

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.

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

刘乐¹, 陈可添¹, 庄传东², 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家畜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: 旨在研究多层立体笼养黄羽肉鸡舍不同区域环境参数和生长性能的差异, 并分析环境参数与其生长性能的相关性。试验以一栋6列3层叠式笼养黄羽肉鸡舍为研究对象, 选取A列(靠墙列)、B列和C列(中间列)3列鸡架(纵向方向)进行监测, 每列鸡架沿横向方向划分为L₁段(湿帘端)、L₂段(中段)和L₃段(风机端)这3个区段, 垂直方向设置H₁层(上层)、H₂层(中层)和H₃层(下层)这3个层次, 共设立27个监测点。试验为期63 d, 监测黄羽肉鸡整个生长周期内的环境参数, 包括温度、相对湿度、笼内风速及CO₂浓度指标; 同时, 在肉鸡21、42和63日龄时分别测定其体重, 以评估生长性能。分析鸡舍不同空间(纵向方向、横向方向、垂直方向)的各环境参数及肉鸡各日龄体重差异性, 并进行相关性分析。结果: L₃段温度、笼内风速、CO₂浓度显著高于L₁段、L₂段 ($P < 0.05$); L₃段相对湿度在肉鸡育肥阶段显著低于L₁、L₂段 ($P < 0.05$)。C列温度、笼内风速、CO₂浓度显著高于B列 ($P < 0.05$), B列相对湿度在肉鸡育成阶段显著高于A、C列 ($P < 0.05$)。H₂层温度显著高于H₁、H₃层, H₃层相对湿度显著高于H₁层 ($P < 0.05$)。随着笼层的增加, CO₂浓度有逐渐下降的趋势 ($0.05 < P < 0.1$)。不同笼层的笼内风速未产生显著差异 ($P > 0.05$)。各列之间肉鸡的体重无显著差异 ($P > 0.05$)。L₁、L₂段肉鸡21 d体重显著高于L₃段 ($P < 0.05$), L₁、L₃段肉鸡42 d体重显著高于L₂段 ($P < 0.05$), 与L₃段相比, L₁段肉鸡63日龄体重显著提高 ($P < 0.05$)。H₁、H₃层肉鸡21、63 d体重显著高于H₂层 ($P < 0.05$), 各层之间肉鸡的42 d体重无显著差异 ($P > 0.05$)。21 d体重与鸡舍内温度呈显著负相关 ($P < 0.05$), 与鸡舍内相对湿度呈显著正相关 ($P < 0.05$)。出栏体重与鸡舍内温度、CO₂浓度呈显著负相关 ($P < 0.05$), 与鸡舍相对湿度、笼内风速呈显著正相关 ($P < 0.05$)。鸡舍内温度与相对湿度、笼内风速呈显著负相关 ($P < 0.05$)。笼内风速与舍内CO₂浓度呈显著正相关 ($P < 0.05$)。研究结果提示, 优化风机端通风频率、调整中层温控策略可改善鸡舍环境参数的均衡性, 促进肉鸡生长性能的提升。

关键词: 层叠式; 笼养; 环境因子; 黄羽肉鸡; 生长性能

中图分类号: S831.45

文献标志码: A

文章编号: 0529-5130(2025)12-0043-08

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

LIU Le¹, CHEN Ketian¹, ZHUANG Chuandong², 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: This study was to investigate the spatial variations in environmental parameters and growth performance across different zones of multi-tier cage housing systems for yellow-feathered broilers, and to analyze the correlations between environmental parameters and growth

收稿日期: 2024-04-07; 修回日期: 2025-10-13

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2024YFD1300903)

第一作者: 刘乐, 女, 硕士研究生

* 通信作者: 李春梅, 博士, 教授, 研究方向为畜禽养殖环境控制与智慧生产研究, E-mail: chunmeili@njau.edu.cn.

