

定量机械通风对华南地区哺乳猪舍环境和母猪繁殖性能的影响

龙沈飞¹, 王汐琳¹, 吴 竞², 张校军¹, 贺腾飞¹, 王美芝¹, 马一畅¹,
阳林芳³, 武振龙¹, 陈昭辉^{1*}

(1. 中国农业大学动物科技学院, 中国农业大学动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 泰来县畜牧兽医局, 齐齐哈尔 162400; 3. 广东壹号食品股份有限公司, 广州 510620)

摘 要: 为探究定量机械通风对华南地区哺乳猪舍环境和母猪繁殖性能的影响, 该研究实测并比较了该地区冬季自然通风和定量机械通风 2 种模式对两广小花猪哺乳猪舍的环境温度、湿度、二氧化碳、氨气浓度和母猪繁殖性能、呼吸频率、直肠温度等指标的影响。结果表明, 在夜晚期间, 自然通风哺乳舍的二氧化碳和氨气浓度分别为 (817.16±25.28) 和 (7.88±0.34) mg/m³, 均显著高于定量机械通风哺乳舍的 (645.71±9.49) 和 (5.59±0.14) mg/m³ ($P<0.01$); 自然通风哺乳舍的全天二氧化碳和氨气浓度分别为 (707.34±20.42) 和 (6.63±0.27) mg/m³, 均显著高于定量机械通风哺乳舍的 (583.25±10.06) 和 (4.81±0.13) mg/m³ ($P<0.01$)。定量机械通风模式下的出生活仔猪数为 (12.50±0.55) 头, 与自然通风模式的 (11.13±0.66) 头相比具有升高的趋势 ($P=0.08$); 定量机械通风模式的仔猪平均日增质量为 (146±40) g, 与自然通风模式的 (133±70) g 相比也具有增加的趋势 ($P=0.09$)。然而, 与定量机械通风相比, 自然通风模式下的母猪平均日体质量损失 ($P=0.06$) 和平均日背膘损失 ($P=0.08$) 均有降低的趋势。此外, 在哺乳第 21 天, 自然通风模式的母猪呼吸频率为 (69.50±3.85) 次/min, 显著高于定量机械通风模式的 (57.29±1.54) 次/min ($P<0.05$)。综上, 定量机械通风模式可对冬季华南地区两广小花猪哺乳猪舍内空气质量有明显改善, 提高母猪繁殖性能。

关键词: 机械通风; 氨气; 二氧化碳; 自然通风; 两广小花猪; 空气质量; 繁殖性能

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.z.029

中图分类号: S823.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-Supp.-0250-07

龙沈飞, 王汐琳, 吴竞, 等. 定量机械通风对华南地区哺乳猪舍环境和母猪繁殖性能的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(增刊): 250-256. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.z.029 <http://www.tcsae.org>

Long Shenfei, Wang Xilin, Wu Jing, et al. Effects of quantitative mechanical ventilation on the environmental quality of the lactating house and reproductive performance of sows in South China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(Supp.): 250-256. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.z.029 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

猪舍环境质量的衡量指标通常包括温度、湿度、二氧化碳和氨气浓度等, 而通风是常见的调节猪舍环境质量的方式。猪舍的通风方式主要有机械通风和自然通风 2 种。其中自然通风主要是依靠舍内外的温差和风差产生气流交换的一种通风模式^[1], 在建设较早的开放或半开放猪舍中较为常见。自然通风主要依靠自然气候条件, 其可控性较差, 通风效果有限。而定量机械通风是利用机械动力将舍内外空气进行交换从而改善舍内环境的一种通风模式, 其多用于现代规模化集约化的密闭猪舍^[2]。相较于自然通风, 定量机械通风受自然气候条件影响小, 能够根据实际需求人为调控通风量和通风时间而达到给猪舍定量通风的效果, 更易于控制舍内的温度、湿度和

