.19±0.14	2.19±0.22
	43~63	2.53±0.17	2.56±0.15	2.57±0.18	2.57±0.15	2.59±0.14
	28~63	2.40±0.07	2.42±0.07	2.42±0.08	2.42±0.07	2.43±0.04

注:同行数据的肩标字母不同表示处理组间具有显著性差异($P<0.05$),M18、M21、M23、M26、M29 组肉鸡饲养密度分别为每平方米 18、21、23、26、29 只。下同。

Note: Different subscript letters within the same row indicate significant differences ($P<0.05$) among treatment groups. The broiler stocking densities for groups M18, M21, M23, M26, and M29 are 18, 21, 23, 26, and 29 birds per square meter, respectively. The same below.

2.2 不同饲养密度对黄羽肉鸡福利评分的影响

由表 5 可知:M29 组肉鸡的步态评分显著高于其他各组($P<0.05$)。各组间的羽毛评分、胸囊肿评分无显著差异($P>0.05$)。各组肉鸡胸囊肿发生率均在 70%以上。

表5 不同饲养密度对黄羽肉鸡福利评分的影响

Table 5 Effects of different stocking densities on welfare level of yellow-feathered broilers

项目 Items	密度组别 Density group				
	M18	M21	M23	M26	M29
步态评分 Gait score	1.04±0.13 ^c	1.46±0.12 ^b	1.42±0.13 ^b	1.61±0.11 ^b	2.23±0.053 ^a
羽毛评分 Feather score	1.17±0.11	1.33±0.19	1.25±0.18	1.33±0.14	1.42±0.23
胸囊肿评分 Breast cyst score	1.17±0.15	1.28±0.15	1.13±0.14	1.32±0.15	1.25±0.15
胸囊肿发生率/%Breast cyst incidence	73	77	71	75	70

2.3 不同饲养密度对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

由表6可知:与M18组、M21组肉鸡相比,M26组和M29组肉鸡的胸肌率明显下降($P<0.05$)。此外,各组之间屠宰率、全净膛率、腹脂率、腿肌率无显著差异($P>0.05$)。

表6 不同饲养密度对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

Table 6 Effects of different stocking densities on slaughter performance of yellow-feathered broilers %

项目 Items	密度组别 Density group				
	M18	M21	M23	M26	M29
屠宰率 Slaughter rate	91.04±0.22	90.61±0.21	90.56±0.22	90.91±0.24	90.67±0.23
全净膛率 Eviscerated yield	77.65±0.77	76.82±0.51	77.26±0.34	78.29±0.39	77.91±0.36
腹脂率 Abdominal fat percentage	2.97±0.22	3.18±0.20	2.84±0.16	2.89±0.20	3.02±0.22
胸肌率 Breast muscle yield	12.65±0.22 ^a	12.60±0.19 ^a	12.34±0.25 ^{ab}	11.85±0.28 ^b	11.87±0.27 ^b
腿肌率 Leg muscle yield	17.35±0.43	17.38±0.22	16.82±0.47	16.94±0.50	17.36±0.49

2.4 不同饲养密度对黄羽肉鸡器官指数的影响

由表7可见:不同饲养密度对黄羽肉鸡心脏指数、肝脏指数、脾脏指数、法氏囊指数均未产生显著影响($P>0.05$)。

表7 不同饲养密度对黄羽肉鸡器官指数的影响

Table 7 Effects of different stocking densities on organ index of yellow-feathered broilers $g \cdot kg^{-1}$

项目 Items	密度组别 Density group				
	M18	M21	M23	M26	M29
心脏指数 Cardiac index	5.23±0.20	5.45±0.18	5.38±0.16	5.61±0.22	5.33±0.16
肝脏指数 Liver index	19.63±0.59	19.84±1.11	19.68±0.60	19.50±0.45	19.88±0.41
脾脏指数 Spleen index	1.68±0.83	1.81±0.10	1.55±0.12	1.64±0.13	1.69±0.09
法氏囊指数 Bursa index	0.39±0.08	0.43±0.08	0.46±0.06	0.49±0.05	0.50±0.05

