

唐倩, 吴玉婷, 王闯, 等. 冬季网上平养肉鸡舍内气体、颗粒物和微生物气溶胶的分布特征 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (8): 28-35.

TANG Q, WU Y T, WANG C, et al. Distribution characteristics of gases, particulate matter and microbial aerosols in a net-rearing broiler house during winter [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (8): 28-35.

冬季网上平养肉鸡舍内气体、颗粒物和微生物气溶胶的分布特征

唐倩^{1,2}, 吴玉婷¹, 王闯¹, 孙鑫宇¹, 徐艺闻¹, 杨丽华¹,
张民扬¹, 邓凯东¹, 徐世永¹, 李春梅^{2*}

(1. 金陵科技学院动物科学与食品工程学院, 江苏 南京 210038;

2. 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 210095)

摘要: 旨在探究冬季网上平养肉鸡舍内气体、颗粒物和微生物气溶胶的分布特征, 为鸡场制定合理有效的环境调控措施提供基础数据和科学依据。鸡舍为某规模化全封闭式网上平养肉种鸡舍, 舍内设置4个监测点位置, 高度为距离地面1.0 m处, 每天分别于8:00、11:00、14:00和17:00时间点测定舍内风速, 以及气体(NH₃、H₂S和CO₂), 不同粒径颗粒物(PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁和PM_{0.3})和微生物气溶胶(细菌、真菌和大肠杆菌气溶胶)浓度, 温湿度每隔30 min记录一次, 连续监测7 d。结果: 肉鸡舍内平均温度和相对湿度分别为15.14℃和74.62%; 舍内平均风速为0.17 m/s, 极显著低于舍外(1.30 m/s) ($P<0.01$); 舍内NH₃、H₂S和CO₂平均浓度为7.90、0.02和2100 mg/m³, 其中, 舍内风机端NH₃和CO₂浓度显著高于湿帘端 ($P<0.05$); 舍内PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁和PM_{0.3}浓度分别为103.88、79.57、39.79和12.74 μg/m³, 各时间点颗粒物浓度变化均不显著 ($P>0.05$); 细菌、真菌和大肠杆菌气溶胶浓度分别为4.14×10⁵、1.42×10⁵和2.64×10⁴ CFU/m³; 细菌和大肠杆菌气溶胶浓度与粒径大小成正比, 真菌气溶胶浓度呈不规则变化; 粒径在3.3 μm以下的细菌、真菌和大肠杆菌气溶胶分别占比30.14%、44.66%和22.42%。本试验鸡舍内温湿度、风速、NH₃、H₂S和PM₁₀浓度均符合国家标准要求, CO₂和细菌气溶胶浓度偏高, 提示该鸡舍的日常管理应注意通风和定期消毒管理, 以期进一步提高鸡群健康水平。

关键词: 肉鸡舍; 网上平养; 气体; 颗粒物; 微生物气溶胶

中图分类号: S811.7 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)08-0028-08

Distribution characteristics of gases, particulate matter and microbial aerosols in a net-rearing broiler house during winter

TANG Qian^{1,2}, WU Yuting¹, WANG Chuang¹, SUN Xinyu¹, XU Yiwen¹, YANG Lihua¹,
ZHANG Minyang¹, DENG Kaidong¹, XU Shiyong¹, LI Chunmei^{2*}

(1. College of Animal Science and Food Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China;

2. Research Center for Livestock Environmental Control and Smart Production, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study aimed to investigate the distribution characteristics of gases, particulate matter, and microbial aerosols in a net-rearing broiler house during the winter season, in the hope of providing fundamental data and scientific basis for formulating reasonable and effective environmental control measures in poultry farms. The experiment was conducted in a large-scale, fully enclosed net-rearing broiler house. Four monitoring points were set inside the house, with a monitoring height of 1.0 m above the ground. Measurements were taken daily at 8:00, 11:00, 14:00, and 17:00 for indoor wind speed, gases (NH₃, H₂S, and CO₂), different-sized particulate matters (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, and PM_{0.3}), and microbial aerosol concentrations (of bacterial, fungal, and *E. coli* aerosols). Temperature and humidity were

收稿日期: 2024-08-31; 修回日期: 2025-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(32202737); 中国博士后科学基金面上项目(2022M721652); 江苏省大学生创新创业训练项目(202413573099Y); 金陵科技学院科教融合课程“家畜环境卫生学”项目(金院教字2024【1】号); 金陵科技学院高层次引进人才启动项目(jit-b-202104, jit-b-202221)。

第一作者: 唐倩, 女, 博士, 副教授

*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。

recorded every 30 minutes. The experimental period lasted for seven days. The results showed that the average temperature and relative humidity inside the broiler house were 15.14 °C and 74.62%, respectively. The average indoor wind speed was 0.17 m/s, significantly lower than the outdoor wind speed of 1.30 m/s ($P < 0.01$). The average concentrations of NH_3 , H_2S , and CO_2 inside the house were 7.90, 0.02, and 2 100 mg/m^3 , respectively. The concentrations of NH_3 and CO_2 at the fan end of the house were significantly higher than those at the wet curtain end ($P < 0.05$). The concentrations of PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PM_1 , and $\text{PM}_{0.3}$ were 103.88, 79.57, 39.79, and 12.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, with no significant variation in particulate matter concentrations at different time points ($P > 0.05$). The concentrations of bacterial, fungal, and *E. coli* aerosols were 4.14×10^5 , 1.42×10^5 , and 2.64×10^4 CFU/m^3 , respectively. The concentrations of bacterial and *E. coli* aerosols were proportional to the particle sizes, while the concentration of fungal aerosols showed irregular variations. Bacterial, fungal, and *E. coli* aerosols with particle sizes below 3.3 μm accounted for 30.14%, 44.66%, and 22.42%, respectively. The indoor temperature, humidity, wind speed, NH_3 , H_2S , and PM_{10} levels met national standards, whereas the CO_2 and bacterial aerosol concentrations were elevated. These findings suggested that enhanced ventilation and regular disinfection management should be prioritized in daily operations to further improve flock health.