有害气体浓度等环境指标。

华南地区是中国主要的猪养殖区域之一, 因自然通风猪舍的建筑成本和能耗成本较低^[3-4], 以往该地区多采用开放式或半开放式的自然通风猪舍^[5], 近年来, 生产效率更高、更易于环境调控的定量机械通风猪舍在华南地区逐渐兴起。华南地区冬季舍外平均温度在 10℃ 以下, 且湿度较高, 低温高湿的冷风侵袭可能会造成母猪繁殖性能下降。尤其是对于哺乳母猪和仔猪来说, 其机体热平衡调节能力和抵抗力较差, 易受环境变化的影响^[6]。两广小花猪新品系是以广东小耳花猪、陆川猪 2 个类群为育种素材, 以繁殖性能为主, 结合肉质、生长发育及外貌选择, 经选育而成的高繁殖力新品系^[7]。本实验室前期研究表明, 夏季低风速和高风速的定点送风系统可显著提高两广小花猪哺乳母猪的繁殖性能, 增强唾液中免疫球蛋白水平, 改善母猪肠道微生物区系, 从而缓解母猪的热应激状态^[8]。张校军等^[9]通过 CFD 模拟分析了定点送风降温方式中相关参数对仔猪活动的产床区域风速和温度分布及母猪对流换热量的影响, 探明当进风温度为 25~27℃、进风风速为 4~8 m/s、进风口直径为 8 和 12 cm 时, 母猪周围大部分区域的风速低于 0.5 m/s, 温度高于

收稿日期: 2022-07-04 修订日期: 2022-08-04

基金项目: 国家重点研发项目-特色地方猪高效安全养殖技术应用与示范 (2018YFD0501200); 中国农业大学 2115 人才工程

作者简介: 龙沈飞, 博士后, 研究方向为动物健康养殖与环境科学。

Email: longshenfei@cau.edu.cn

*通信作者: 陈昭辉, 副教授, 研究方向为畜牧环境工程。

Email: chenzhaozhui@cau.edu.cn

27℃，可以满足哺乳仔猪所需的适宜风速和温度，为该降温方式在哺乳母猪舍的应用提供了基础数据。此外，本实验室前期为了确定北方地区大型猪场冬季通风量控制参数及其对应的猪舍内环境质量，选择中国北方地区大型猪场的一栋两广小耳花猪妊娠猪舍的 2 个大小相同的试验单元，分别设置 2 种较低的冬季通风自动控制参数，发现以二氧化碳浓度 5 893 mg/m³ 为通风评价标准时，妊娠母猪舍冬季通风量参数设置为白天 0.12 m³/(h·kg) 和晚上 0.07 m³/(h·kg) 可改善猪舍环境质量^[10]。哺乳母猪舍冬季通风量一般参考 GB/T 17824.3—2008 规范要求设置为 0.3 m³/(h·kg)，但该国标的推荐通风量是考虑全中国范围设置的，并未考虑猪的品种、南北方地区特异性等因素，且其对于冬季猪舍风机的开关模式设置无明确要求。目前有关中国冬季华南地区两广小花猪哺乳猪舍适宜的通风模式尚不明确，且传统的自然通风模式与新型的定量机械通风模式在该地区冬季哺乳猪舍适用性和适宜参数设置有待科学试验进行比较论证。因此，本试验考虑华南地区特异性设置定量机械通风模式：每天 20:00—次日 08:00 期间开启风机，保持哺乳猪舍冬季通风量为平均每头母猪的通风量为 104 m³/h，略高于 GB/T 17824.3—2008。通过与自然通风模式比较，旨在探究该定量机械通风对冬季华南地区两广小花猪哺乳猪舍的环境温度、湿度、二氧化碳、氨气浓度和母猪繁殖性能、呼吸频率、直肠温度指标的影响，以期为中国华南地区冬季地方猪哺乳猪舍适宜的通风模式设置提供理论支撑和参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

本试验在广东省湛江市遂溪县开展，试验时间是 2020 年 2 月 1 日至 3 月 1 日。广东湛江地区地处北回归线以南的低纬地区，属热带和亚热带季风气候，终年受海洋气候调节，冬季无严寒。

1.2 试验设计与饲养管理

试验选用 48 头纯种两广小花猪妊娠母猪，在妊娠第 107 天时完全随机转入 2 个哺乳舍，每个哺乳舍 24 头猪。2 个哺乳舍分别为自然通风哺乳舍和定量机械通风哺乳舍（如图 1）。母猪转入产房后，每天上午 07:00—08:00 和下午 16:00—17:00 各饲喂 1 次，分娩后第 1 周根据母猪产后恢复情况每天增加 0.5~1.0 kg 饲料。在哺乳第 21 天仔猪断奶。试验期间母猪和仔猪均自由饮水。