2.5 不同饲养密度对黄羽肉鸡血清抗氧化能力的影响

由图1可知:M18、M21、M23组血清中MDA含量显著低于M26、M29组($P<0.05$);与M18组相比,M29组血清中T-SOD、GSH-Px、CAT活性显著下降($P<0.05$);各组间T-AOC无显著差异($P>0.05$)。

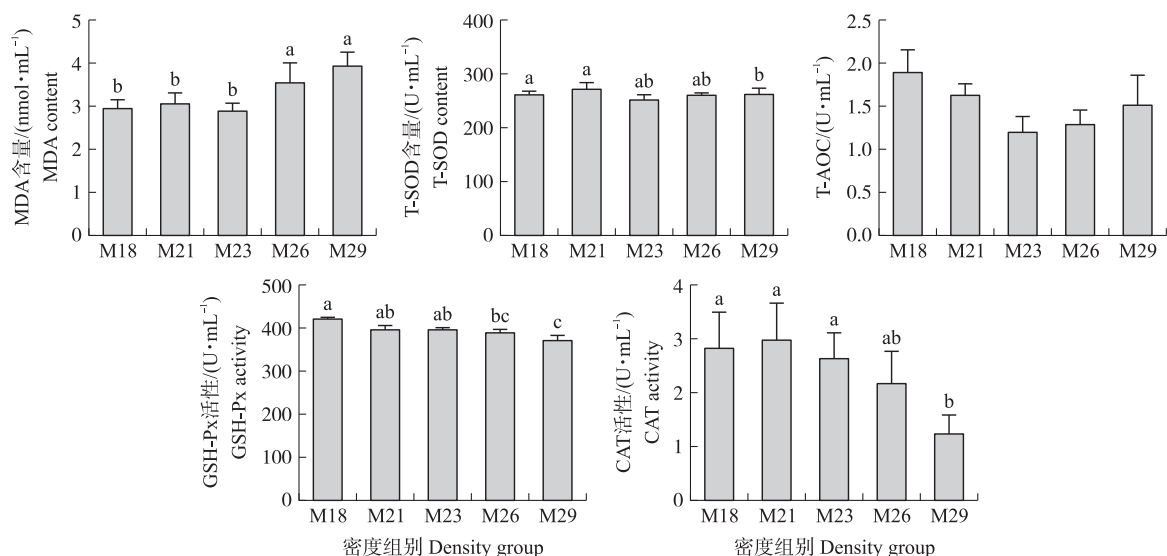


图1 不同饲养密度对黄羽肉鸡血清抗氧化指标的影响

Fig. 1 Effects of different stocking densities on serum antioxidant parameters in yellow-feathered broilers

不同小写字母表示处理组间差异显著($P<0.05$)。下同。Different lowercase letters indicate significant differences among treatment groups($P<0.05$). The same below.

2.6 不同饲养密度对黄羽肉鸡胸肌抗氧化能力的影响

由图2可知:与M18、M21组的肉鸡相比,M29组肉鸡的胸肌CAT、GSH-Px活性显著降低($P<0.05$),MDA含量显著提高($P<0.05$)。不同密度组肉鸡胸肌T-SOD活性差异不显著($P>0.05$)。

采用RT-qPCR检测不同饲养密度对黄羽肉鸡胸肌抗氧化相关基因mRNA表达水平的影响,如图3所示。与M18组相比,M29组CAT、GSH-Px、HMOX1、NQO1 mRNA的表达水平显著降低($P<0.05$);M21组Nrf2 mRNA的表达水平显著增加($P<0.05$);各组间SOD mRNA的表达水平无显著差异($P>0.05$)。