performance. The investigation was conducted in a six-tier and three-layer stacked poultry house. Three rows of cages—row A (wall-adjacent row), row B, and row C (middle rows) were selected for environmental monitoring. Each row was horizontally divided into three segments: segment L₁ (inlet section), segment L₂ (middle section), and segment L₃ (outlet section). Vertically, the cages were stratified into three levels: level H₁ (upper layer), level H₂ (middle layer), and level H₃ (lower layer), resulting in a total of 27 monitoring points. The experiment lasted for 63 days, covering the entire growth cycle of the yellow-feathered broilers. Environmental parameters, including temperature, relative humidity, in-cage airflow velocity, and CO₂ concentration, were continuously monitored during the experiment. Additionally, body weight measurements of the broilers were taken at 21, 42, and 63 days of age to evaluate their growth performance. Then, a comprehensive analytical approach was employed to evaluate spatial variations in the environmental conditions and their relationship with broiler performance. The results showed that, during the 7–9 weeks of broiler growth, the temperature, wind speed inside the cages, and CO₂ concentration in the L₃ section were significantly higher than those in the L₁ and L₂ sections ($P < 0.05$), while the humidity in L₃ was significantly lower ($P < 0.05$). During the 4–6 weeks of broiler growth, the temperature, wind speed inside the cages, and CO₂ concentration in column C were significantly higher than those in column B ($P < 0.05$), whereas the humidity in column B was significantly higher than that in columns A and C ($P < 0.05$). Additionally, the temperature in H₂ was significantly higher than that in H₁ and H₃, and the humidity in H₃ was significantly higher than that in H₁ ($P < 0.05$). With increasing cage layers, the CO₂ concentration showed a decreasing trend, though not statistically significantly ($0.05 < P < 0.1$). No significant differences were observed in the wind speed inside the cages among different cage layers or in the body weight of broilers among different columns ($P > 0.05$). At 21 days, the body weight of the broilers in the L₁ and L₂ sections was significantly higher than that in L₃ ($P < 0.05$). At 42 days, the body weight of the broilers in the L₁ and L₃ sections was significantly higher than that in L₂ ($P < 0.05$). By 63 days, the body weight of the broilers in L₁ was significantly higher than that in L₃ ($P < 0.05$). The body weight of broilers in the H₁ and H₃ layers at 21 and 63 days was significantly higher than that in H₂ ($P < 0.05$), with no significant difference observed at 42 days ($P > 0.05$). The body weight at 21 days was significantly negatively correlated with the temperature in the broiler house ($P < 0.05$), but positively correlated with the humidity ($P < 0.05$). The final body weight was significantly negatively correlated with both the temperature and CO₂ concentration in the broiler house ($P < 0.05$), but positively correlated with the humidity and wind speed inside the cages ($P < 0.05$). The temperature in the broiler house was significantly negatively correlated with both the humidity and wind speed inside the cages ($P < 0.05$), while the wind speed inside the cages was significantly positively correlated with the CO₂ concentration ($P < 0.05$). Based on the above findings, optimizing the ventilation frequency at the fan end and adjusting temperature control strategies for intermediate tiers would significantly enhance the equilibrium of environmental parameters within poultry houses. This, in turn, contributed to improving growth performance of broilers.

Keywords: stacked cages; cage rearing; environmental factors; yellow-feathered broiler; growth performance

黄羽肉鸡作为我国特色肉鸡品种,因其肉质鲜美、风味独特、抗逆性强等特点,在肉鸡产业中占据重要地位。近年来,在市场需求激增、环保政策和公共卫生要求等多种因素影响下,黄羽肉鸡养殖模式正逐步从传统散养向立体笼养转型^[1-2]。目前,立体笼养技术在白羽肉鸡养殖中已形成成熟体系,但在黄羽肉鸡养殖中还处于探索、试用阶段。推动黄羽肉鸡养殖业向专业化、规模化、现代化方向转型升级,可显著提升养殖效率,提升整个产业的竞争力。除饲养管理模式外,家禽舍内环境参数同样是影响动物健康、生产性能和福利水平的关键因素^[3]。这些环境因素包括温度、相对湿度、通风、光照、空气质量以及饲养密度等,它们共同作用于畜禽的生理状态和行为表现^[4]。研究表明,环境条件对家禽生产性能的影响约占30%~40%^[5]。随着育种技术与饲料配方的不断优化,环境条件对家禽生产力的影响最高可达到50%~90%^[6]。

温热环境是影响肉鸡生长性能的关键因素,它包括温度、相对湿度、风速等多种因子。肉鸡由于快速

生长、代谢率高、散热能力有限等特点,对温度比较敏感。Diarra等^[7]认为,16~26℃是肉鸡生长适宜温度。若生长温度过高,将导致肉鸡热应激,降低采食量和生长速度;反之,则增加能量消耗,影响料重比。环境相对湿度对肉鸡的影响与温度有关。Lin等^[8]研究发现35℃高温条件时,相对湿度在85%时比在60%时肉鸡的直肠温度、背部以及腹部皮温显著提高。风速通过影响热量散失和蒸发效率,与温度、相对湿度协同作用,维持肉鸡的体温平衡。适当的风速可以改善鸡舍内的空气质量、调节温度和相对湿度,但过高或过低的风速都会对肉鸡的健康和生长产生不利影响^[9]。CO₂浓度是衡量鸡舍内空气质量的重要指标之一。CO₂本身并无毒性,大气中的CO₂并不会对畜禽的生长造成负面影响,但如果鸡舍通风不良,鸡只呼吸产生的CO₂大量积聚,导致舍内氧气比重降低,肉鸡氧气摄入量减少,血液中CO₂含量增加,可能引发肉鸡酸中毒,进而影响其健康并降低生长性能^[10]。