2 个哺乳猪舍长均为 25 m、宽为 8.5 m、高为 3 m。猪舍两侧共安装 20 个窗户，每侧各 10 个，每个窗户宽为 0.9 m、高为 1.4 m。舍内产床为 2 列 3 通道的布置形式，每列布置有 12 个产床，每个产床的长为 2.2 m、宽为 1.8 m。采用定量机械通风模式的产房安装两台规格一致的变频风机，每台风机功率为 180 W，最大平均风量为 1 250 m³/h，直径为 28 cm。

1.3 分娩舍通风控制方式

在妊娠母猪分娩前第 7 天至分娩当天，自然通风模式与定量机械通风模式的产房通过调整开窗面积来控制

猪舍通风面积，2 组开窗面积始终保持一致。在母猪分娩至仔猪断奶（母猪哺乳第 21 天），自然通风模式保持前期通风控制方式不变；定量机械通风模式改为每天 20:00 至次日 08:00 将 2 台风机同时开启，使总风量为 2 500 m³/h，其中平均每头母猪的通风量为 104 m³/h，通风量考虑华南地区特异性，参考 GB/T 17824.3—2008 规范要求确定，每天 08:00—20:00 期间关闭风机，同时调整开窗面积与自然通风模式一致。分娩前自然通风模式与定量机械通风模式平均通风面积均为 13.76 m²。

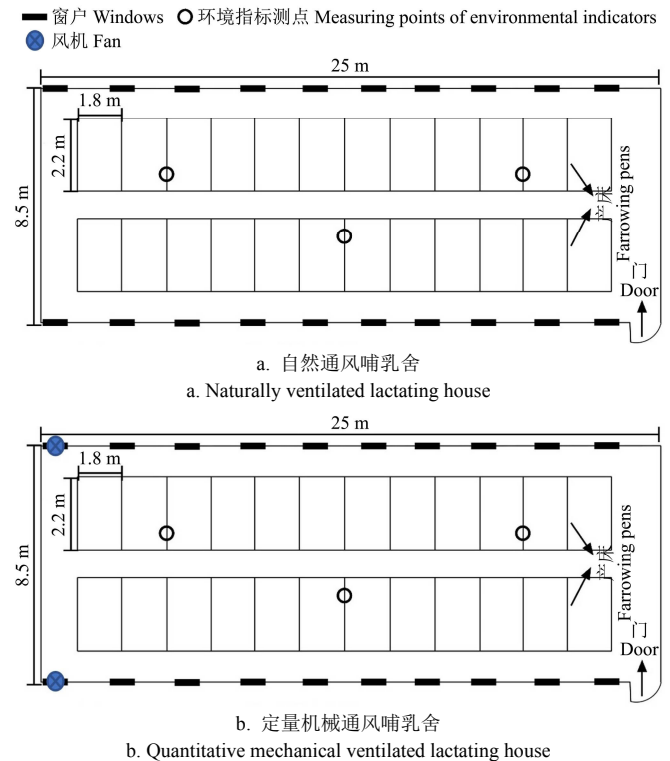


图 1 自然通风和定量机械通风哺乳舍的设计

Fig.1 The design of naturally ventilated and quantitative mechanical ventilated lactating house

1.4 检测指标

1) 环境指标

采用温湿度自动记录仪（温度测量精度： $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，湿度测量精度： $\pm 1.8\%$ ，上海 Apresys 公司，上海，中国）测定舍内温湿度，测定时每 20 min 记录一次，采用二氧化碳自动记录仪（测量精度： $\pm 75 \text{ mg/m}^3$ ，北京天建华仪公司，北京，中国）测定舍内二氧化碳浓度，测定时每 20 min 记录 1 次，采用泵吸式氨气检测仪（测量精度： 0.007 mg/m^3 ，深圳，中国）测定舍内氨气浓度。舍内温湿度、二氧化碳和氨气浓度测点位置相同，具体位置布置如图 1 所示，每个测点距离产床高 0.7 m。在母猪转入产房当天至仔猪断奶期间记录哺乳猪舍内外温湿度、二氧化碳和氨气浓度。