Keywords: broiler house; net-rearing; gases; particulate matter; microbial aerosols

我国是世界第二大肉鸡生产国，目前的养殖方式主要以笼养和平养为主，笼养包括阶梯式和叠层式两种，平养包括网上和地面平养两种^[1]。目前，随着福利化养殖的推行，网上平养可以为鸡群提供更广泛的活动空间，将鸡与粪便隔开，保持良好的生长环境，促使鸡群健康生长，但是在饲养过程中鸡群的活动量较大，空气环境污染较为严重。区别于哺乳动物，气囊作为禽类所特有的、伸出肺外、分布于内脏间膨大的膜质囊，在呼吸中起重要作用，负责给肺通气，故当空气环境较差，或者有病原体感染时，由于气囊分布于内脏之间，甚至连接骨骼内的空腔，经常很容易出现气囊炎，严重时导致全身感染^[2]。

舍内 NH_3 、 H_2S 、 CO_2 、颗粒物 (PM) 以及微生物气溶胶是评价空气环境质量的重要参数。 NH_3 和 H_2S 大部分来自粪便， NH_3 主要由含氮有机物分解而来， H_2S 则由含硫有机物分解而来^[3]。研究表明，长期生长在 25 mg/m^3 的 NH_3 环境中会降低饲料转化率^[4]。姚中磊^[5] 研究发现，10 mg/m^3 NH_3 会导致肉鸡气管黏膜表面纤毛轻微脱落，且随着 NH_3 浓度升高，肉鸡气管黏膜层变薄，肺泡破裂。Chen 等^[6] 研究发现将肉鸡暴露在此条件下 (0~3 周龄， H_2S 浓度 4 mg/m^3 ，4~6 周龄， H_2S 浓度 20 mg/m^3)，能够引起气管组织炎性损伤、细胞凋亡以及坏死的发生。 CO_2 是评价舍内空气污浊程度的一个间接指标，若鸡舍内通风不良，长时间浓度过高，会导致鸡群缺氧，引起慢性中毒，表现为精神萎靡、食欲减退、增重缓慢、生产性能下降以及免疫力低下^[7]。 CO_2 是调节呼吸运动最重要的体液因素，动脉血中一定水平的二氧化碳分压 (P_{CO_2}) 是维持呼吸和呼吸中枢兴奋不可缺少的条件^[8]。研究发现，肉鸡舍内 CO_2 浓度达到 12 000 mg/m^3 ，会降低免疫球蛋白，增加血液中白细胞数量和血红蛋白含量，死亡率增加^[9]。

肉鸡舍内空气 PM 主要来源于饲料、粪便、羽毛、垫料、皮屑等，其表面附着有金属离子、挥发性有机化合物、微生物、内毒素、 β -葡聚糖以及有害气体 NH_3 和 H_2S 等^[10]。舍内高浓度 PM 容易引起鸡群呼吸道疾病频发^[11]。高浓度 PM 暴露能够显著降低肉鸡平均日增重和生长性能^[12]，诱导肺部炎症反应，这可能与肺的上皮细胞或巨噬细胞中信号通路 Toll 样受体 4/丝裂原活化蛋白激酶/核因子 κB (TLR4/MAPK/NF- κB) 以及 NOD 样受体热蛋白结构域相关蛋白 3 (NLRP3) 的激活有关^[13]。此外，还发现长期暴露于 $\text{PM}_{2.5}$ 会显著改变鸡血清中甘油磷脂代谢、类固醇激素生物合成以及苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸等生物合成途径^[14]。

肉鸡舍内环境复杂，生物来源广泛，舍内的粪便、垫料、饲料等均为微生物的生长繁殖提供了丰富的营养物质，这些悬浮在空气环境中的微生物所形成的胶体体系，即为微生物气溶胶。畜禽舍 PM 上附着的微生物大多为细菌，其中革兰阳性菌约占 90%，而革兰阴性菌占比较少^[15]。在鸡舍、猪舍和牛舍 PM 中均能够检测到葡萄球菌、链球菌、肠球菌等革兰阳性菌^[16]以及假单胞菌、肠杆菌、奈瑟氏菌等革兰阴性菌^[17]。

因此，在肉鸡饲养期间，对鸡舍内空气环境指标，包括温度、相对湿度、风速，以及气体 (NH_3 、 H_2S 和 CO_2)，不同粒径颗粒物 (PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_1 、 $\text{PM}_{0.3}$) 和微生物气溶胶浓度进行监测，并分析其分布规律，对于制定合理的环境控制措施，促进鸡群健康生产具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验鸡舍基本情况和日常管理

