

张甜, 应诗家, 蓝赐华, 等. 夏季发酵床结合网床养殖模式对舍内环境质量和肉番鸭生产性能的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(4): 860-868.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.04.023

夏季发酵床结合网床养殖模式对舍内环境质量和肉番鸭生长性能的影响

张甜^{1,2}, 应诗家¹, 蓝赐华³, 肖文权³, 赵伟¹, 吴云良¹, 林勇¹, 施振旦¹

(1. 江苏省农业科学院畜牧研究所动物品种改良和繁育重点实验室, 江苏 南京 210014; 2. 华南农业大学动物科技学院, 广东 广州 510642; 3. 莆田广东温氏家禽有限公司, 福建 莆田 351254)

摘要: 为了探究夏季发酵床结合网床养鸭模式对舍内环境质量和肉鸭生产性能的影响, 为发酵床养殖模式在南方地区推广提供理论依据, 比较分析了发酵床平养、网床架养和发酵床结合网床架养3种养殖模式对鸭舍内温度、湿度、粉尘、有害气体、微生物以及番鸭生产性能的影响。结果显示, 在整个试验期间, 大部分日龄发酵床结合网床架养的舍内NH₃、CO₂、PM10、总菌、大肠杆菌、沙门氏菌+志贺氏菌浓度低于网床架养或发酵床平养($P < 0.05$)。舍内温度、湿度、内毒素和PM2.5浓度在大部分日龄3种养殖模式间差异不显著($P > 0.05$)。发酵床结合网床架养模式的公番鸭、上市体质量、上市率均高于发酵床平养($P < 0.05$), 料质量比低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$), 发酵床结合网床架养母番鸭上市体质量、日增质量均高于发酵床平养($P < 0.05$), 料质量比低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$)。可见, 南方夏季高温高湿季节发酵床结合网床养鸭模式比单纯的发酵床养殖或网床架养模式能更好地改善舍内空气质量以及提高番鸭健康和生产性能。

关键词: 肉番鸭; 舍内环境; 发酵床网养; 发酵床平养; 网床架养

中图分类号: S834.4⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)04-0860-09

Effects of slatted floor-biobedding system on duck house air quality and growth performances of Muscovy duck in summer

ZHANG Tian^{1,2}, YING Shi-jia¹, LAN Ci-hua³, XIAO Wen-quan³, ZHAO Wei¹, WU Yun-liang¹, LIN Yong¹, SHI Zhen-dan¹

(1. Institute of Animal Science, Laboratory of Animal Improvement and Reproduction, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Department of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Guangdong Wenshi Poultry Limited Company, Putian 351254, China)

Abstract: To investigate the influence of novel bio-bedding under slatted floor (BBSF) system on duck house air quality and Muscovy duck production performances in summer the novel BBSF system in Southern China, air quality parameters and duck growth performances were measured and compared in BBSF system, conventional bio-bedding (CBB), and slatted floor (SF) system. During the experimental period, the concentrations of duck house NH₃, CO₂, PM10, total bacteria, *Escherichia coli*, *Salmonella*+*Shigella* in BBSF system were lower than those in SF ($P < 0.05$) or CBB system ($P < 0.05$). Temperature and relative humidity, and the concentrations of LPS and PM2.5 were close in the three types of duck houses

收稿日期: 2015-09-09

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX (13) 3071]; 国家现代农业产业体系专项基金项目 (CARS-43-16)

作者简介: 张甜 (1984-), 女, 新疆呼图壁人, 硕士, 主要从事家禽环境控制研究。(E-mail) zht19890815@foxmail.com

通讯作者: 施振旦, (E-mail) zdshi@jaas.ac.cn

ers and duck growth performances were measured and compared in BBSF system, conventional bio-bedding (CBB), and slatted floor (SF) system. During the experimental period, the concentrations of duck house NH₃, CO₂, PM10, total bacteria, *Escherichia coli*, *Salmonella*+*Shigella* in BBSF system were lower than those in SF ($P < 0.05$) or CBB system ($P < 0.05$). Temperature and relative humidity, and the concentrations of LPS and PM2.5 were close in the three types of duck houses

($P>0.05$). The PM_{2.5} concentrations at 31 and 51 days after birth ($P<0.05$), temperature at 20:00, and LPS concentration at 71 d after birth were lower in BBSF system ($P<0.05$). Duck daily gain, market weight and market qualifying rate in BBSF system were higher than those in CBB ($P<0.05$) or SF system ($P<0.05$). However, the ratio of feed to gain in BBSF were lower ($P<0.05$). The results indicate that, compared with either CBB or SF system, the BBSF system outperformed in improving duck house air environment, duck health condition and growth performances in summer.

Key words: Muscovy duck; duck house environment; bio-bedding under slatted floor; conventional bio-bedding; slatted floor

发酵床结合网床养鸭新技术是一种新型的生态环保型养殖模式,通过发酵床功能微生物的分解发酵^[1],使鸭粪便中有机物质充分分解和转化,同时抑制粪便肠道微生物的增殖^[2],降低恶臭气体的产生^[3-5],从而达到无臭、无味和无害化目的。而且,网床养殖将鸭与粪便有效隔离,从而减少鸭粪便产生的恶臭气体和病原微生物对鸭健康的影响^[6]。发酵床养殖模式能降低垫料中病原微生物^[7-9]、寄生虫卵数量^[10],降低猪舍内空气 NH₃浓度^[4,11-12],提高猪^[4,13]和家禽^[14-16]生长性能^[17],而网上养殖可增加鸭的质量^[18-19]。