2) 母猪繁殖性能

母猪测定方式为在转入产房和断奶时记录各母猪体质量，在哺乳第 2 天和第 21 天测定母猪的背膘厚；每天记录母猪采食量。在分娩和断奶时记录仔猪体质量和各窝仔猪数；在开始补料后每天记录仔猪的采食量，并计算平均日采食量。

3) 母猪呼吸频率

在母猪预产期前第 3 天、分娩当天、哺乳第 3、7、14、21 天的上午 08:30、下午 15:00、晚上 22:00 测定母猪的呼吸频率, 每头母猪每时间点测定 3 次, 每次观察记录 1 min 母猪腹部起伏的次数, 3 次的均值即为母猪的呼吸频率。

4) 母猪直肠温度

在母猪预产期前 3 d、分娩当天、哺乳第 3、7、14、21 天的上午 09:30、下午 16:00 使用兽用体温计测定母猪直肠温度, 每头母猪每时间点测定 1 次。

1.5 统计分析

试验数据由 EXCEL 2019 整理, 应用 SPSS 17.0 统计分析软件进行独立样本 T 检验, 按 $\alpha=0.05$ 的检验水准, 当 $P \leq 0.05$ 表示差异显著, 当 $0.05 < P \leq 0.10$ 表示具有差异显著的趋势。试验结果用平均值 \pm 标准误(Mean \pm SEM)表示。

2 结果与分析

2.1 不同通风模式下冬季哺乳舍温度和湿度指数

不同通风模式对冬季两广小花猪哺乳舍的温度和湿度的影响如表 1 所示, 自然通风模式和定量机械通风模式的猪舍内白天、夜晚以及全天的温度、湿度均无显著差异 ($P > 0.05$), 以上结果表明, 自然通风和定量机械通风下猪舍内温度和湿度指数基本一致。

表 1 自然通风和定量机械通风下哺乳舍温度和相对湿度指数
Table 1 The temperature and relative humidity of lactating house under natural ventilation and quantitative mechanical ventilation

时间段 Time	项目 Items	自然通风 Natural ventilation	机械通风 Mechanical ventilation	P 值 P value
白天 Day time	温度	26.57 \pm 0.02	25.90 \pm 0.34	0.18
	相对湿度	75.32 \pm 1.03	76.05 \pm 0.90	0.68
夜晚 Night time	温度	25.57 \pm 0.03	25.91 \pm 0.15	0.15
	相对湿度	81.72 \pm 1.10	81.00 \pm 0.98	0.71
全天 All day	温度	26.07 \pm 0.02	25.90 \pm 0.10	0.24
	相对湿度	78.52 \pm 1.06	78.53 \pm 0.94	0.99

注: 白天, 08:00—20:00, 夜晚, 1 d 的 20:00—次日 08:00。

Note: Day time, 08:00-20:00, night time, from 20:00 of the day to 08:00 of the next day.

2.2 不同通风模式下冬季哺乳舍二氧化碳和氨气浓度

不同通风模式下冬季两广小花猪哺乳舍二氧化碳浓度和氨气浓度如表 2 所示, 自然通风模式和定量机械通风模式下哺乳舍在夜晚和全天的平均二氧化碳浓度和氨气浓度均存在显著差异 ($P < 0.05$)。其中在夜晚期间, 自然通风哺乳舍的二氧化碳和氨气浓度分别为 (817.16 \pm 25.28) 和 (7.88 \pm 0.34) mg/m³, 均显著高于定量机械通风哺乳舍的 (645.71 \pm 9.49) 和 (5.59 \pm 0.14) mg/m³ ($P < 0.01$); 此外, 自然通风哺乳舍的全天二氧化碳和氨气浓度分别为 (707.34 \pm 20.42) 和 (6.63 \pm 0.27) mg/m³, 均显著高于定量机械通风哺乳舍的 (583.25 \pm 10.06) 和 (4.81 \pm 0.13) mg/m³ ($P < 0.01$)。

2.3 不同通风模式下冬季哺乳仔猪生长性能

不同通风模式下冬季两广小花猪哺乳仔猪生长性能如表 3 所示。自然通风模式和定量机械通风模式对窝断

奶仔猪数、出生窝质量、断奶窝质量、平均日窝增质量和仔猪的平均日采食质量均无显著差异。然而, 定量机械通风模式的出生活仔猪数为 (12.50 \pm 0.55) 头, 与自然通风模式的 (11.13 \pm 0.66) 头相比具有升高的趋势 ($P=0.08$); 此外, 定量机械通风模式的仔猪平均日增质量为 (146 \pm 40) g, 与自然通风模式的 (133 \pm 70) g 相比也具有升高的趋势 ($P=0.09$)。以上结果表明, 定量机械通风模式的产房内仔猪生长性能方面优于自然通风模式产房内的仔猪。