在肉鸡高密度饲养模式下,舍内环境调控的研究

集中于整体环境参数的优化，而忽视了环境在空间分布上的差异性，使处于不同位置的鸡只由于所处的微环境不同，其生长性能受到一定程度的影响。林勇等^[11]研究发现，风机端蛋鸭产蛋率和料蛋比略差于其他位置。目前，关于禽舍环境参数的空间分布规律研究大部分聚焦于蛋鸡、蛋鸭，对肉鸡舍环境参数的研究鲜少报道。但随着肉鸡养殖产业的快速发展，单栋养殖规模不断增加，舍内环境控制愈发重要。因此，本试验对层叠式笼养肉鸡舍内环境参数和肉鸡生长性能进行测定，分析舍内不同空间位置环境参数、生长性能的差异，为进一步优化环境控制设备的运行，调节鸡舍内环境条件和改善饲养管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验鸡舍与试验时间

本试验于2023年10月至2023年12月在广东省云浮市温氏食品集团家禽研究院船岗肉鸡试验场开展。

试验鸡舍（50 m×10 m×6 m）东西走向，为全封闭轻型钢结构，配备禽舍气候环境控制器（SKOV，丹麦）。试验鸡舍配备湿帘风机纵向通风系统，由智能温控系统根据鸡舍内温度、相对湿度等控制风机、湿帘的开关状态及开启功率。湿帘安装于东墙及南北两侧墙，南北两侧墙上安装有通风小窗，一侧14个，

共28个通风小窗。6台风机（直径为1.375 m，大牧人，中国青岛）位于西墙，2台位于上方，4台位于下方。舍内设置6列层叠式笼具（3层），每层56个鸡笼（70 cm×55 cm×45 cm）。乳头式自动供水系统安装于每个鸡笼中间，每个鸡笼有2个饮水乳头，每层鸡笼下方有粪便传送带。

1.2 试验设计

选取侧墙到中间的3列鸡笼（A、B、C列），由鸡舍湿帘端到风机端分3个不同横向区域，分别为L₁、L₂、L₃段。L₁段包含图2（A）的1、4、7号位点，L₂段包含图2（A）的2、5、8号位点，L₃段包含图2（A）的3、6、9号位点，以及由上层到下层3个高度H₁、H₂、H₃层，共计27个监测位点。具体检测位点见图2。

根据黄羽肉鸡的生长特性，将其划分为育雏期（1~3周）、育成期（4~6周）、育肥期（7~9周）3个阶段。每周测量笼内风速、CO₂浓度3次（选取一周内天气情况相似的3 d）。为了减小测量误差，每个监测点重复监测3次取平均值。使用温湿度计在舍内各测量点24 h连续监测舍内温度和相对湿度，10 min记录一次数据。舍内饲养7 000只黄羽肉鸡，所有试验鸡只来自同一批次的土鸡2号，1 d体重约（32±1）g，于试验第21天（禁食12 h）、第42天（禁食12 h）和第63天（禁食12 h）记录肉鸡体重。