虽然发酵床养殖在提高畜禽生产性能和环境控制中具有显著优势,但发酵床垫料发酵产热增加了舍内温度^[20],因而增加了该模式在中国南方推广应用的顾虑。已有研究表明适宜的圈舍结构或增加通风量可有效缓解夏季发酵床产热对舍内温湿度和猪生产性能的影响^[4,20]。由于发酵床结合网床养鸭新技术结合了发酵床的粪污处理和网床架养便于通风的各自优点,因而,可能更适合作为一种发酵床应用的新模式在中国南方推广应用。本研究以番鸭为对象,比较网床架养、发酵床地面平养和发酵床结合网床架养3种养殖模式对中国南方夏季鸭舍内温湿度、气载病原微生物、内毒素、粉尘和有害气体以及生产性能的影响,为发酵床结合网床养殖新模式的推广和应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

试验于2013年7—9月(夏季)在莆田温氏家禽有限公司大面公养殖基地进行。

1.2 试验设计

选用同批次经过育雏阶段的30日龄大型生长番鸭,公母各半,随机等份放入网床架养、发酵床地面平养和发酵床结合网床架养3种养殖鸭舍,作为

网床架养(SFBB)、发酵床平养(CFBB)和发酵床结合网床架养(BB)3个试验组,每组分10个等份小栏。试验鸭预饲7d,试验期41~51d。试验开始后每隔10d监测3种不同养殖舍的环境参数。

1.3 试验鸭舍

网床架养、发酵床平养和发酵床结合网床架养3种鸭舍两侧均带卷帘,鸭舍面积261~280 m²,养殖密度为1 m²7羽。发酵床网床离地面0.75 m,发酵床床体垫料厚度0.4 m(图1),由木屑、稻壳、麸皮和益生菌组成^[21]。

1.4 饲养管理

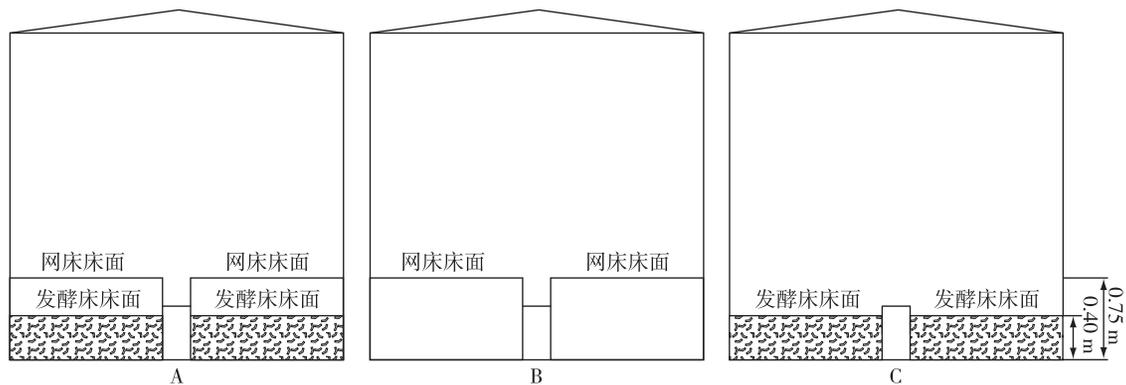
3种鸭舍的卷帘均处于打开状态,以利通风换气。试验鸭自由饮水,自由采食,自然光照,按养殖企业正常免疫程序接种疫苗。发酵床垫料每周翻耙1次。

1.5 舍内环境参数检测

分别在31日龄、41日龄、51日龄、61日龄、71日龄的8:00、14:00和20:00监测鸭舍内空气环境参数,监测点分别在鸭舍中间以及中间到鸭舍两端的中间共3个位置,监测高度位于番鸭头部高度。

舍内温湿度、有害气体和粉尘浓度测定:3个监测点的温湿度、PM_{2.5}、PM₁₀、CO₂和NH₃浓度每个时间点各检测5个重复。PM₁₀和PM_{2.5}采用绿林创新微电脑激光粉尘仪LD-5C测定;CO₂和NH₃采用科尔诺GT-2000便携式多功能复合气体分析仪测定。

舍内微生物数量和内毒素浓度测定:气载总菌、大肠杆菌和沙门氏菌+志贺氏菌数量以及气载内毒素浓度在养殖舍的中间位置检测,每个时间点各检测3个重复。总菌数量测定采用平板计数培养基(PCA型号:HB0101),大肠杆菌数量测定采用麦康凯琼脂培养基(MAC型号:HB6238),沙门氏+志贺氏菌数量测定采用SS培养基(SS型号:HB4089)。所有培养基购自青岛海博生物技术有



A、B和C分别表示发酵床结合网床架养、网床架养和发酵床平养。

图1 3种鸭舍立面示意图

Fig.1 Side views of 3 types of floor-bedding system in duck houses

限公司。

采用六级微生物采样器(江苏金坛亿通电子有限公司产品,ETW-6)采集微生物,采集时标准流量为28.3 L/min,驱动时间为1~5 min(根据不同卫生条件),保证六节平皿上都能采集到细菌,菌落数以30~300个克隆为宜。气载微生物数量(CFU/m³) = 1 000×Q₁/(t×28.3),其中Q₁为六级平皿菌落数总和,t为采样时间(min)。气载内毒素检测参照李超等方法^[22]进行。