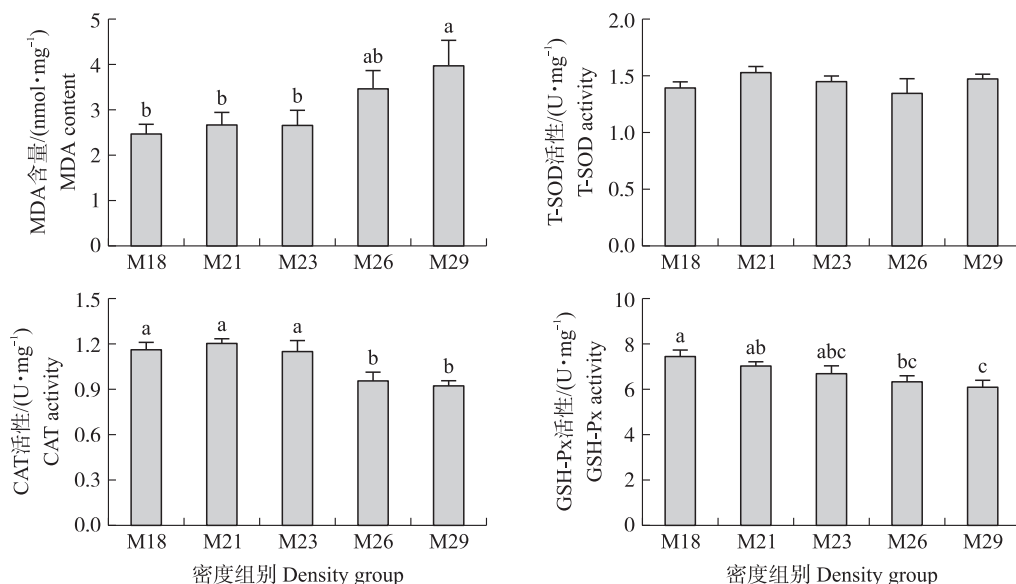


图2 不同饲养密度对黄羽肉鸡胸肌抗氧化指标的影响

Fig. 2 The effect of different stocking densities on antioxidant parameters in the pectoral muscle of yellow-feathered broilers

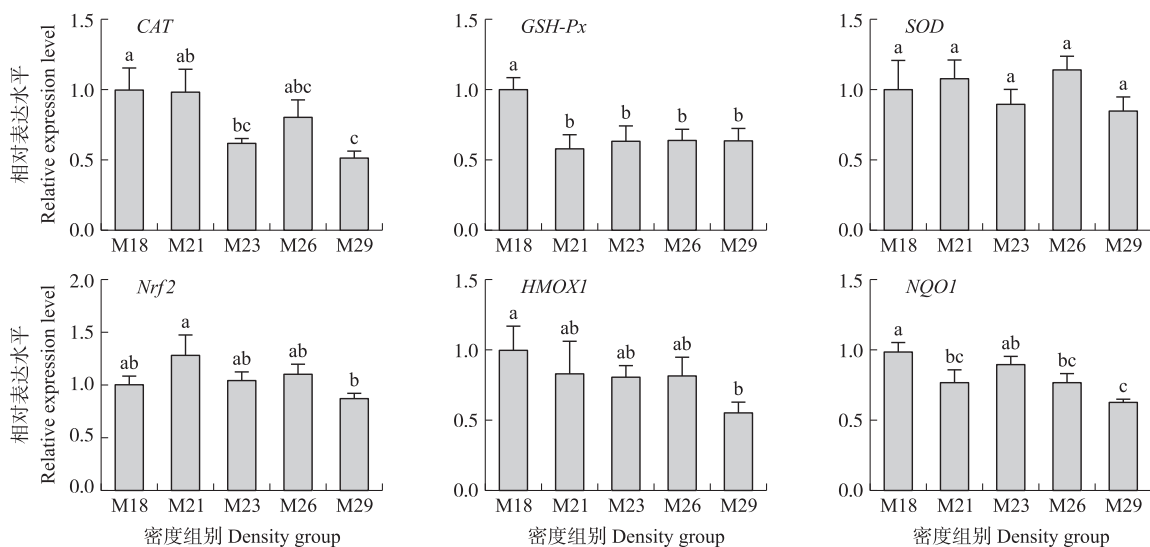


图3 不同饲养密度对黄羽肉鸡胸肌抗氧化相关基因mRNA表达水平的影响

Fig. 3 The effect of different stocking densities on the mRNA expression levels of antioxidant-related genes in the pectoral muscle of yellow-feathered broilers

3 讨论

随着肉鸡养殖向着规模化集约化快速发展,饲养密度已成为影响养殖效率和经济效益的关键因素之一。科学合理设定饲养密度不仅利于肉鸡生长,还能有效控制养殖成本。饲养密度过高将导致鸡只生长速度下降,饲养密度过低则会造成资源浪费,只有最佳的饲养密度才能使生产效益最大化^[11]。Rahbari等^[12]研究发现,随着饲养密度从每平方米8只增加至每平方米13只,罗斯308肉鸡的平均日增重显著降