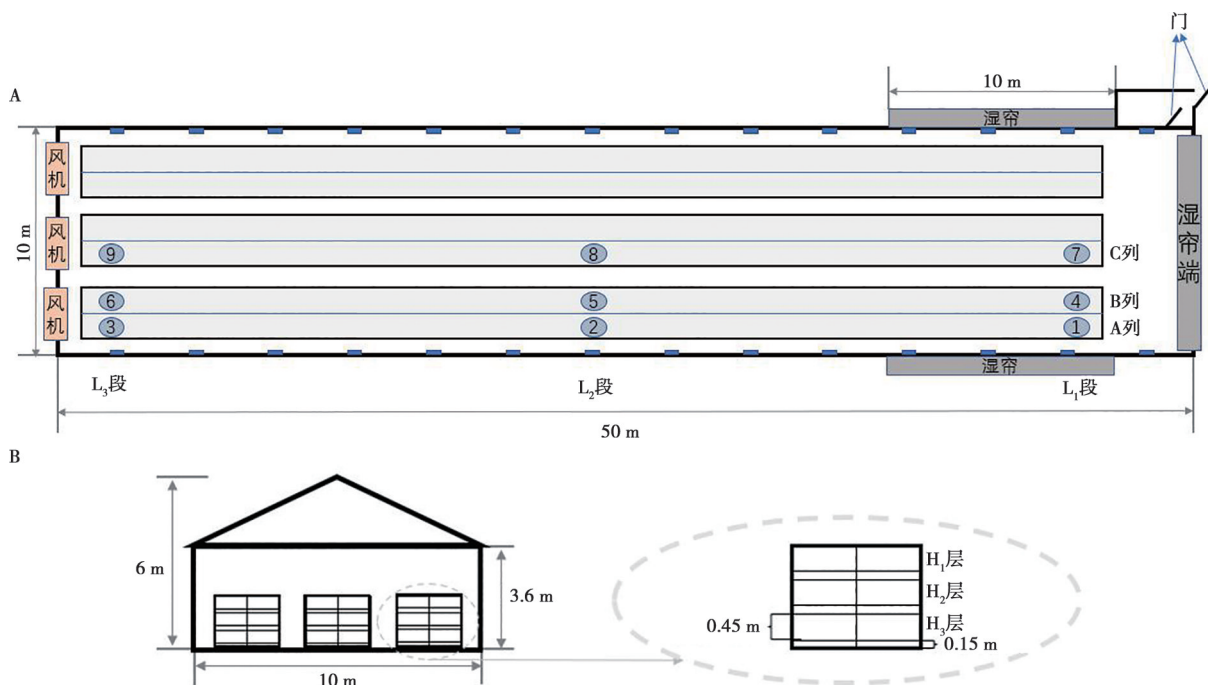


图1 鸡舍内部构造示意

1.3 饲养管理与基础日粮

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。试验鸡群采用三段式饲养管理模式:育雏期(1~3周)、育成期(4~6周)、育肥期(7~9周)。试验日粮组成及营养水平见表1。

表1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

	项目	育雏期	育成期	育肥期
原料/%	玉米	51.60	60.63	63.49
	豆粕	27.34	8.70	5.66
	菜籽粕	10.00	12.00	12.00
	葵花籽粕	0.00	5.00	4.00
	羽毛粉	0.00	1.50	1.50
	石粉	1.22	1.11	1.10
	磷酸氢钙	1.31	0.90	0.75
	玉米油	1.82	2.71	4.15
	赖氨酸	0.18	0.63	0.61
	蛋氨酸	0.12	0.26	0.18
	苏氨酸	0.00	0.14	0.14
	精氨酸	0.00	0.03	0.04
	缬氨酸	0.00	0.04	0.03
	氯化胆碱	0.08	0.05	0.04
	氯化钠	0.33	0.30	0.31
	预混料 ¹⁾	6.00	6.00	6.00
	营养成分 ²⁾	粗蛋白质/%	20.51	17.50
粗脂肪/%		3.95	5.05	6.50
粗纤维/%		3.20	3.57	3.24
粗灰分/%		6.03	5.07	4.70
钙/%		0.90	0.75	0.70
总磷/%		0.67	0.59	0.55
有效磷/%		0.33	0.26	0.23
钠/%		0.16	0.16	0.16
代谢能/(MJ·kg ⁻¹)		12.11	12.76	13.31

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)营养成分中除代谢能为计算值外,计算方法参考试验材料部分中表现代谢能的测定国标,其余均为实测值。

在饲养管理方面,试验鸡群于中层集中育雏,14日龄时根据体重(变异系数<10%)进行首次分群,

调整至上层和中层饲养;育雏期结束时进行2次分群,均匀分配至上、中、下3层笼位。鸡舍采用自动控温系统,当温度超过设定温度时,湿帘、小窗的开合角度及风机功率随之改变。舍内维持光照强度(20±2) lx的24 h持续光照制度。温度控制采用三阶段梯度调节方案:育雏期初始温度设定为(35.0±0.5)℃,之后按照每周2~3℃的梯度递减,至21日龄降至26~28℃;育成期维持在24~28.5℃;育肥期控制在20~24℃范围内。1~7日龄为保障育雏温度稳定性,关闭纵向通风系统;7日龄后启动纵向通风系统,湿帘降温(水帘厚度15 cm)、侧窗开度(0~90°可调)和变频风机(功率0.75~3 kW)的协同作用维持舍内环境稳定。舍内最小通风率的设计值约为每只鸡0.01 m³/h至1.50 m³/h。

7日龄后,由喂食器喂料逐步转换为料槽喂料,自由采食。育雏期间,每48 h清粪1次;育雏期结束后清粪频率改为24 h 1次,清粪时间为16:00。基础日粮参照NY/T 33—2004《鸡饲养标准》合理配制并进行饲喂。

1.4 数据统计与分析

由Excel 2010软件进行前期数据处理,随后采用IBM SPSS 25.0进行单因素方差分析(One-way ANOVA),组间差异用Duncan's法进行多重比较。分析结果制表以“平均值±标准误”表示,利用GraphPad Prism 9.5软件绘制结果图。 $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 鸡舍纵向方向环境参数分布规律