1.6 番鸭生产性能测定

分别在试验开始和肉鸭上市时,测定肉鸭质量以及试验期间总饲料消耗量。计算平均日采食量、日增质量和料质量比。

1.7 数据统计分析

采用SPSS 13.0软件的线性混合模型进行统计分析,Bonferroni修正法多重比较,具体统计方法为:①对于整个试验中的每个环境参数,养殖模式、不同日龄和不同时间为固定效应;②对于同一日龄采集的每个环境参数,养殖模式和不同时间为固定效应;③对于同一时间采集的每个环境参数,养殖模式和不同日龄为固定效应。对于平均日采食量、平均日增质量、平均上市体质量和平均料质量比数据,采用单因子方差分析,Duncan's法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同养殖模式对鸭舍内温、湿度的影响

3种养殖模式鸭舍内温、湿度差异不显著($P > 0.05$),但在20:00时,发酵床结合网床架养舍内温度低于网床架养($P < 0.05$)(图2)。

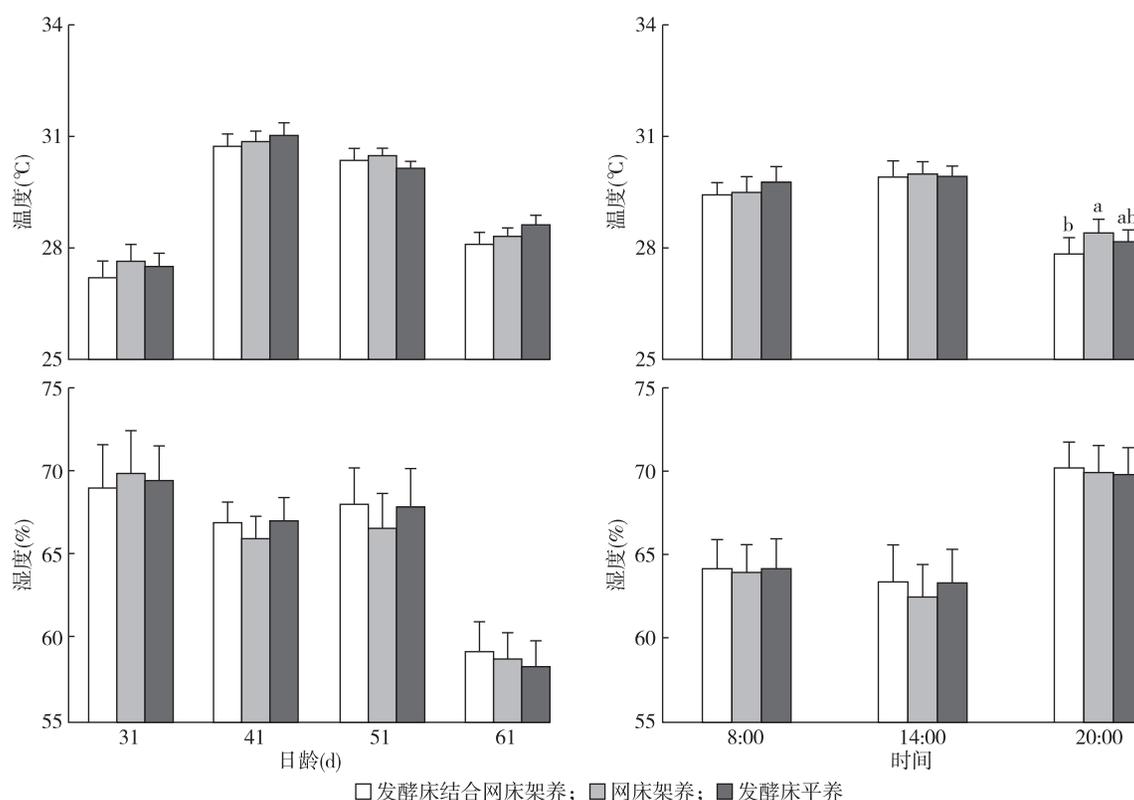
2.2 不同养殖模式对鸭舍内有害气体和内毒素浓度的影响

发酵床结合网床架养舍内CO₂浓度在41日龄时高于网床架养($P < 0.05$),在51、61和71日龄时低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内NH₃浓度在41日龄时低于发酵床平养($P < 0.05$),51日龄时低于网床架养($P < 0.05$),61日龄和71日龄时低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内内毒素浓度在51日龄时高于发酵床平养($P < 0.05$),71日龄时低于发酵床平养($P < 0.05$)(图3)。

发酵床结合网床架养舍内CO₂浓度在8:00时高于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$),在14:00时低于发酵床平养($P < 0.05$),在20:00时低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内NH₃浓度在8:00时低于网床架养($P < 0.05$),在14:00和20:00时低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内内毒素浓度在20:00时低于发酵床平养($P < 0.05$)。

2.3 不同养殖模式对舍内气载微颗粒物浓度的影响

发酵床结合网床架养舍内PM₁₀浓度在31日龄时低于网床架养和发酵床平养($P < 0.05$),41日龄和51日龄时低于网床架养($P < 0.05$),61日龄和71日龄时低于发酵床平养($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内PM_{2.5}浓度在31日龄时低于发酵床平养($P < 0.05$),51日龄时低于网床架养($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内PM₁₀浓度在



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 不同养殖模式对鸭舍内温、湿度的影响

Fig.2 Effect of floor-bedding system on duck house temperature and relative humidity

8:00和20:00时低于网床架养和发酵床平养 ($P < 0.05$) (图4)。

2.4 不同养殖模式对鸭舍内气载微生物数量的影响

发酵床结合网床架养舍内总菌数量在51日龄时低于网床架养 ($P < 0.05$), 在61日龄时低于网床架养和发酵床平养 ($P < 0.05$), 在71日龄时低于发酵床平养 ($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内大肠杆菌和沙门氏菌+志贺氏菌数量在31日龄时高于发酵床平养 ($P < 0.05$), 在51和61日龄时低于网床架养 ($P < 0.05$), 在71日龄时低于发酵床平养 ($P < 0.05$) (图5)。