选取位于江苏省南通市某规模化爱拔益加肉种鸡舍 (北纬 32°85'~34°20'，东经 119°57'~120°45')，

饲养方式为网上平养, 舍内共饲养 5 000 多只肉种鸡。鸡舍内长 100 m, 宽 10 m, 高 3 m, 占地面积为 1 000 m²。该鸡舍为全封闭式, 东西走向, 舍内南侧安装有两扇门, 东侧安装有 5 个风机, 西侧安装有 2 个湿帘。粪便每隔 3 个月清理一次。该鸡舍饲喂饲料类型为粉料, 分别于 7: 30 和 17: 00 进行饲喂, 自由饮水。舍内采用机械通风, 根据舍内温度设置, 自动开启风机, 保持舍内通风。

1.2 试验仪器和数据采集

使用如下仪器进行鸡舍内外环境指标测定: 温湿度, RC-4HC 型迷你温湿度记录仪 (江苏省精创电气股份有限公司); 风速, 405-v1 型风速仪 (德国 Testo 集团); NH₃、H₂S 和 CO₂ 浓度, 采用 GT-903 型单通道便携式多功能监测仪 (深圳市科尔诺电子科技有限公司); 不同粒径颗粒物 (PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3}) 浓度, GT-1000 激光粉尘检测仪 (深圳市科尔诺电子科技有限公司); 微生物气溶胶 (细菌、真菌、大肠杆菌), ZYK-6 型六级筛孔撞击式微生物采样器 (常州普森电子仪器厂)。微生物采样器的采样流量为 28.3 L/m³, 该仪器可以采集不同粒径的微生物气溶胶, 分别为第一级 (>7.0 μm), 第二级 (>4.7~7.0 μm), 第三级 (>3.3~4.7 μm), 第四级 (>2.1~3.3 μm), 第五级 (>1.1~2.1 μm), 第六级 (0.65~1.1 μm)。根据预试验结果, 确定不同种类微生物气溶胶的采样时间, 该鸡舍内细菌、真菌和大肠杆菌气溶胶的采样时间分别为 30 s、1 min 和 5 min。

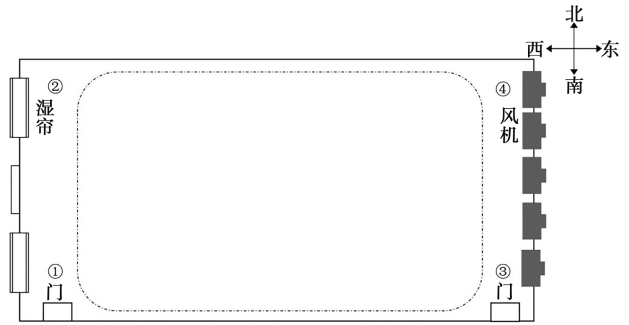
1.3 监测实施方案

对鸡舍进行监测日期为 2023 年 2 月 22—28 日。监测时间为每日 8: 00、11: 00、14: 00、17: 00。舍内选取了 4 个固定的监测点 (图 1), 舍外选择距离鸡舍 5 m 空气较为清新的地方测量, 监测高度均为离地面 1 m 处, 对舍内外光照、风速以及 NH₃、CO₂、H₂S 和 PM 浓度进行监测。温度和相对湿度由温湿度计自动记录, 每 30 min 记一次。微生物气溶胶采样点见图 1, 采样时间同以上环境指标。

1.4 数据统计与分析

Excel 整理数据后, 利用 GraphPad Prism 9.0 进行数据的统计分析。当数据符合正态分布时, 使用单因素 ANOVA 的 Turkey 检验分析其显著性, 当数据不

符合正态分布时, 使用 Kruskal Wallis 的 Dunn's 分析其显著性。 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。数据用“平均值±标准误”表示。



温度、相对湿度、风速、NH₃、H₂S、CO₂ 和不同粒径颗粒物 (PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3}) 指标监测点为①②③④四个位置; 微生物气溶胶监测点为②一个位置。

图 1 鸡舍内部平面图以及监测点位置示意

2 结果与分析

2.1 鸡舍空气温湿度和风速

鸡舍内、外温度的日均变化范围分别为 13.41~16.77 °C、0.60~5.99 °C, 平均温度分别为 15.14 °C、2.77 °C (图 2A)。舍内、外湿度的变化范围分别为 71.67%~77.81%、53.43%~66.31%, 平均湿度为 74.62%、61.67% (图 2B)。鸡舍外风速 (1.30 m/s) 极显著高于舍内 (0.17 m/s) ($P<0.01$) (图 3A), 舍内各个位置点风速没有显著性差异 ($P>0.05$) (图 3B)。

2.2 鸡舍 NH₃、H₂S 和 CO₂ 浓度

舍内 NH₃ 平均浓度为 7.90 mg/m³, 极显著高于舍外 (0 mg/m³) ($P<0.01$) (图 4A), 其中监测点③和④处的 NH₃ 浓度显著高于监测点①和②处的 ($P<0.05$) (图 5A)。舍内 H₂S 浓度较低为 0.02 mg/m³ (图 4B), 且舍内各个位置点浓度均差异不显著 ($P>0.05$) (图 5B)。舍内 CO₂ 浓度与 NH₃ 浓度具有相同的变化趋势, 舍内 CO₂ 浓度为 2 100 mg/m³, 极显著高于舍外 (1 400 mg/m³) ($P<0.01$) (图 4C), 其中监测点③和④处的 CO₂ 浓度显著高于位置①和②处的 ($P<0.05$) (图 5C)。