由表2可知,C列温度、CO₂浓度显著高于B列($P<0.05$);B、C列笼内风速显著高于A列($P<0.05$);B列相对湿度在肉鸡4~6周阶段显著高于A、C列($P<0.05$)。

2.2 鸡舍水平方向环境参数分布规律

鸡舍从湿帘端到风机端水平方向的环境参数分布规律见表3,L₃段温度、笼内风速、CO₂浓度显著高于L₁、L₂段($P<0.05$),L₃段相对湿度在7~9周阶段显著低于L₁、L₂段($P<0.05$)。

2.3 鸡舍垂直方向环境参数分布规律

由表4可知,H₂层温度显著高于H₁、H₃层,H₃层相对湿度显著高于H₁层($P<0.05$)。随着笼层的增加,CO₂浓度有逐渐下降的趋势(0.05< $P<0.1$)。不同笼层的笼内风速未产生显著差异($P>0.05$)。

表2 鸡舍纵向方向环境参数分布规律

项目	周龄	A 列	B 列	C 列	P 值
温度/℃	1~3	28.12±0.09 ^b	27.69±0.06 ^c	28.52±0.18 ^a	<0.001
	4~6	24.69±0.12	24.44±0.26	24.64±0.30	0.742
	7~9	22.70±0.11 ^a	21.54±0.11 ^b	23.00±0.33 ^a	<0.001
相对湿度/%	1~3	66.11±0.94	69.04±0.85	68.88±1.22	0.074
	4~6	82.63±1.15 ^b	85.96±0.90 ^a	81.53±1.20 ^b	0.015
	7~9	75.29±0.50	75.98±0.74	75.90±0.86	0.789
笼内风速/(m·s ⁻¹)	1~3	0.12±0.02 ^b	0.30±0.03 ^a	0.24±0.03 ^a	<0.001
	4~6	0.19±0.04	0.26±0.05	0.25±0.06	0.550
	7~9	0.29±0.06	0.46±0.07	0.51±0.08	0.072
CO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	1~3	1 325.00±71.84	1 422.30±57.25	1 476.85±54.74	0.218
	4~6	1 666.41±95.52 ^c	2 038.26±107.78 ^b	2 583.70±136.38 ^a	<0.001
	7~9	2 053.85±63.76 ^b	2 147.81±105.50 ^b	3 116.67±92.28 ^a	<0.001

注：同一指标，同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

表3 鸡舍水平方向环境参数分布规律

项目	周龄	A 列	B 列	C 列	P 值
温度/℃	1~3	27.92±0.11 ^b	28.02±0.10 ^b	28.48±0.17 ^a	0.007
	4~6	24.26±0.14 ^b	24.44±0.25 ^b	25.33±0.10 ^a	<0.001
	7~9	22.03±0.19 ^b	22.28±0.21 ^b	23.47±0.16 ^a	<0.001
相对湿度/%	1~3	67.29±0.81	69.61±1.24	66.91±0.84	0.117
	4~6	82.65±0.90	82.51±1.12	82.42±1.08	0.988
	7~9	76.39±0.47 ^a	76.58±0.68 ^a	73.98±0.59 ^b	0.003
笼内风速/(m·s ⁻¹)	1~3	0.10±0.01 ^c	0.25±0.02 ^b	0.33±0.02 ^a	<0.001
	4~6	0.14±0.02 ^b	0.33±0.06 ^a	0.40±0.07 ^a	0.003
	7~9	0.22±0.03 ^b	0.55±0.08 ^a	0.68±0.06 ^a	<0.001
CO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	1~3	1 325.00±71.84	1 422.30±51.25	1 476.85±54.74	0.218
	4~6	1 666.41±95.52 ^c	2 038.26±107.78 ^b	2 583.70±136.38 ^a	<0.001
	7~9	2 053.85±63.76 ^b	1 880.26±62.73 ^b	2 640.59±128.42 ^a	<0.001

表4 鸡舍垂直方向环境参数分布规律

项目	周龄	H ₁ 层	H ₂ 层	H ₃ 层	P 值
温度/℃	1~3	27.88±0.07 ^b	28.53±0.14 ^a	27.54±0.06 ^c	<0.001
	4~6	24.80±0.13	24.42±0.17	24.43±0.24	0.260
	7~9	22.31±0.13 ^b	23.01±0.27 ^a	22.15±0.17 ^b	0.007
相对湿度/%	1~3	71.33±0.86 ^a	66.25±0.89 ^b	70.66±0.98 ^a	<0.001
	4~6	82.61±1.08	82.20±1.27	82.90±1.25	0.919
	7~9	75.19±0.85 ^b	73.96±0.46 ^b	77.41±0.69 ^a	0.002
笼内风速/(m·s ⁻¹)	1~3	0.14±0.02	0.19±0.03	0.21±0.03	0.132
	4~6	0.32±0.06	0.22±0.05	0.30±0.07	0.450
	7~9	0.55±0.06	0.37±0.07	0.47±0.08	0.197
CO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	1~3	1 231.96±55.59 ^b	1 361.93±73.02 ^{ab}	1 517.15±59.69 ^a	0.080
	4~6	1 536.52±110.45 ^b	1 898.74±129.21 ^b	2 396.19±157.78 ^a	<0.001
	7~9	1 987.00±139.44	2 001.00±132.31	2 385.11±133.56	0.067