发酵床结合网床架养舍内总菌数量在8:00和14:00时低于网床架养 ($P < 0.05$), 在20:00时低于网床架养和发酵床平养 ($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内沙门氏菌+志贺氏菌数量在14:00时高于发酵床平养 ($P < 0.05$), 在20:00时低于结合网床架养架养 ($P < 0.05$)。发酵床结合网床架养舍内大肠杆菌数量在20:00时低于网床架养 ($P < 0.05$) (图

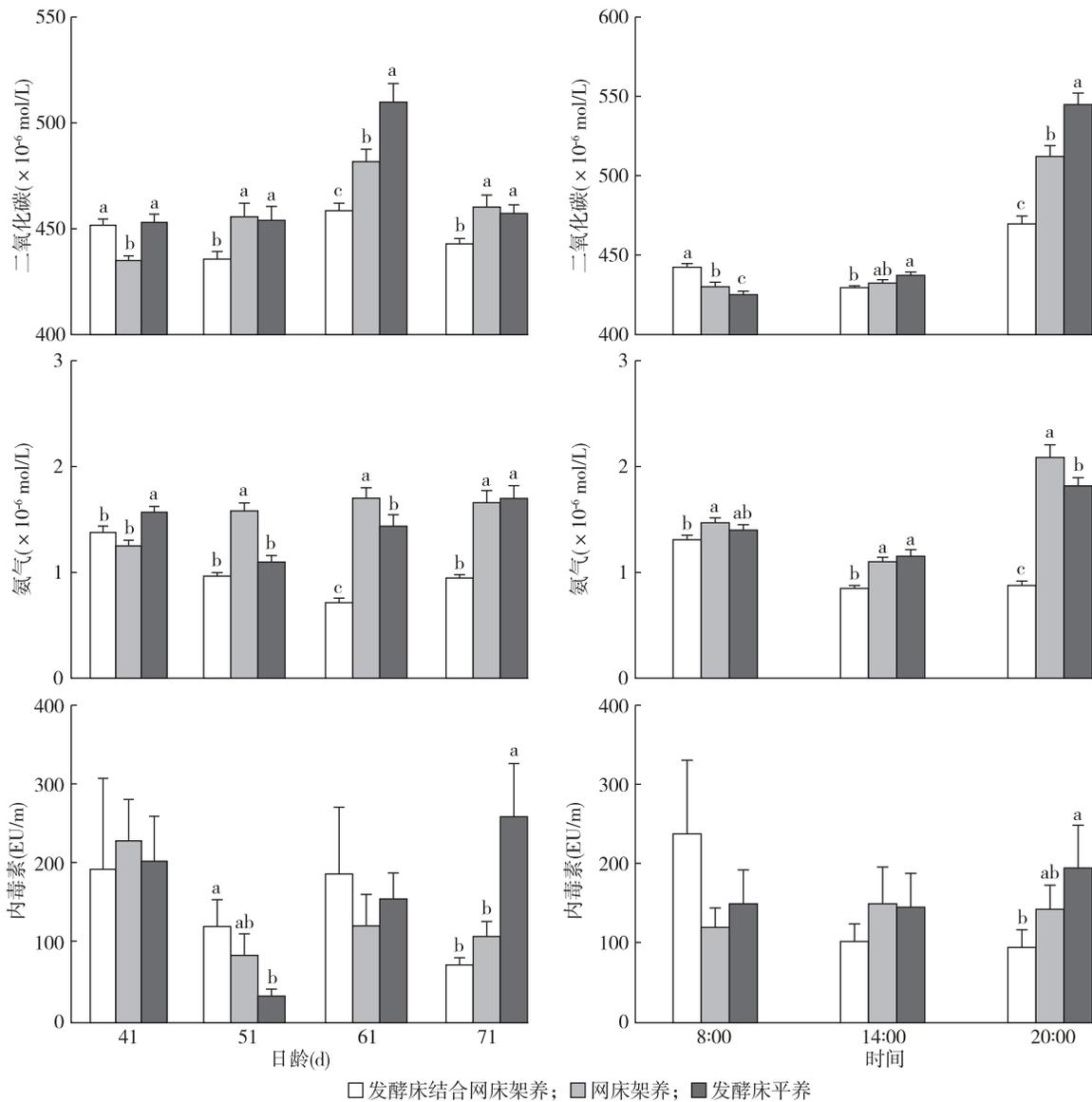
5)。

2.5 不同养殖模式对肉番鸭生产性能的影响

发酵床结合网床架养的公番鸭上市率和上市质量高于发酵床平养 ($P < 0.05$), 料质量比低于发酵床平养和网床架养 ($P < 0.05$); 而发酵床结合网床架养的母鸭日增质量和上市体质量高于发酵床平养 ($P < 0.05$), 料质量比低于发酵床平养和网床架养 ($P < 0.05$) (表1)。

3 讨论

发酵床垫料发酵产热增加了舍内温度和畜禽热应激^[20], 成为发酵床养殖模式在中国南方高湿气候条件下推广应用中的焦点问题。本试验过程中鸭舍内温度范围为24.5~33.1℃, 相对湿度范围为40.9%~86.9%, 属于典型的南方高湿环境。在该环境条件下, 与网床架养和发酵床平养相比, 发酵床结合网床架养降低了舍内NH₃和CO₂浓度以及气载总菌、大肠杆菌、沙门氏+志贺氏菌数量和内毒素水平, 改善了舍内环境, 降低了肉鸭疾病风险, 提高了



同一参数在同一日龄或同一时间的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 不同养殖模式对鸭舍内 NH_3 、 CO_2 和 LPS 的影响