表 2 自然通风和定量机械通风下哺乳舍二氧化碳浓度和氨气浓度

Table 2 Carbon dioxide concentration of lactating house under natural ventilation and quantitative mechanical ventilation (mg·m⁻³)

时间段 Time	项目 Items	自然通风 Natural ventilation	机械通风 Mechanical ventilation	P 值 P value
白天 Day time	二氧化碳浓度	597.53 \pm 15.55	520.50 \pm 11.66	0.21
	氨气浓度	5.37 \pm 0.14	4.04 \pm 0.01	0.16
夜晚 Night time	二氧化碳浓度	817.16 \pm 25.28	645.71 \pm 9.49	<0.01
	氨气浓度	7.88 \pm 0.34	5.59 \pm 0.14	<0.01
全天 All day	二氧化碳浓度	707.34 \pm 20.42	583.25 \pm 10.06	<0.01
	氨气浓度	6.63 \pm 0.27	4.81 \pm 0.13	<0.01

注: $P < 0.05$ 表示差异显著。白天, 08:00—20:00, 夜晚, 1 d 的 20:00—次日 08:00。

Note: $P < 0.05$ means significant difference. Day time, 08:00-20:00, night time, from 20:00 of the day to 08:00 of the next day.

表 3 自然通风和定量机械通风下仔猪生长性能指标

Table 3 Growth performance index of piglets under natural ventilation and quantitative mechanical ventilation

指标 Index	自然通风 Natural ventilation	机械通风 Mechanical ventilation	P 值 P value
出生活仔猪数 Litter size of at birth	11.13 \pm 0.66	12.50 \pm 0.55	0.08
窝断奶仔猪数 Litter size of weaning	10.92 \pm 0.30	11.38 \pm 0.28	0.26
出生窝质量 Litter weight at birth/kg	7.39 \pm 0.41	7.93 \pm 0.42	0.36
断奶窝质量 Litter weight of weaning/kg	44.57 \pm 2.49	48.08 \pm 1.74	0.25
平均日窝增质量 Average daily litter weight gain/kg	1.46 \pm 0.10	1.63 \pm 0.06	0.15
平均日增质量 Average daily gain/g	133 \pm 70	146 \pm 40	0.09
平均日采食质量 Average daily feed intake/g	23.33 \pm 4.09	23.11 \pm 5.02	0.98

2.4 不同通风模式下冬季哺乳母猪繁殖性能

不同通风模式下冬季两广小花猪哺乳母猪繁殖性能如表 4 所示。自然通风模式和定量机械通风模式对母猪的平均日采食质量、断奶当天母猪体质量、母猪体质量损失和体质量损失占比均无显著差异 ($P > 0.05$); 然而, 自然通风模式下母猪的平均日体质量损失为 (0.95 \pm 0.05) kg, 与定量机械通风模式下的 (1.07 \pm 0.05) kg 相比有降低的趋势 ($P=0.06$); 此外, 自然通风模式下母猪的分娩至断奶背膘损失和分娩至断奶平均日背膘损失分别为 (7.61 \pm 1.04) 和 (0.31 \pm 0.04) mm, 与定量机械通风模式下的 (10.99 \pm 1.75) 和 (0.46 \pm 0.08) mm 相比, 也均有降低的趋势。

2.5 不同通风模式下冬季哺乳母猪呼吸频率

不同通风模式对冬季两广小花猪哺乳母猪呼吸频率

的影响如表 5 所示。自然通风模式和定量机械通风模式对母猪转入哺乳舍后第 3 天、分娩当天、哺乳第 3、7 和 14 天的呼吸频率均无显著影响。而在哺乳第 21 天，自然通风模式的母猪呼吸频率为 (69.50 ± 3.85) 次/min，显著高于定量机械通风模式母猪的 (57.29 ± 1.54) 次/min ($P < 0.05$)。这表明在分娩后期定量机械通风模式产房内母猪呼吸频率低于自然通风模式产房内的母猪。