2.4 鸡舍不同区段生长性能差异

由表 5 可知, 纵向方向不同列之间肉鸡的体重差异不显著 ($P>0.05$)。在水平方向, L_1 、 L_2 段肉鸡 21 日龄的体重显著高于 L_3 段肉鸡, L_1 、 L_3 段肉鸡 42 日龄体重显著高于 L_2 段 ($P<0.05$)。与 L_3 段相比,

L_1 段肉鸡 63 日龄体重显著提高 ($P<0.05$)。在垂直方向, H_1 、 H_3 层肉鸡 21 日龄、63 日龄体重显著高于 H_2 层 ($P<0.05$), H_1 、 H_2 、 H_3 层肉鸡 42 日龄体重差异不显著 ($P>0.05$)。

表 5 鸡舍不同空间肉鸡生长性能差异

项目	纵向方向			P 值
	A 列	B 列	C 列	
21 d 体重/g	361.40±1.57	366.26±2.00	361.15±2.39	0.133
42 d 体重/g	1 099.56±5.83	1 092.69±7.89	1 087.83±6.48	0.473
62 d 体重/g	2 029.17±10.17	2 041.03±10.23	2 045.2±10.19	0.516
项目	水平方向			P 值
	L_1 段	L_2 段	L_3 段	
21 d 体重/g	367.52±1.25 ^a	368.02±2.44 ^a	357.15±1.45 ^b	<0.001
42 d 体重/g	1 101.86±7.53 ^a	1 071.97±6.32 ^b	1 106.24±5.23 ^a	<0.001
62 d 体重/g	2 061.62±9.54 ^a	2 037.93±10.36 ^{ab}	2 015.86±9.63 ^b	0.006
项目	垂直方向			P 值
	H_1 层	H_2 层	H_3 层	
21 d 体重/g	374.39±2.83 ^a	342.18±2.92 ^b	373.26±1.36 ^a	<0.001
42 d 体重/g	1 083.96±6.62	1 100.92±6.42	1 095.19±7.17	0.199
62 d 体重/g	2 056.81±11.82 ^a	2 009.36±9.06 ^b	2 049.24±7.97 ^a	0.002

2.5 鸡舍环境参数及肉鸡体重之间相关性分析

由表 6 可知, 肉鸡 21 日龄体重与鸡舍内温度呈显著负相关, 与鸡舍内相对湿度呈显著正相关 ($P<0.05$)。鸡舍内温度与相对湿度呈显著负相关, 笼内风速与舍内 CO_2 浓度呈显著正相关 ($P<0.05$)。

由表 7 可知, 肉鸡出栏体重与鸡舍内温度、 CO_2 浓度呈显著负相关, 与鸡舍相对湿度、笼内风速呈显著正相关 ($P<0.05$)。鸡舍内温度与相对湿度、笼内风速呈显著负相关。笼内风速与舍内 CO_2 浓度呈显著正相关 ($P<0.05$)。

表 6 鸡舍环境参数及 21 日龄体重相关性分析

项目	温度/℃	相对湿度/%	笼内风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	CO_2 浓度/ ($mg \cdot m^{-3}$)	21 d 体重/g
温度/℃	1				
相对湿度/%	-0.296**	1			
笼内风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	-0.057	0.037	1		
CO_2 浓度/ ($mg \cdot m^{-3}$)	-0.027	0.114	0.185*	1	
21 d 体重/g	-0.419**	0.364**	0.011	-0.028	1

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。下同。

表 7 鸡舍环境参数及出栏体重相关性分析

项目	温度/℃	相对湿度/%	笼内风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	CO_2 浓度/ ($mg \cdot m^{-3}$)	出栏体重/g
温度/℃	1				
相对湿度/%	-0.342**	1			
笼内风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	-0.198*	0.037	1		
CO_2 浓度/ ($mg \cdot m^{-3}$)	0.045	0.114	0.185*	1	
出栏体重/g	-0.324**	0.201*	0.416**	-0.212*	1