Fig.3 Effect of floor-bedding system on the concentrations of NH_3 , CO_2 and LPS in duck house

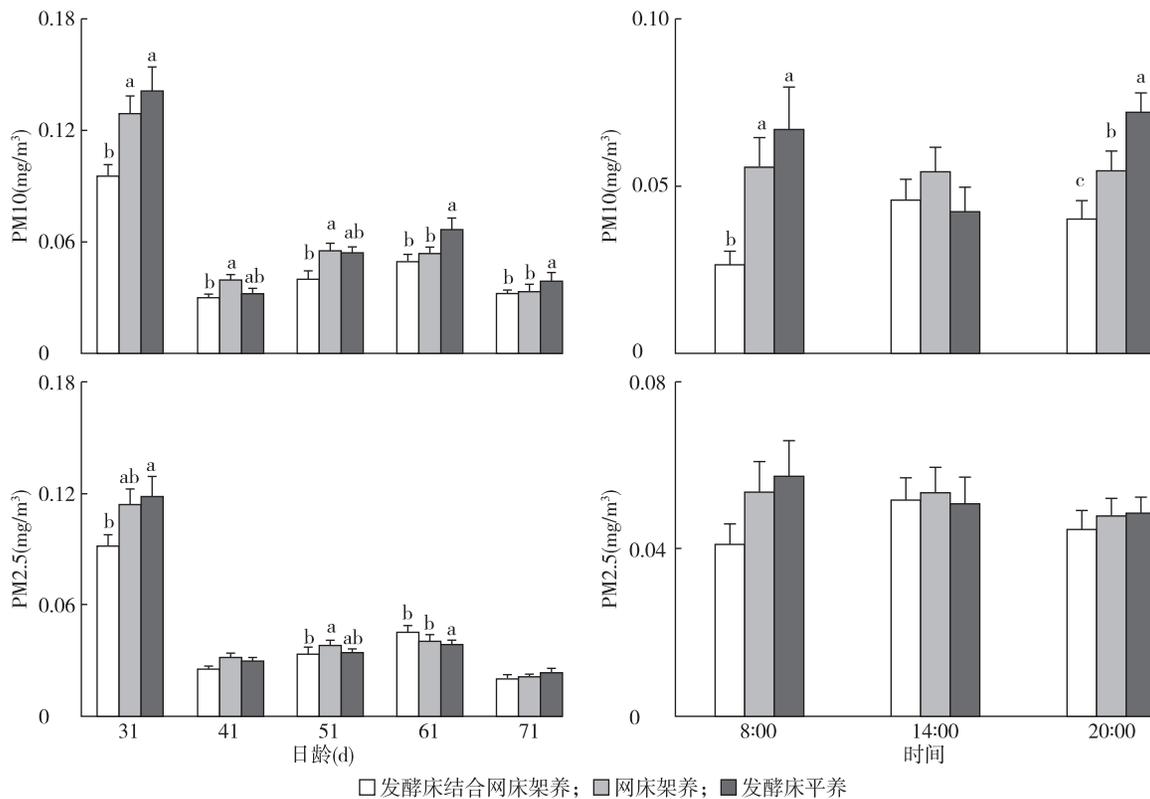
肉鸭生产性能。

垫料的发酵可使发酵床温度升高 $1 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$ [20,23], 增加了畜禽夏季热应激, 但可通过改变畜禽舍的建筑结构来减少因发酵床使畜禽舍温度升高而造成的不利影响 [4]。由于本试验中采用的 3 种模式鸭舍均为全开放式结构, 通风不受阻, 因而 3 种养鸭模式舍内温、湿度没有显著差异。但在晚上 20:00 时, 发酵床结合网床架养模式的舍内温度低于网床架养模式。

鸭粪便中肠道杆菌发酵产生大量氨气等臭气 [3,5,24], 严重恶化鸭舍内空气环境, 危害鸭的健康、

抗病力和生产性能, 而且还腐蚀养殖设施设备, 使畜禽舍老化损坏。当空气中 NH_3 浓度超过 $1.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 时, 容易引起动物呼吸道疾病的发生 [5,25]。网床架养肉鸭产生的粪便未经任何处理, 极易产生 NH_3 [3], 而发酵床虽然能降低舍内 NH_3 浓度 [4,26], 但肉鸭与发酵床面直接接触, 极易接触到氨气。发酵床结合网床架养模式的舍内氨气浓度比单独发酵床平养和网床架养的低, 从而降低了氨气对肉鸭的应激作用。

畜禽养殖产生的温室气体占全球温室气体排放



同一参数在同一日龄或同一时间的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 不同养殖模式对鸭舍内颗粒物和内毒素浓度的影响