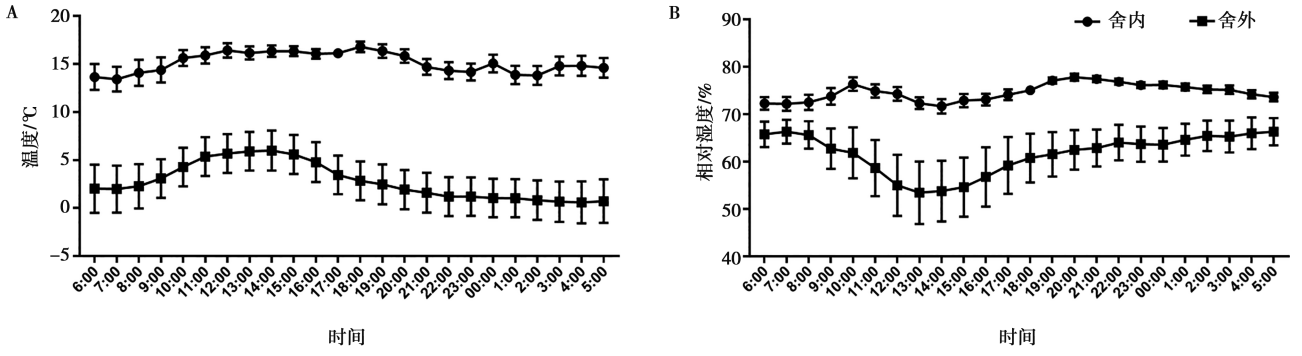
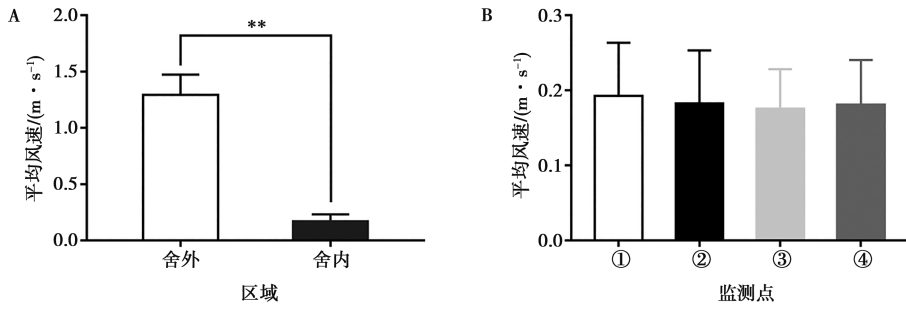


图2 鸡舍内、外温度和相对湿度变化



**表示 $P < 0.01$ 。下同。

图3 鸡舍内、外以及舍内不同位置点风速变化

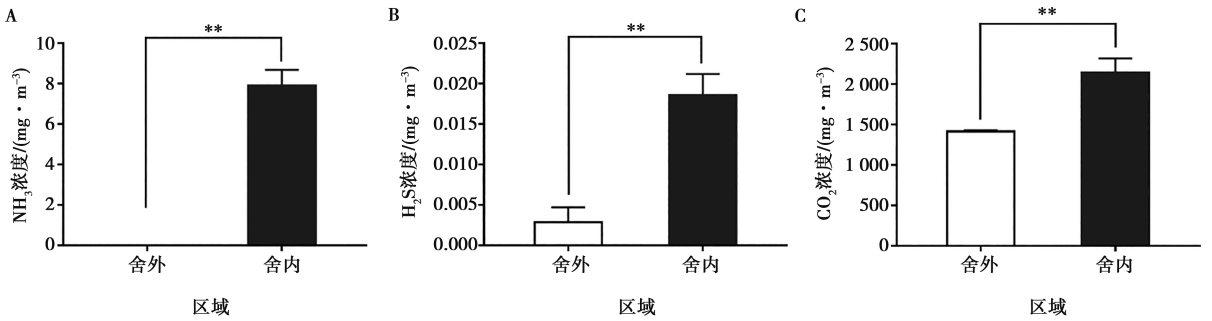
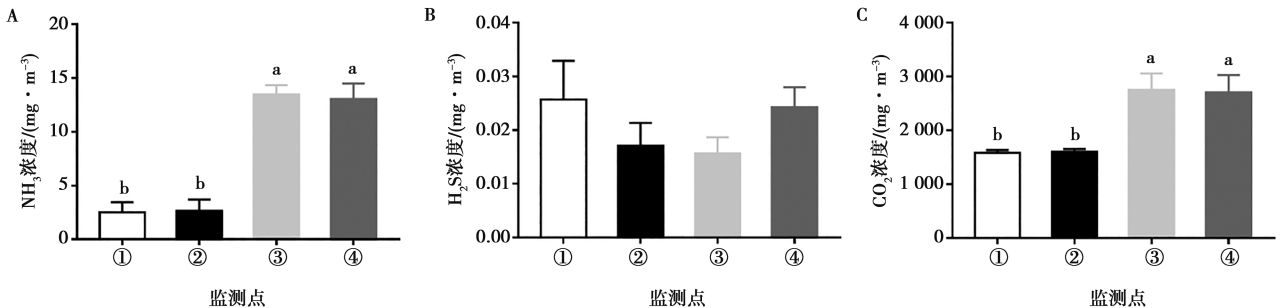