低,料重比显著提高。姬改革等^[13]研究发现,黄羽肉鸡笼养密度由每平方米15只升高至每平方米21只,其43~63日龄平均日增重、平均日采食量显著降低15.09%、12.71%,而料重比无显著差异。在本研究中,随着笼养密度增加,黄羽肉鸡出栏体重、平均日采食量和平均日增重等均显著降低,而育肥期料重比呈上升趋势,结果与前人^[12-13]的基本一致。本研究结果还显示在28~42日龄时,不同笼养密度对平均采食量和平均日增重影响不显著,这可能是因为在该饲养阶段公鸡体型较小,所需活动空间不大,高笼养密度尚未对肉鸡产生负面影响。随着日龄增加,肉鸡体型增大,高饲养密度的负面影响会随之加剧,甚至抑制鸡只生长。另有研究表明,珍珠鸡饲养密度的增加会降低其采食、饮水行为频率^[14]。这说明肉鸡生长受抑制,可能是因为活动空间减少直接影响鸡只活动,导致采食量和饮水量下降。因此,饲养密度对肉鸡生长性能的影响含多个影响因素。与平养模式相比,本试验采用的3层叠式立体笼养模式下黄羽肉鸡的活动范围受到更大限制,这可能加剧高饲养密度对肉鸡行为和生产性能的负面影响。此外,有限的料槽长度可能导致部分肉鸡采食时间与频率减少,进而降低采食量,最终表现为生长性能下降^[15]。科学增加肉鸡饲养密度可提升单位面积产肉量,但存在最佳阈值^[16]。适度提高密度可优化空间利用率,而过高密度会损害鸡群健康、降低生产性能。

黄羽肉鸡以活禽交易为主,其中羽毛状态和腿部健康状态是影响消费者选购时的重要考量因素。羽毛光滑且腿部强健的肉鸡更能激发消费者的购买兴趣。高饲养密度饲养环境会使肉鸡啄羽行为加剧,降低羽毛评分,影响肉鸡活体、屠体外观^[17]。本研究的笼养密度未对黄羽肉鸡的羽毛评分产生显著影响。大量研究表明提高饲养密度会影响肉鸡腿部健康,增加腿部疾病发生率^[18-19]。van der Eijk等^[20]报道,随着饲养密度提高,肉鸡的骨骼发育受到抑制。高密度饲养环境下,肉鸡活动意愿降低,长时间趴卧休息,这一行为模式严重限制了骨骼的正常发育,腿部疾病发生率上升。腿部健康问题的出现又进一步降低了肉鸡的活动意愿,形成恶性循环,也显著增加胸囊肿的发生风险。而在本研究中,高饲养密度显著降低了肉鸡的步态评分,肉鸡的行走能力降低,各密度处理组的胸囊肿发生率也较高。

屠宰性能是畜禽肉用性能的关键指标之一^[21]。对于黄羽肉鸡而言,其肉用性能良好的判定标准通常为全净膛率、胸肌率和腿肌率分别达到73%、9%和13%以上^[22]。在本研究中,不同笼养密度组肉鸡的全净膛率均超过76%,胸肌率约为11%,腿肌率在16%以上,均达到了上述标准,表明该品种黄羽肉鸡具有良好的产肉性能。Gao等^[23]研究发现,科宝肉鸡的出栏活重、屠宰率、胸肌率随饲养密度的增加而显著下降。但孔令琳等^[24]发现不同饲养密度下雪山鸡的屠宰率、全净膛率、胸肌率、腿肌率未产生显著差异。本试验研究发现,随着饲养密度的增加,黄羽肉鸡的胸肌率显著降低,其他指标差异不显著,这种现象可能与饲养方式、试验品种及饲养环境的差异有关。