3 讨论

鸡舍不同水平区段环境参数分析表明,温度、笼内风速、CO₂浓度由L₁段(湿帘端)到L₃段(风机端)显著上升,这与杨选将等^[12]、韩占兵等^[13]的研究结果一致。这一现象表明,在纵向通风模式下,鸡舍内鸡笼越接近风机,其笼内风速越大,温度、CO₂浓度也随之增大。可能的原因是,冷空气由L₁段进入后,由L₁段向L₃段流动,过程中不断吸收热量,导致L₃段温度较高。与此同时,鸡群呼吸产生的CO₂随着气流向后移动,并在L₃段积聚。由于后端空气流动性较弱,CO₂不易被及时排出,因此L₃段浓度较高。而在7~9周龄时,L₁、L₂段相对湿度显著高于L₃段,这可能是由于肉鸡的降温需要,湿帘的运行时间增加有关。此外,21日龄时,L₁、L₂段肉鸡体重显著高于L₃段。对鸡舍环境参数及21日龄体重进行相关性分析表明,21日龄体重与温度呈显著负相关,与相对湿度呈显著正相关。研究表明相对湿度(50%~90%)在环境温度低于25℃时对肉鸡生长性能和采食量无显著影响;然而,当温度升至26℃及以上时,高湿度环境会显著抑制其生长性能^[14-16],这表明L₃阶段肉鸡的生长性能下降可能与温湿度不适直接相关。柴睿堂等^[17]研究发现,风机端由于风机持续工作产生的噪音使蛋鸡的产蛋率显著下降。也有研究表示,噪音会对蛋鸡的生产性能、健康和福利状况产生不利影响^[18]。本试验结果显示,L₃段肉鸡呈现前期(42日龄)体重优势但后期(63日龄)增重减缓的特征,结合环境监测数据,这一现象可能与育肥期(43~63日龄)通风调控策略密切相关。随着肉鸡日龄增长,通风需求增加导致风机功率随之增加,但育肥期(43~63日龄)风机端持续强风会引发多重负面效应,高速气流导致体感温度降低,诱发冷应激反应,增加肉鸡维持能耗;其次,强风会扬起舍内粉尘,降低空气质量,刺激肉鸡呼吸道黏膜,这一现象在冬季肉鸡舍更为明显^[19]。综上,L₃段肉鸡生长性能降低可能是多种环境因素综合作用的结果。

鸡舍不同纵向区段的环境参数分析表明,C列的温度、笼内风速和CO₂浓度显著高于B列,而B列的相对湿度在肉鸡4~6周龄时显著高于A列和C列。鸡舍第二列(B列)的温度显著高于靠墙列(A列)和中间列(C列),主要原因包括通风气流分布和外界环境的影响:通风气流从进风口进入后,第二列直接获得更多新鲜空气和热量,而靠墙列(A列)因靠近墙壁容易散热,中间列(C列)则因距离进风口较远导致气流减弱;同时,靠墙列(A列)受外界低温影响散热较快,中间列(C列)因空气流动

性较差,温度分布相对较低且均匀。尽管各列环境参数存在显著差异,但各列肉鸡的生长性能无显著差异。

鸡舍不同笼层环境参数分析表明,H₂层温度显著高于H₁和H₃层,这与诸立春等^[20]的研究结果一致。这种现象主要归因于热空气上升、冷空气下沉的自然规律以及通风系统的设计:下层(H₃层)靠近地面,冷空气容易积聚,因此温度最低;中层(H₂层)因热空气上升和加热设备的作用,温度较高;上层(H₁层)虽然接近热源,但因靠近通风口,热量容易散失,温度略低于中层。此外,H₃层相对湿度显著高于H₁层,可能是由于养殖人员通过地面洒水的方式控制鸡舍相对湿度,导致底层相对湿度显著升高。随着笼层增加,CO₂浓度呈逐渐下降趋势,这主要是因为CO₂密度大于空气,会自然下沉并积聚在底层,而通风系统通常从底层进风、顶层排风,新鲜空气从底层进入后向上流动,逐渐稀释并带走CO₂,导致底层CO₂浓度较高,中层和顶层浓度逐渐降低。此外,鸡群呼吸产生的CO₂在底层积聚较多,加上底层温度较低、空气流动性较差,进一步加剧了这种浓度差异。不同笼层的笼内风速未产生显著差异。在生长性能方面,H₂层显著低于H₁和H₃层。不同笼层所处的环境不同,环境参数有轻微差异,影响肉鸡的生长性能^[21]。本研究也发现出栏体重与温度、CO₂浓度呈显著负相关,与相对湿度、笼内风速呈显著正相关。