图4 鸡舍内、外 NH₃、H₂S 和 CO₂ 浓度比较



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图5 鸡舍内不同位置点 NH₃、H₂S 和 CO₂ 浓度比较

2.3 鸡舍 PM 浓度

依次对鸡舍内外 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3} 浓度进行监测,发现舍内浓度均高于舍外,但差异不显著 ($P>0.05$) (图 6)。舍内 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3}

浓度分别为 103.88、79.57、39.79 和 12.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,舍外 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3} 浓度分别为 68.96、58.00、34.61 和 11.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。不同时间点各 PM 浓度没有显著性差异 ($P>0.05$) (图 7)。

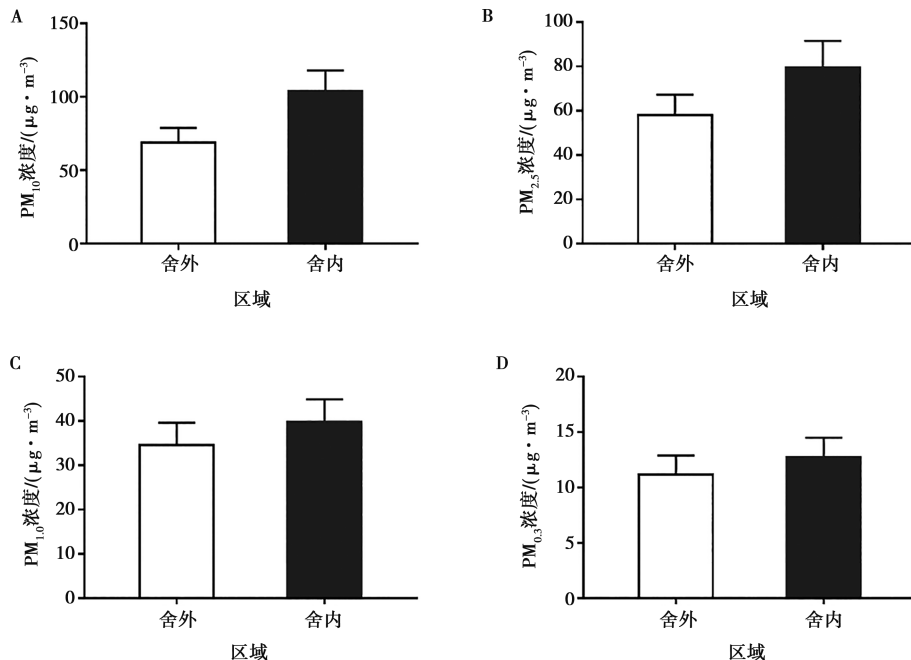


图 6 鸡舍内、外 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3} 浓度比较

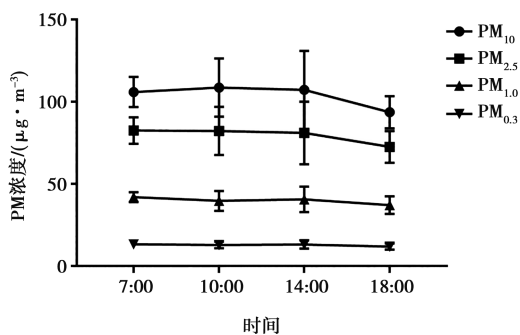


图 7 鸡舍内不同时间点 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、PM_{0.3} 浓度变化

2.4 鸡舍内微生物气溶胶分布规律

鸡舍内细菌、真菌和大肠杆菌气溶胶平均浓度分别为 4.14×10^5 、 1.42×10^5 和 2.64×10^4 CFU/ m^3 (图 8)。对不同时间点 (8:00, 11:00, 14:00 和 17:00) 各种类微生物气溶胶浓度进行测定,细菌在 14:00 点测得最高值,17:00 点最低,各个时间点均差异不显著 ($P>0.05$) (图 9A);真菌在 8:00 点测得最低值,显著低于 17:00 点 ($P<0.05$) (图 9B);大肠杆菌在 11:00 点测得最低值,各个时间

点均差异不显著 ($P>0.05$) (图 9C)。

微生物气溶胶不同粒径的分析如图 10 所示。细菌和大肠杆菌气溶胶浓度随粒径变小而逐级降低,其中,细菌气溶胶颗粒直径超过 $7 \mu\text{m}$ 的比例最大,占比为 31.53%, $0.65 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 的比例最小,比例为 4.29% (图 10A),大肠杆菌则为 38.27% 和 2.14% (图 10C)。真菌气溶胶浓度呈现不规则性分布,三级和四级的占比分别为 24.20% 和 25.96%,二级、一级和五级的次之,占比为 16.88%、14.26%、14.02%,六级占比最小,为 4.68% (图 10B)。