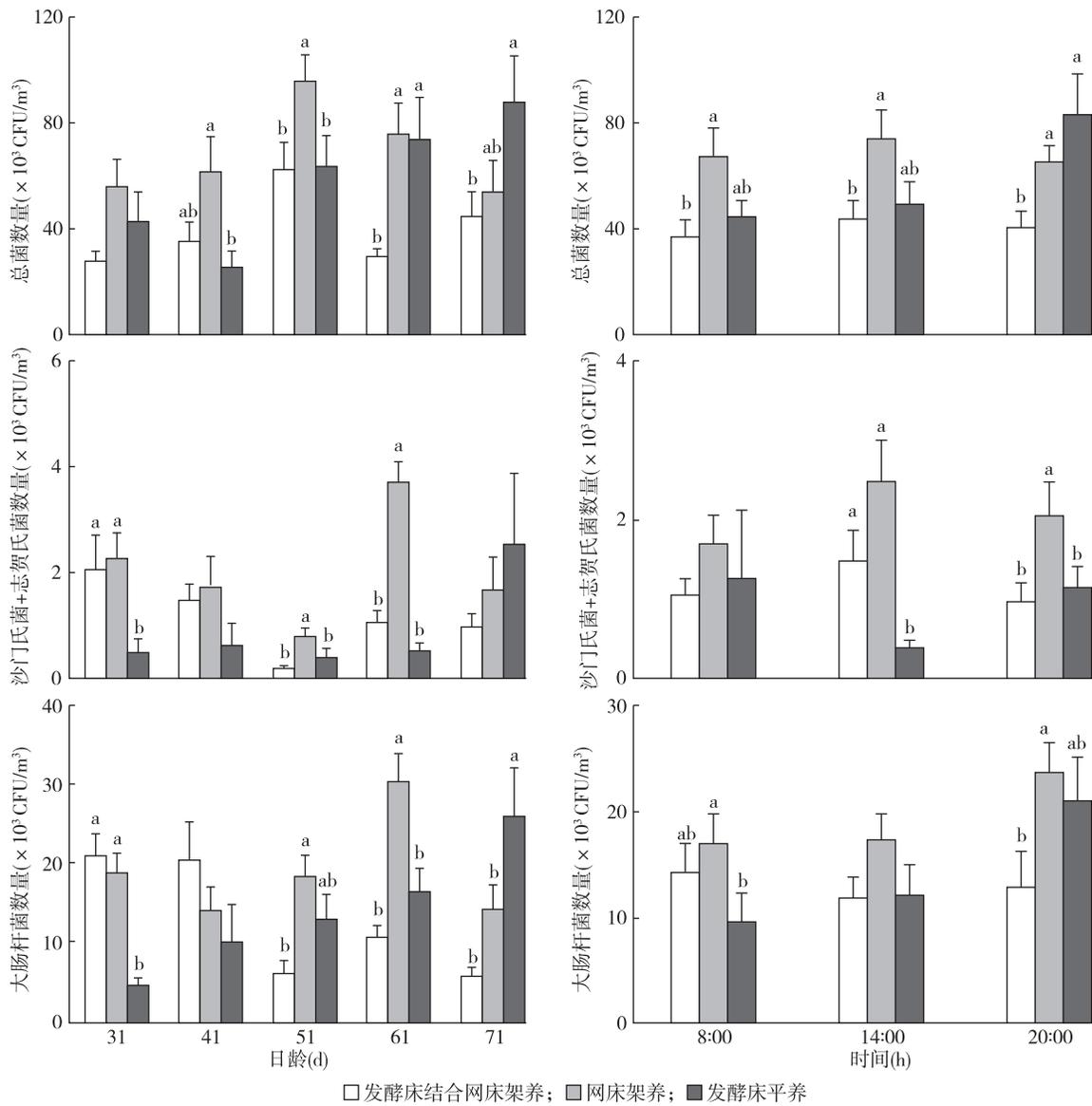
Fig.4 Effect of floor-bedding system on the concentrations of airborne particles in duck house

总量的18%,而 CO_2 是最重要的温室气体,约占60%^[27]。 CO_2 也是反映舍内通风状态的重要指标之一。发酵床养殖舍内 CO_2 主要来源于微生物降解有机质和鸭呼吸。 CO_2 是发酵床养猪中温室气体排放总量的主要贡献者^[23],但由于网床架养比地面养殖能更好地增加空气流通,因而在本试验全开放鸭舍条件下,发酵床结合网床架养模式舍内 CO_2 浓度低于发酵床平养和网床架养模式。

空气微颗粒物PM10和PM2.5可吸附有害气体、重金属元素、有机污染物以及病毒、细菌等物质,尤其是PM2.5(粒径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$)可直接进入呼吸道深处,影响肺泡巨噬细胞的吞噬能力,引起免疫功能下降、支气管炎、肺气肿等疾病^[28-29]。而且PM2.5可通过肺部气体交换进入血液对其他器官产生毒性作用,如脑组织氧化损伤^[30],巨噬细胞非特异性防御能力下降等^[31]。本试验中,发酵床结合网床架养舍内PM10浓度显著低于网床架养($P < 0.05$)和发酵床平养($P < 0.05$),而PM2.5浓度在3种养殖模式间差异不显著($P > 0.05$),说明发酵床结合网床架

鸭可降低舍内风尘颗粒物,进而减少疾病风险。

养殖环境病原微生物是影响畜禽生产性能的重要外界因素之一,已成为评估畜禽健康风险的重要指标^[32-35]。畜禽粪便含大量病原微生物,如不及时处理,可迅速增殖并形成气溶胶在舍内扩散^[36-37],并且传播距离较远,较难控制^[38-39],易引起疾病爆发风险。有研究表明畜禽舍内空气中极少量的致病菌可直接导致畜禽下呼吸道感染^[33];一定含量的条件性致病菌在适宜条件下可使畜禽致病^[22];高浓度的非致病菌导致畜禽机体免疫抑制、抵抗力降低、易感性升高^[40]。内毒素是革兰氏阴性菌死亡自溶后形成的毒素,能够在空气中与死亡的细胞体、尘埃等微粒结合而稳定存在^[41],可导致畜禽及养殖工作者发生呼吸道疾病^[42]。本试验中,发酵床结合网床架养舍内总菌、大肠杆菌和沙门氏+志贺氏菌数在大部分日龄显著低于网床架养,总菌数量显著低于发酵床平养,而发酵床结合网床架养舍内内毒素浓度在20:00时低于发酵床平养,可见,发酵床结合网床架养具有控制舍内微生物的优势,可降低肉鸭养