4 结论

本研究测定了3层叠式笼养黄羽肉鸡舍的不同空间环境参数和肉鸡生长性能,并进一步分析了环境参数与生长性能的相关性。结果发现鸡舍内不同区段环境参数存在差异,肉鸡出栏体重与鸡舍内温度、CO₂浓度呈显著负相关,与鸡舍相对湿度、笼内风速呈显著正相关。本研究结果提示,可通过优化风机端通风频率、调整中层温控策略来改善鸡舍环境参数的均衡性,从而有效提高黄羽肉鸡生长性能。

参考文献:

- [1] 辛翔飞,张祎,高海军,等.黄羽肉鸡产业高质量发展面临的挑战与实现路径[J].中国畜牧杂志,2025,61(1):400-404.
- [2] 高海军.我国黄羽肉鸡和其他肉鸡产业市场现状及未来展望[J].畜牧产业,2024(12):27-30.
- [3] BJERG B, SVIDT K, ZHANG G, et al. Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses [J]. Comput Electron Agric, 2002, 34(1): 223-235.

- [4] DAVID B, MEJDELL C, MICHEL V, et al. Air quality in alternative housing systems may have an impact on laying hen welfare. part II-ammonia [J]. *Animals*, 2015, 5 (3): 886-896.
- [5] COOK R N, XIN H, NETTLETON D. Effects of cage stocking density on feeding behaviors of group-housed laying hens [J]. *Trans ASABE*, 2006, 49 (1): 187-192.
- [6] 吴鹏威. 半开放式鸡舍不同季节环境参数变化规律及其对蛋鸡生产性能影响的研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [7] DIARRA S S, TABUACIRI P. Feeding management of poultry in high environmental temperatures [J]. *Int J Poult Sci*, 2014, 13 (11): 657-661.
- [8] LIN H, ZHANG H F, JIAO H C, et al. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. I. One week of age [J]. *Poult Sci*, 2005, 84 (8): 1166-1172.
- [9] RUZAL M, SHINDER D, MALKA I, et al. Ventilation plays an important role in hens' egg production at high ambient temperature 1 [J]. *Poult Sci*, 2011, 90 (4): 856-862.
- [10] KOCAMAN B, ESEBUGA N, YILDIZ A, et al. Effect of environmental conditions in poultry houses on the performance of laying hens [J]. *Int J Poult Sci*, 2005, 5 (1): 26-30.
- [11] 林勇, 陈宽维, 师蔚群, 等. 超长蛋鸭笼养舍内不同区域环境参数与蛋鸭生产性能比较分析 [J]. *家畜生态学报*, 2016, 37 (8): 31-35.
- [12] 杨选将, 刘盛南, 詹凯, 等. 八层层叠式笼养蛋鸡舍夏季环境质量参数测定与相关性分析 [J]. *中国家禽*, 2015, 37 (10): 26-29.
- [13] 韩占兵, 张红岩, 张立恒, 等. 层叠式笼养蛋鸡舍夏季环境参数测定与分析 [J]. *现代牧业*, 2023, 7 (4): 8-12.
- [14] OLANREW H A, PURSWEL J L, COLLIER S D, et al. Interactive effects of ambient temperature and light sources at high relative humidity on growth performance and blood physiological variables in broilers grown to 42 day of age [J]. *Int J Poult Sci*, 2016, 15 (10): 394-400.
- [15] YAHAV S, SHINDER D, RAZPAKOVSKI V, et al. Lack of response of laying hens to relative humidity at high ambient temperature [J]. *Br Poult Sci*, 2000, 41 (5): 660-663.
- [16] 周莹, 彭骞骞, 张敏红, 等. 相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡体温、酸碱平衡及生产性能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2015, 27 (12): 3726-3735.
- [17] 柴睿堂, 吕柯, 黎剑能, 等. 不同单体笼位置对母鸡产蛋性能的影响 [J]. *广西畜牧兽医*, 2023, 39 (1): 15-17.
- [18] CAO S, YE M, WEI W, et al. Different sound exposures causes alterations in stress-related serum indicators, behaviors, and cecal microbiota of green-shell egg-laying chickens under different stocking densities [J]. *PeerJ*, 2024, 12: e18544.
- [19] 严康, 化占勇, 李尚民, 等. 冬季层叠式肉鸡舍内温湿度、氨气和二氧化碳浓度与日增重的相关性分析 [J]. *中国畜牧杂志*, 2024, 60 (11): 370-375.
- [20] 诸立春, 李岩, 詹凯, 等. 四层层叠密闭式本交笼养蛋种鸡舍春季环境参数测定与相关性分析 [J]. *中国家禽*, 2017, 39 (21): 38-42.
- [21] 吴俊锋, 詹凯, 李俊营, 等. 夏季高温不同笼层温度对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清指标的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2012, 44 (8): 34-37.