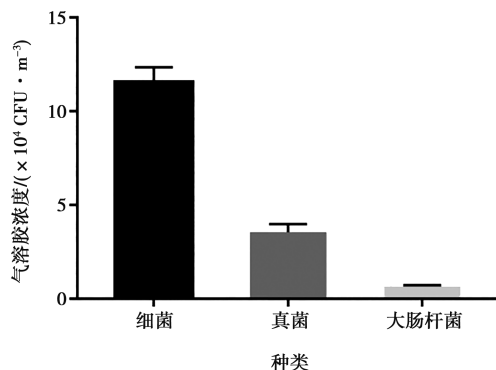


图 8 鸡舍内细菌、真菌和大肠杆菌微生物气溶胶浓度对比

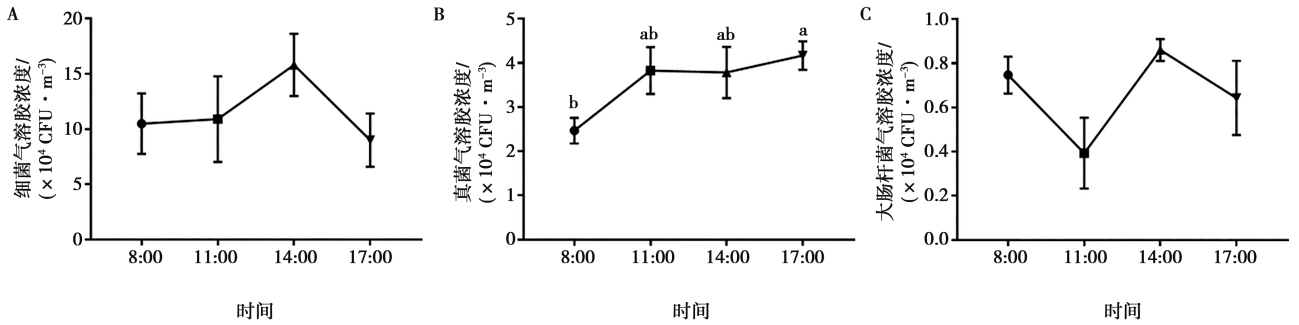
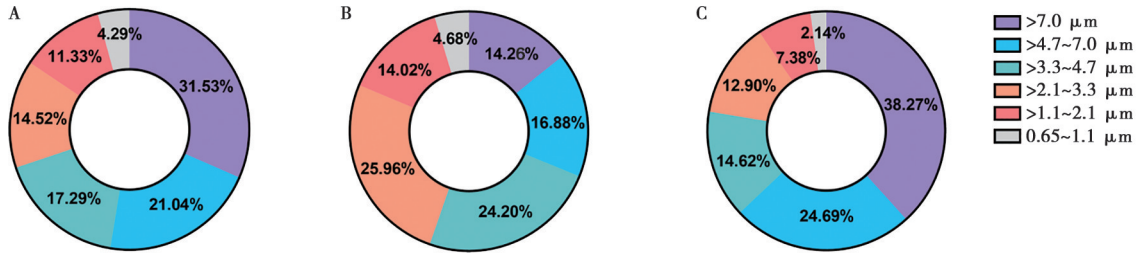


图9 鸡舍内不同时间点微生物气溶胶浓度变化



A. 细菌气溶胶; B. 真菌气溶胶; C. 大肠杆菌气溶胶。

图10 鸡舍内不同粒径微生物气溶胶浓度占比

3 讨论

畜禽舍内空气环境是影响动物健康和高效生产的重要因素。NY/T 388—1999《畜禽场空气环境质量标准》^[18]规定，成年禽舍内温度范围为10~24℃，湿度75%，风速不超过0.8 m/s。本试验鸡舍内平均温度和相对湿度分别为15.14℃和74.62%，风速为0.17 m/s，与标准相比较，该鸡舍内温度、相对湿度和风速均在规定的限值之内。成年禽舍内NH₃、H₂S和CO₂浓度规定不应超过15、10和1500 mg/m³。本试验鸡舍内NH₃、H₂S和CO₂浓度分别为7.90、0.02和2100 mg/m³，与标准相比较，本鸡舍内NH₃、H₂S均在规定的限值之内，CO₂浓度偏高。有学者研究发现，鸡舍内CO₂浓度低于5000 mg/m³，对鸡群的生产性能、健康程度和免疫力没有影响^[19-20]。目前，中国现行的肉鸡舍内CO₂的农业行业标准浓度为1500 mg/m³，主要适用于传统的刮板式清粪鸡舍。近年来，随着养殖设备以及环境调控技术的迅速发展，鸡舍内普遍采用传送带清粪，乳头式饮水器质量提高，舍内湿度和NH₃等有害气体浓度均明显减小，现行的1500 mg/m³CO₂浓度参数标准已偏低。有学者建议可将鸡舍内CO₂浓度标准提高至5000 mg/m³^[21]。

畜禽舍内CO₂浓度是衡量舍内通风状况的重要指标，其主要由动物呼吸产生，少部分来自粪便分解。

沈丹等^[22]监测到冬季阶梯式笼养肉种鸡舍内CO₂浓度范围为1886.70~2527.62 mg/m³。唐璐婵等^[23]测得冬季叠层笼养肉鸡舍内平均CO₂浓度为1987 mg/m³。这些研究结果与本研究结果相似，冬季肉鸡舍内CO₂浓度均超过了畜禽舍空气环境质量规定的限制。冬季舍内为了保温，一般会减少通风，以致舍内CO₂浓度升高。这也提示我们，在保证舍内温度适宜的前提下，应适当增加间歇性开启风机的频次或是多开启小窗，增加舍内通风以降低CO₂浓度。