在高密度养殖条件下,肉鸡的活动空间受限,生理和心理压力增大,易引起应激反应。同时,高密度环境中的竞争和攻击行为使肉鸡的生理应激水平进一步提高,使肉鸡体内氧化与抗氧化平衡失调,产生大量自由基,损害肉鸡体内蛋白质、脂质、核酸,进而引发炎症^[25-26]。肌肉组织通过隔离全身炎症和保护CD8 T细胞的增殖发挥免疫功能^[27],肌肉氧化还原平衡失调不仅会导致肉质下降^[28],还可能引发多种疾病。Zhang等^[29]研究发现饲养密度由每平方米14只增加到每平方米22只显著降低血清GSH-Px、SOD活性,显著增加血清MDA水平。在本研究中,M26、M29组肉鸡血清和胸肌CAT、GSH-Px活性显著降低,MDA含量显著上升,试验结果与Zhang等^[29]基本一致。因此,进一步研究饲养密度对肉鸡胸肌抗氧化能力的影响机制,发现M29组肉鸡胸肌CAT、GSH-Px、Nrf2、HMOX1、NQO1 mRNA的表达均显著下调。Nrf2、HMOX1和NQO1共同参与调控Nrf2/ARE信号通路。Nrf2作为核心转录因子,在氧化应激条件下与Keap1解离,进入细胞核并与ARE(抗氧化反应元件)结合,启动下游抗氧化基因(如HMOX1、NQO1)的转录。HMOX1编码HO-1酶,HO-1酶通过催化血红素分解生成胆绿素,发挥强大的抗氧化作用^[30-31]。屠民航等^[32]发现高密度饲养条件下(14只·m⁻²),樱桃谷鸭空肠黏膜HO-1、SOD1、Nrf2和GSH-Px mRNA的表达水平均显著降低;Wang等^[33]研究发现抗氧化酶活性、Nrf2及其下游基因的表达以及各种肉品质参数(包括颜色、嫩度、保水性、营养组成和含量)之间存在正相关。因此,高饲养密度可能通过增加MDA含量、降低抗氧化酶活性和抑制Nrf2信号通路中相关基因的表达来降低肉鸡的抗氧化能力。

欧美国家对肉鸡饲养密度有明确的要求。如欧盟ECC(European Chicken Commitment,欧洲肉鸡福利承诺)2019中规定欧盟最大密度不超过33 kg·m⁻²;美国部分企业采用更严格的30 kg·m⁻²标准,并配套环境富集措施。相比之下,我国肉鸡养殖普遍采用高密度模式(本试验设置的密度梯度为每平方米18~29只,

合 $36\sim 58\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),虽能提高短期效益,但易导致疾病多发(胸囊肿、腿部健康等)和肉质下降。从长远看,适度降低饲养密度,结合智能环境调控技术,可减少死淘率,提升肉品质,满足国内外高端市场需求。

综上所述,黄羽肉公鸡笼养饲养密度在每平方米 $18\sim 21$ 只时,既能保障肉鸡的行走能力,又能保持较优的生长性能、屠宰性能和抗氧化能力。本研究可为土鸡 2 号等快速型黄羽肉鸡品种的立体笼养提供科学依据和实践参考。

参考文献 References:

- [1] 许丽惠,祁瑞雪,王长康,等. 发酵豆粕对黄羽肉鸡生长性能、血清生化指标、肠道黏膜免疫功能及微生物菌群的影响[J]. 动物营养学报,2013,25(4):840-848.
Xu L H, Qi R X, Wang C K, et al. Effects of fermented soybean meal on growth performance, serum biochemical indices, mucosal immune function and microorganism in yellow-feathered broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(4): 840-848 (in Chinese with English abstract).
- [2] 赵垒,李华,韦金兑,等. 诱发黄羽肉鸡胴体损伤的行为因素的研究进展[J]. 家畜生态学报,2024,45(3):1-7.
Zhao L, Li H, Wei J D, et al. Research progress of behavioral factors inducing carcass defects in yellow-feathered broilers[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2024, 45(3): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- [3] Wang W, Wideman R F, Jr, Chapman M E, et al. Effect of intravenous endotoxin on blood cell profiles of broilers housed in cages and floor litter environments[J]. Poultry Science, 2003, 82(12): 1886-1897.
- [4] Thaxton J P, Dozier W A, Branton S L, et al. Stocking density and physiological adaptive responses of broilers[J]. Poultry Science, 2006, 85(5): 819-824.
- [5] 邵丹,张珊,施寿荣,等. 饲养密度对黄羽肉鸡生产性能、免疫器官指数和肉品质的影响[J]. 动物营养学报,2015,27(4):1230-1235.
Shao D, Zhang S, Shi S R, et al. Effects of stocking density on performance, immune organ indexes and meat quality of yellow-feathered broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(4): 1230-1235 (in Chinese with English abstract).
- [6] 逯安安. 肉鸡多层立体养殖技术[J]. 家禽科学,2025,47(3):118-120.
Lu A A. Multi-layer broiler farming technology[J]. China Poultry Science, 2025, 47(3): 118-120 (in Chinese).
- [7] Garner J P, Falcone C, Wakenell P, et al. Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use in assessing tibial dyschondroplasia in broilers[J]. British Poultry Science, 2002, 43(3): 355-363.
- [8] Mahmoud U T, Abdel-Rahman M A M, Darwish M H A, et al. Behavioral changes and feathering score in heat stressed broiler chickens fed diets containing different levels of *Propolis*[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2015, 166: 98-105.
- [9] 黎鸿彬,彭运智,谭会泽,等. 不同垫料厚度和饲养密度组合对黄羽肉鸡生长性能的影响[J]. 中国家禽,2025,47(2):83-88.
Li H B, Peng Y Z, Tan H Z, et al. Effect of different combinations of padding thickness and feeding density on growth performance of yellow feathered broiler chickens[J]. China Poultry, 2025, 47(2): 83-88 (in Chinese with English abstract).
- [10] Rao X Y, Huang X L, Zhou Z C, et al. An improvement of the $2^{-\Delta\Delta\text{CT}}$ method for quantitative real-time polymerase chain reaction data analysis[J]. Biostatistics, Bioinformatics and Biomathematics, 2013, 3(3): 71-85.
- [11] Shehata S F, Baloza S H, Elsokary M M M, et al. Effect of stocking density and vitamin E or zinc supplementation on growth, physiology, gene expression, and economic efficiency of growing broiler chicks[J]. Tropical Animal Health and Production, 2022, 54(6): 403.
- [12] Rahbari S, Salehi A, Sharifi S D, et al. Dietary omega-3 fatty acids affect the growth performance of broiler chickens reared at high stocking density[J]. Poultry Science, 2025, 104(1): 104468.
- [13] 姬改革,巨晓军,单艳菊,等. 笼养密度对公母分饲黄羽肉鸡生长性能、免疫器官发育、抗氧化能力、肠道组织形态及免疫相关基因 mRNA 表达的影响[J]. 动物营养学报,2024,36(4):2277-2291.
Ji G G, Ju X J, Shan Y J, et al. Effects of cage density on growth performance, immune organ development, antioxidant capacity, intestinal tissue morphology and mRNA expression of immune-related genes of male and female separately-fed yellow-feathered broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2024, 36(4): 2277-2291 (in Chinese with English abstract).
- [14] Erensoy K. The effects of varying stocking densities on Guinea fowls (*Numida meleagris*) reared in a closed-barn system. II. Shackle line behavioral profiles and meat quality[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2025, 284: 106536.
- [15] Li G M, Zhao Y, Purswell J L, et al. Effects of feeder space on broiler feeding behaviors[J]. Poultry Science, 2021, 100(4): 101016.
- [16] Feddes J J R, Emmanuel E J, Zuidhof M J. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities[J]. Poultry Science, 2002, 81(6): 774-779.
- [17] 胡罕. 不同饲养密度下肉种鸡雏鸡的啄羽及其相关行为研究[D]. 西安:西北大学,2018.
Hu H. Effects of different feeding density on feather pecking and related behaviors of parental broiler breeders chicks[D]. Xi'an: Northwest University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [18] Buijs S, van Poucke E, van Dongen S, et al. The influence of stocking density on broiler chicken bone quality and fluctuating asymmetry[J]. Poultry Science, 2012, 91(8): 1759-1767.
- [19] Stamp Dawkins M, Donnelly C A, Jones T A. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density[J]. Nature,