同一参数在同一日龄或同一时间的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图5 不同养殖模式对鸭舍内微生物数量的影响

Fig.5 Effect of floor-bedding system on the concentrations of airborne bacteria count in duck house

表1 不同养殖模式对肉番鸭生产性能的影响

Table 1 Effect of floor-bedding system on duck growth performance

项目	夏季公鸭(81日龄)			夏季母鸭(71日龄)		
	发酵床结合网床架养	网床架养	发酵床平养	发酵床结合网床架养	网床架养	发酵床平养
日采食量(g)	144.80 ± 1.03	148.39 ± 0.92	147.01 ± 1.70	88.85 ± 0.80	90.85 ± 0.74	89.00 ± 1.30
日增质量(g)	50.68 ± 0.039	50.22 ± 0.36	49.91 ± 0.41	32.08 ± 0.40a	31.38 ± 0.34a	30.84 ± 0.30 ^b
上市体质量(kg)	4.19 ± 0.05a	4.15 ± 0.03a	4.09 ± 0.04b	2.34 ± 0.02a	2.30 ± 0.04ab	2.25 ± 0.03b
料质量比	2.86 ± 0.01b	2.96 ± 0.02a	2.95 ± 0.01a	2.77 ± 0.01b	2.89 ± 0.01a	2.88 ± 0.02a
上市率(%)	94.48 ± 0.52a	92.28 ± 0.93ab	91.83 ± 0.94b	94.15 ± 1.85	92.48 ± 1.82	92.35 ± 0.62

同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

殖疾病爆发的风险。

较差的畜禽舍空气质量会导致人及动物患病,特别是导致呼吸道疾病和机体免疫力下降等^[22,40,43],而良好的畜禽舍环境不仅是保证畜禽健康,充分发挥其生产性能的必要条件,同时也是动物福利的要求。发酵床养殖能提高仔猪和育肥猪日增质量^[4]和家禽生长性能^[14-16]。网床架养使畜禽避免与粪污接触,可增加半番鸭质量^[18],而且可降低夏季高温湿条件下发酵床垫料发酵产热对舍内温度的影响^[4,20]。此外,网床架养能有效避免肉鸡与地面粪污接触,从而大大降低肺部损伤几率^[44]。本试验中,即使在高湿热的环境条件下,发酵床结合网床架养模式也提高了鸭舍内环境质量和番鸭生产性能。

参考文献:

- [1] MENG J, SHI F H, MENG Q X, et al. Effects of bedding material composition in deep litter systems on bedding characteristics and growth performance of limousin calves[J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2015, 28(1): 143-150.
- [2] FOLORUNSO O R, KAYODE S, ONIBON V O. Poultry farm hygiene: microbiological quality assessment of drinking water used in layer chickens managed under the battery cage and deep litter systems at three poultry farms in southwestern Nigeria[J]. *Pak J Biol Sci*, 2014, 17(1): 74-79.
- [3] 简保权,朱舒平,邓昌彦,等.猪粪堆肥过程中NH₃和H₂S的释放及除臭微生物的筛选研究[J].*农业工程学报*,2006,22(S2):183-186.
- [4] 冯幼,张祥斌,陈学灵,等.夏季发酵床饲养模式对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及猪舍环境的影响[J].*中国农业科学*,2011,44(22):4706-4713.
- [5] PHILIPPE F X, CANART B, LAITAT M, et al. Effects of available surface on gaseous emissions from group-housed gestating sows kept on deep litter[J]. *Animal*, 2010, 4(10): 1716-1724.
- [6] HOY S, MULLER K, WILLIG R. Investigations on the concentration and emission of ammonia and nitrous oxide in various deep litter keeping systems for fattening pigs and in slatted floor keeping[J]. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr*, 1997, 110(3): 90-95.
- [7] 宦海琳,冯国兴,李健,等.发酵床猪舍内气载需氧菌的分布状况[J].*江苏农业学报*,2013,29(6):1411-1414.
- [8] 郑雪芳,刘波,蓝江林,等.微生物发酵床对猪舍大肠杆菌病原生物防治作用的研究[J].*中国农业科学*,2011,44(22):4728-4739.
- [9] 刘宇锋,罗佳,严少华,等.发酵床垫料特性与资源化利用研究进展[J].*江苏农业学报*,2015,31(3):700-707.
- [10] KATAKAM K K, THAMSBORG S M, KYVSGAARD N C, et al. Development and survival of *Ascaris suum* eggs in deep litter of pigs[J]. *Parasitology*, 2014,14(12): 1-11.
- [11] GROENESTEIN C M, VANFAASSEN H G. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs[J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1996, 65(4): 269-274.
- [12] HOY S. Correlation between concentration of ammonia in the air of pigsties and the activity of fattening pigs in deep litter[J]. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*, 1995, 102(8): 323-326.
- [13] 秦枫,潘孝青,顾洪如,等.发酵床不同垫料对猪生长、组织器官及血液相关指标的影响[J].*江苏农业学报*,2014,30(1):130-134.
- [14] NORGAARD-NIELSEN G. Bone strength of laying hens kept in an alternative system, compared with hens in cages and on deep-litter[J]. *Br Poult Sci*, 1990, 31(1): 81-89.
- [15] OKE O E, LADOKUN A O, ONAGBESAN O M. Reproductive performance of layer chickens reared on deep litter system with or without access to grass or legume pasture[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 2016,100(2):229-235.
- [16] SOGUNLE O M, OLANIYI O A, EGBEYALE L T, et al. Free range and deep litter poultry production systems; effect on performance, carcass yield and meat composition of cockerel chickens[J]. *Trop Anim Health Prod*, 2013, 45(1): 281-288.
- [17] 郭玉光,郑贤,陈倍技,等.发酵床饲养方式对肥育猪生产性能的影响[J].*江苏农业科学*,2014,42(4):148-151.
- [18] 陈岩锋,梁阿政,孙世坤,等.半番鸭网床平养与地面平养对比试验[J].*福建农业学报*,2013,28(10):947-952.
- [19] 赵伟,林勇,施振旦,等.不同养殖模式对高邮鸭肉品质性状的影响[J].*江苏农业科学*,2014,43(12):232-234.
- [20] 朱洪,常志州,叶小梅,等.基于畜禽废弃物管理的发酵床技术研究:III高湿热季节养殖效果评价[J].*农业环境科学学报*,2008(01):354-358.
- [21] 林勇,章小婷,计徐,等.肉鸭发酵床抗生素、重金属累积及细菌耐药性的演变特性[J].*微生物学报*,2015,54(4):457-466.
- [22] 李超,郝海玉,孙玲玉,等.猪舍环境气载微生物监测[J].*畜牧兽医学报*,2014(10):1684-1692.
- [23] 周忠凯,秦竹,余刚,等.发酵床育肥猪舍内湿热环境与通风状况研究[J].*江苏农业学报*,2013,29(3):592-598.
- [24] XIN H, GATES R S, GREEN A R, et al. Environmental impacts and sustainability of egg production systems[J]. *Poult Sci*, 2011, 90(1): 263-277.
- [25] SHEPHERD T A, ZHAO Y, LI H, et al. Environmental assessment of three egg production systems-Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions[J]. *Poult Sci*, 2015, 94(3): 534-543.
- [26] ZHOU C, HU J, ZHANG B, et al. Gaseous emissions, growth performance and pork quality of pigs housed in deep-litter system compared to concrete-floor system[J]. *Anim Sci J*, 2015, 86(4): 422-427.
- [27] 郭海宁,李建辉,马晗,等.不同养猪模式的温室气体排放