此外，舍内NH₃和CO₂浓度在空间分布上具有一定的差异性，靠近风机端的浓度要显著高于湿帘端。李福伟等^[24]研究得出，鸡舍内风机端NH₃浓度显著高于湿帘端，相差0.08 mg/m³；唐璐婵等^[23]亦得出相似的结论，风机端和湿帘端NH₃浓度差值甚至达到了0.48 mg/m³。鸡舍内清粪是由清粪带从湿帘端传送到风机端，而后掉落至粪坑运输至舍外，但粪坑内粪便残留较多，导致舍内后端NH₃浓度高。关于CO₂的空间分布特征，牛晋国等^[25]和尚峰军等^[26]均得出相似的结论，从湿帘端到风机端，舍内CO₂浓度逐渐升高。这可能是由于风机的开启，舍内负压通风，会将气体蓄积至风机端，导致风机端气体浓度高于湿帘端。

鸡舍内空气PM主要来源于粪便、饲料、羽毛等。微生物是空气PM的重要组成部分，有研究报道，细菌气溶胶占据所有微生物气溶胶的80%以

上^[27]。Lou 等^[28]通过宏基因组学检测发现,细菌、真菌、病毒和古细菌是PM的主要成分,分别占比89.80%、1.08%、2.06%和0.49%。本研究中,鸡舍空气细菌和真菌气溶胶的浓度分别为 4.14×10^5 和 2.64×10^4 CFU/m³,细菌的占比最高,约为真菌的3倍。Górný 等^[29]检测到肉鸡舍内空气细菌和真菌气溶胶的浓度为 1.26×10^8 和 3.77×10^4 ,该试验结果均高于本研究,究其原因可能在于舍内的饲养模式不同。本研究采用的是网上平养的方式,而上述研究采用地面垫料饲养模式,这也从侧面说明了网上平养在空气环境方面的优势。Chen 等^[2]研究发现夏季肉鸡舍内真菌气溶胶浓度为 2.90×10^3 CFU/m³,远低于本试验结果,可能是由于夏季舍内通风频繁,且此舍内安装有空气过滤装置,大大降低了舍内真菌气溶胶浓度。

本研究利用六级气溶胶采集了不同粒径PM上存在的微生物。粒径较小的PM能够躲避呼吸道系统中的许多防御系统,如上皮纤毛、黏液和唾液等,将大量潜在的病原微生物输送至下呼吸道,随血液循环到达其他组织器官^[30-31],这也提示我们应更加关注较小粒径PM中附着的微生物。本研究发现粒径在3.3 μm以下的细菌、真菌和大肠杆菌气溶胶分别占比30.14%、44.66%和22.42%。鸡舍内病原微生物蓄积,不仅会对舍内鸡群的健康构成巨大的风险,也会通过舍内的通风系统,扩散至周围环境,威胁人类健康^[32]。因此,进一步了解鸡舍空气中的病原微生物,对于鸡舍空气环境的防治具有至关重要的作用。Dai 等^[10]检测发现封闭式肉鸡舍空气PM_{2.5}中含有内毒素0.3 EU/m³,并且其表面附着有多种有害细菌属(葡萄球菌属、埃希氏菌属、肠球菌属、巨单胞菌属和副杆菌属)和过敏原真菌属(曲霉属、镰刀霉属、帚霉属和节担菌属),有害细菌属和过敏原真菌属分别占总细菌属和真菌属的13.96%和7.55%。此外,Lou 等^[28]测得肉鸡舍空气PM_{2.5}中存在10种潜在的条件病原细菌属,其中葡萄球菌属的占比最高,为16.00%。

4 结论

冬季网上平养肉鸡舍内NH₃、H₂S浓度在国家标准NY/T 388—1999规定的限值内,CO₂浓度值偏高,且风机端NH₃、H₂S及CO₂浓度显著高于湿帘端。舍内外PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁和PM_{0.3}浓度没有显著差异,且其在不同时间点的分布亦没有显著差异。细菌和大肠杆菌气溶胶浓度随粒径变小而逐级降低,真菌气溶胶浓度呈现不规则性分布,四级(25.96%)和三级(24.20%)占比最高,其次为二、一、五、六级。另外,粒径在3.3 μm以下的细菌、真菌和大肠杆菌

气溶胶分别占比30.14%、44.66%和22.42%。

参考文献:

- [1] 李保明,王阳,郑炜超,等.中国规模化养鸡环境控制关键技术与设施设备研究进展[J].农业工程学报,2020,36(16):212-221.
- [2] CHEN G, MA D, HUANG Q, et al. Aerosol concentrations and fungal communities within broiler houses in different broiler growth stages in summer [J]. Front Vet Sci, 2021, 8: 775502.
- [3] 郭艳,张进良,刘洪涌.鸡舍内氨气的来源及对肉鸡生产影响的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2020(11):35-38.
- [4] CAVENY D D, QUARLES C L, GREATHOUSE G A. Atmospheric ammonia and broiler cockerel performance [J]. Poult Sci, 1981, 60(3): 513-516.
- [5] 姚中磊.不同氨气浓度对肉仔鸡生长、免疫和血液生理生化指标的影响[D].杭州:浙江大学;2008.
- [6] CHEN M, LI X, SHI Q, et al. Hydrogen sulfide exposure triggers chicken *Trachea* inflammatory injury through oxidative stress-mediated FOS/IL8 signaling [J]. J Hazard Mater, 2019, 368: 243-254.
- [7] 戴荣国,周晓容,彭祥伟,等.CO₂浓度对肉鸡生产性能、体液免疫及血液指标的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2009,31(8):21-27.
- [8] GERRITZEN M, LAMBOOIJ B, REIMERT H, et al. A note on behaviour of poultry exposed to increasing carbon dioxide concentrations [J]. Appl Anim Behav Sci, 2007, 108(1/2): 179-185.
- [9] 陈春林,戴荣国,周晓容,等.鸡CO₂浓度对肉鸡血液生化指标的影响[J].家畜生态学报,2009,30(2):59-61.
- [10] DAI P, SHEN D, TANG Q, et al. PM_{2.5} from a broiler breeding production system: The characteristics and microbial community analysis [J]. Environ Pollut, 2020, 256: 113368.
- [11] 戴鹏远,沈丹,唐倩,等.畜禽养殖场颗粒物污染特征及其危害呼吸道健康的研究进展[J].中国农业科学,2018,51(16):3214-3225.
- [12] SHEN D, GUO Z, HUANG K, et al. Inflammation-associated pulmonary microbiome and metabolome changes in broilers exposed to particulate matter in broiler houses [J]. J Hazard Mater, 2022, 421: 126710.
- [13] TANG Q, HUANG K, LIU J, et al. Fine particulate matter from pig house induced immune response by activating TLR4/MAPK/NF-κB pathway and NLRP3 inflammasome in alveolar macrophages [J]. Chemosphere, 2019, 236: 124373.
- [14] CHEN Z, BAI Y, LOU C, et al. Serum metabolome responses induced by long-term inoculation of suspended PM_{2.5} in chicken [J]. Poult Sci, 2024, 103(2): 103283.
- [15] ZUCKER B A, TROJAN S, MÜLLER W. Airborne gram-negative bacterial flora in animal houses [J]. J Vet Med B Infect Dis Vet Public Health, 2000, 47(1): 37-46.
- [16] MATKOVIĆ K, VUČEMILO M, VINKOVIĆ B, et al. Qualitative structure of airborne bacteria and fungi in dairy barn and nearby environment [J]. Czech J Anim Sci, 2007, 52(8): 249-253.
- [17] PAL A, PEHKONEN S O, YU L E, et al. Photocatalytic inactivation of Gram-positive and Gram-negative bacteria using fluo-

- rescent light [J]. *J Photochem Photobio A Chem*, 2007, 186 (2/3): 335-341.
- [18] 中华人民共和国农业部. 畜禽场环境质量标准: NY/T 388—1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [19] 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.
- [20] KOCAMAN B, YAGANOGLU A V, YANAR M. Combination of fan ventilation system and spraying of oil-water mixture on the levels of dust and gases in caged layer facilities in Eastern Turkey [J]. *J Appl Anim Res*, 2005, 27 (2): 109-111.
- [21] 王阳, 王朝元, 李保明. 蛋鸡舍冬季 CO₂ 浓度控制标准与最小通风量确定 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33 (2): 240-244.
- [22] 沈丹, 戴鹏远, 吴胜, 等. 冬季封闭式肉种鸡舍空气颗粒物、氨气和二氧化碳分布特点及 PM_{2.5} 理化特性分析 [J]. *畜牧兽医学报*, 2018, 49 (6): 1178-1193.
- [23] 唐璐婵, 王俊, 石志芳, 等. 冬季叠层笼养肉鸡舍内氨气、二氧化碳和空气颗粒物浓度分布特征 [J]. *中国畜牧兽医*, 2024, 51 (8): 3687-3701.
- [24] 李福伟, 刘玮, 高金波, 等. 层叠式笼养蛋鸡舍内环境参数的监测与分析 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018 (10): 53-55.
- [25] 牛晋国, 张希瑶, 申李琰, 等. 层叠式笼养肉鸡舍春季环境质量测定与分析 [J]. *家畜生态学报*, 2022, 43 (1): 43-46.
- [26] 尚峰军, 赵洁. 蛋鸡后备鸡舍 NH₃, H₂S, CO₂ 及粉尘浓度与温湿度相关性的探讨 [J]. *现代畜牧兽医*, 2020, 11: 16-22.
- [27] SUN X, LI D, LI B, et al. Exploring the disparity of inhalable bacterial communities and antibiotic resistance genes between hazy days and non-hazy days in a cold megacity in Northeast China [J]. *J Hazard Mater*, 2020, 398: 122984.
- [28] LOU C, CHEN Z, BAI Y, et al. Exploring the microbial community structure in the chicken house environment by metagenomic analysis [J]. *Animals (Basel)*, 2023, 14 (1): 55.
- [29] GÓRNY R L, GOŁOFIT-SZYMCZAK M, CYPROWSKI M, et al. Poultry house as point source of intense bioaerosol emission [J]. *Ann Agric Environ Med*, 2023, 30 (3): 432-454.
- [30] MIYATA R, VAN EEDEN S F. The innate and adaptive immune response induced by alveolar macrophages exposed to ambient particulate matter [J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2011, 257 (2): 209-226.
- [31] 周子琳, 李盛, 沈丹, 等. 肺部菌群干预对 PM_{2.5} 诱导肉鸡肺部炎症损伤的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2024, 47 (2): 323-333.
- [32] LIU H, ZHANG X, ZHANG H, et al. Effect of air pollution on the total bacteria and pathogenic bacteria in different sizes of particulate matter [J]. *Environ Pollut*, 2018, 233: 483-493.