- 2004,427(6972):342-344.
- [20] van der Eijk J A J, van Harn J, Gunnink H, et al. Fast- and slower-growing broilers respond similarly to a reduction in stocking density with regard to gait, hock burn, skin lesions, cleanliness, and performance[J]. *Poultry Science*, 2023, 102(5):102603.
- [21] Yu J, Zhang H, Yang H M, et al. Effects of dietary paddy rice on growth performance, carcass traits, bare skin color, and nutrient digestibility in geese[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(6):101865.
- [22] 邹剑敏, 屠云洁, 束婧婷, 等. 不同杂交组合优质冷鲜鸡屠宰性能和肉品质比较[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(3):49-52.
Zou J M, Tu Y J, Shu J T, et al. Comparison on slaughter performance and meat quality of different crossing high-quality chilled chicken[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(3):49-52 (in Chinese with English abstract).
- [23] Gao X L, Gong J G, Yang B W, et al. Effect of classical music on growth performance, stress level, antioxidant index, immune function and meat quality in broilers at different stocking densities[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2023, 10:1227654.
- [24] 孔令琳, 王来娣, 白皓, 等. 笼养密度对雪山鸡生产性能及盲肠微生物的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2021, 52(10):2832-2841.
Kong L L, Wang L D, Bai H, et al. Effects of cage density on production performance and cecal microorganism of Xueshan chicken[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2021, 52(10):2832-2841 (in Chinese with English abstract).
- [25] 刘俊泽, 张杰, 李晓庆, 等. 改善侧墙小窗密闭性对夏季网上平养肉鸡舍环境参数的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2024, 56(5):28-34.
Liu J Z, Zhang J, Li X Q, et al. Effect of improving small window airtightness in side walls on the environmental parameter of summer net-rearing in closed broiler houses[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2024, 56(5):28-34 (in Chinese with English abstract).
- [26] 刘乐, 陈可添, 庄传东, 等. 多层立体笼养黄羽肉鸡舍环境参数时空分布特征及其与肉鸡生长性能相关性分析[J]. *畜牧与兽医*, 2025, 57(12):43-50.
Liu L, Chen K T, Zhuang C D, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of environmental parameters in multi-tier cage systems for yellow-feathered broilers and the correlations the parameters with growth performance of the birds[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2025, 57(12):43-50 (in Chinese with English abstract).
- [27] Wu J X, Weisshaar N, Hotz-Wagenblatt A, et al. Skeletal muscle antagonizes antiviral CD8+ T cell exhaustion[J]. *Science Advances*, 2020, 6(24):eaba3458-3468.
- [28] Liu R, Qin M, Li K Y, et al. Response of protein DJ-1 to oxidative stress in porcine longissimus thoracis and semimembranosus muscles: expression, oxidation, and protein interactions during postmortem aging[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2025, 138:106998.
- [29] Zhang H J, Zhang Y, Bai D Y, et al. Effect of dietary aspirin eugenol ester on the growth performance, antioxidant capacity, intestinal inflammation, and cecal microbiota of broilers under high stocking density[J]. *Poultry Science*, 2024, 103(7):103825.
- [30] Zhao H Q, Huang Y, Yang W J, et al. Viola yedoensis Makino alleviates lipopolysaccharide-induced intestinal oxidative stress and inflammatory response by regulating the gut microbiota and NF- κ B-NLRP3/Nrf2-MAPK signaling pathway in broiler[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2024, 282:116692-116708.
- [31] Zhang Y L, Guan L, Wang X F, et al. Protection of chlorophyllin against oxidative damage by inducing HO-1 and NQO1 expression mediated by PI3K/Akt and Nrf2[J]. *Free Radical Research*, 2008, 42(4):362-371.
- [32] 屠民航, 蔡根谭, 闫乐艳, 等. 饲养密度对肉鸭生长性能和保健生理功能的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2024, 48(2):920-928.
Tu M H, Cai G T, Yan L Y, et al. Effects of stocking density on growth performance and health physiological functions of meat ducks[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2024, 48(2):920-928 (in Chinese with English abstract).
- [33] Wang Y J, Zhou X, Liu M R, et al. Quality of chicken breast meat improved by dietary pterostilbene referring to up-regulated antioxidant capacity and enhanced protein structure[J]. *Food Chemistry*, 2023, 405:134848.

责任编辑:周广礼