- 研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(12): 2457-2462.
- [28] WEI A, MENG Z. Evaluation of micronucleus induction of sand dust storm fine particles (PM_{2.5}) in human blood lymphocytes [J]. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2006, 22(3): 292-297.
- [29] GENG H, MENG Z, ZHANG Q. *In vitro* responses of rat alveolar macrophages to particle suspensions and water-soluble components of dust storm PM_{2.5} [J]. *Toxicol In Vitro*, 2006, 20(5): 575-584.
- [30] 刘晓莉, 杨东升, 孟紫强. 大气细颗粒物对大鼠脑组织的氧化损伤效应[J]. 中国公共卫生, 2005(8): 990-991.
- [31] 黄雪莲, 金 昱, 郭新彪, 等. 沙尘暴 PM_{2.5}、PM₁₀ 对大鼠肺泡巨噬细胞吞噬功能的影响[J]. 卫生研究, 2004(2): 154-157.
- [32] 余旭平, 何世成, 吴海波, 等. 猪场空气细菌数量与猪高热综合征的相关性研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(1): 102-108.
- [33] DOUWES J, THORNE P, PEARCE N, et al. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects [J]. *Ann Occup Hyg*, 2003, 47(3): 187-200.
- [34] 饶桂波, 孟 菲, 王力波, 等. 猪伪狂犬病毒变异株与大肠杆菌、志贺氏菌混合感染的病原鉴定及分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(6): 1111-1116.
- [35] 谭业平, 陆昌华, 胡肆农, 等. 规模猪场猪繁殖与呼吸综合征 (PRRS) 风险评估系统的构建[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 602-606.
- [36] 钟召兵, 柴同杰, 段会勇, 等. 鸡舍环境金黄色葡萄球菌气溶胶产生及其传播的 REP-PCR 鉴定[J]. 畜牧兽医学报, 2008, 39(10): 1395-1401.
- [37] FIEGEL J, CLARKE R, EDWARDS D A. Airborne infectious disease and the suppression of pulmonary bioaerosols [J]. *Drug Discov Today*, 2006, 11(1-2): 51-57.
- [38] KODAMA A M, MCGEE R I. Airborne microbial contaminants in indoor environments. Naturally ventilated and air-conditioned homes [J]. *Arch Environ Health*, 1986, 41(5): 306-311.
- [39] DONALDSON A I, GLOSTER J, HARVEY L D, et al. Use of prediction models to forecast and analyse airborne spread during the foot-and-mouth disease outbreaks in Brittany, Jersey and the Isle of Wight in 1981 [J]. *Vet Rec*, 1982, 110(3): 53-57.
- [40] 张红双, 秦 梅, 柴同杰, 等. 不同养殖环境对商品肉鸡免疫功能的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(1): 34-38.
- [41] ROSS M A, CURTIS L, SCHEFF P A, et al. Association of asthma symptoms and severity with indoor bioaerosols [J]. *Allergy*, 2000, 55(8): 705-711.
- [42] SMID T, HEEDERIK D, HOUBA R, et al. Dust- and endotoxin-related acute lung function changes and work-related symptoms in workers in the animal feed industry [J]. *Am J Ind Med*, 1994, 25(6): 877-888.
- [43] URBAIN B, PROUVOST J F, BEERENS D, et al. Chronic exposure of pigs to airborne dust and endotoxins in an environmental chamber: technical note [J]. *Vet Res*, 1996, 27(6): 569-578.
- [44] MADELIN T M, WATHES C M. Air hygiene in a broiler house: comparison of deep litter with raised netting floors [J]. *Br Poult Sci*, 1989, 30(1): 23-37.

(责任编辑:张震林)