表 4 自然通风和定量机械通风下母猪繁殖性能指标

Table 4 Reproductive performance index of sows under natural ventilation and quantitative mechanical ventilation

指标 Index	自然通风 Natural ventilation	机械通风 Mechanical ventilation	P 值 P value
平均日采食量 Average daily feed intake/kg	3.12±0.17	3.09±0.17	0.92
转入当天体质量 Body weight on the first day of the experiment/kg	137.10±3.30	138.58±2.79	0.73
断奶当天体质量 Body weight on the day of weaning/kg	108.38±3.12	107.63±2.39	0.85
体质量损失 Body weight loss/kg	28.73±1.38	30.96±1.24	0.85
体质量损失占比 Proportion of body weight lost/%	21.03±0.98	22.33±0.80	0.31
平均日体质量损失 Average daily body weight loss/kg	0.95±0.05	1.07±0.05	0.06
分娩至断奶背膘损失 Backfat thickness loss from delivery to weaning/mm	7.61±1.04	10.99±1.75	0.09
分娩至断奶平均日背膘损失 Average daily backfat thickness loss from delivery to weaning/mm	0.31±0.04	0.46±0.08	0.08

表 5 自然通风和定量机械通风下母猪呼吸频率测定

Table 5 The measurement of respiratory rate of sows under natural ventilation and quantitative mechanical ventilation

测定时间 Measuring time	自然通风 Natural ventilation	机械通风 Mechanical ventilation	P 值 P value
转入后第 3 天 Day 3 after beginning	47.37±1.86	42.27±3.17	0.98
分娩当天 Farrowing day	43.16±3.48	45.81±3.92	0.62
哺乳第 3 天 Day 3 of lactation	45.37±3.08	42.52±2.90	0.51
哺乳第 7 天 Day 7 of lactation	56.14±3.04	55.57±2.29	0.88
哺乳第 14 天 Day 14 of lactation	66.77±5.83	54.09±2.60	0.06
哺乳第 21 天 Day 21 of lactation	69.50±3.85	57.29±1.54	<0.01

2.6 不同通风模式下冬季哺乳母猪直肠温度的影响

不同通风模式对冬季两广小花猪哺乳母猪直肠温度的影响如表 6 所示。自然通风模式和定量机械通风模式对母猪转入哺乳舍后第 3 天、分娩当天、哺乳第 7、14 和 21 天的直肠温度均无显著影响。表明 2 种通风模式不影响母猪在分娩前后的体温状态。

表 6 自然通风和定量机械通风下母猪直肠温度的测定

Table 6 The measurement of rectal temperature of sows under natural and quantitative mechanical ventilation °C

测定时间 Measuring time	自然通风 Natural ventilation	机械通风 Mechanical ventilation	P 值 P value
转入后第 3 天 Day 3 after beginning	38.43±0.04	38.47±0.03	0.49
分娩当天 Farrowing day	39.19±0.11	39.33±0.07	0.29
哺乳第 7 天 Day 7 of lactation	39.42±0.11	39.36±0.06	0.67
哺乳第 14 天 Day 14 of lactation	39.29±0.10	39.31±0.07	0.88
哺乳第 21 天 Day 21 of lactation	39.12±0.08	39.09±0.12	0.87

3 讨论

3.1 不同通风模式下哺乳舍温湿度环境和空气质量

北方地区猪舍一般在夏季使用湿帘-风机系统的通风降温模式，效果优于单纯风机模式^[11]，北方地区在冬季更重视猪舍保温，风机开启较少，而华南地区常年温度较高，冬季猪舍的通风既能给猪群提供足够新风，又可减少舍内的湿度（水蒸气）和有害气体（二氧化碳、氨气、一氧化碳等）含量，结合哺乳猪舍仔猪的保温需求，冬季哺乳猪舍的通风量不能太高也不能不足。刘玲玲等^[12]研究表明，自然通风模式和定量机械通风模式对育肥猪舍的平均温度和湿度影响均不显著，而刘志健等^[13]研究了定量机械通风与自然通风对黑龙江地区冬季育肥舍的环境影响，发现定量机械通风模式可显著降低猪舍的环境温度和湿度。这些研究结果表明，自然通风模式和定量机械通风模式对猪舍温湿度的影响与试验地所在的环境温湿度、猪舍通风换气量以及猪的品种等因素相关。本试验结果发现自然通风模式和机械通风模式对华南地区冬季两广小花猪猪舍温湿度环境无显著差异，可能与华南地区外界环境温湿度与舍内温湿度差异较小有关。

空气质量是影响猪只健康水平和生长发育的关键因素，二氧化碳和氨气浓度是衡量猪舍内空气质量的主要指标。二氧化碳浓度过高时容易导致畜禽慢性缺氧，氨气浓度过高会对猪只的呼吸道黏膜造成损伤，降低黏膜清除系统的功能，使猪感染呼吸道疾病^[14]。畜禽养殖是空气中氨的主要排放源，中国养猪业释放的氨总量远高于欧洲和北美，且母猪的氨排放率是育肥猪的 1.87 倍^[15]。Huaitalla 等^[16]建议在冬季妊娠母猪舍修复猪舍的窗户，同时改善舍内通风和空气质量。石志芳等^[17]研究发现，与机械通风模式相比，自然通风模式下猪舍的氨气浓度显著高出 58.57%，本实验室前期也在中国北方地区两广小耳花猪妊娠猪舍设置两种较低的冬季通风自动控制参数，表明以二氧化碳浓度 5 893 mg/m³ 为通风评价标准时，妊娠母猪舍冬季通风量参数设置为白天 0.12 m³/(h·kg) 和晚上 0.07 m³/(h·kg) 方可改善猪舍环境质量^[10]。本试验发现，相比较于自然通风，定量机械通风（通风量为平均每头母猪 104 m³/h）能够显著降低哺乳母猪舍夜晚及全天的舍内二氧化碳浓度和氨气浓度，表明相较于自然通风，华南地区冬季条件下，定量机械通风模式具有更好的通风换气效果，可提高两广小花猪哺乳猪舍空气环境质量。

3.2 不同通风模式下仔猪生长性能和母猪繁殖性能

研究表明，高温会导致泌乳期母猪采食量降低，引起泌乳量显著下降，导致仔猪生长性能降低^[18]，而目前湿帘-风机负压通风、定点送风等通风方式的选择需要根据猪舍类型及不同区域的气候特征制定^[19]。此外，通过增加饲喂次数和选择与人工作息时间不一致的时间点饲喂可以提高哺乳母猪的采食量，改善母猪繁殖性能，促进仔猪生长^[20]。杨润泉^[21]研究发现猪舍内二氧化碳和氨气浓度过高会降低母猪活产仔数，并影响母猪的健康和其繁殖性能。仔猪是养猪生产中的关键环节，仔猪出生后前两小时对低温最为敏感，应重视冷应激对仔猪的影

响,减少仔猪发病率^[22],因此,提高出生仔猪的成活率能够有效降低生产成本。猪舍内的空气质量如粉尘、氨气等会对猪只呼吸系统产生刺激,有毒有害气体过多容易使妊娠母猪感染呼吸道疾病,影响仔猪成活率和初生仔猪的生长发育^[23]。Chantziaras等^[24]使用环境、生长性能、健康和福利参数的多因素方法,调查了比利时一个养猪场三个连续育肥猪批次通风与各个参数的关联。发现机械通风猪舍的育肥猪的饲料转化率和平均日增质量更好、福利评分更高。Halpern等^[25]发现,在发生疫病或条件不好的猪舍中,机械通风的效果更为明显。本试验研究发现,与自然通风模式相比,定量机械通风模式下的出生活仔猪数和断奶前仔猪平均日增质量均具有提高的趋势,表明定量机械通风模式对两广小花猪哺乳仔猪的生长有促进作用,可能与定量机械通风模式下哺乳舍的二氧化碳浓度和氨气浓度更低有关。初生仔猪主要通过母猪哺乳获得生长所需的各种营养物质,哺乳母猪由于泌乳消耗大量营养,可能导致母猪体质量损失和背膘损失增加。本试验发现,定量机械通风模式下的母猪体质量损失和背膘厚损失较自然通风模式母猪有显著升高的趋势,可能是由于定量机械通风模式下的仔猪具有更高的平均日增重,消耗了更多的乳汁,从而导致定量机械通风模式下的母猪体质量损失增加,此次试验发现的母猪体质量损失可通过试验研究调整日粮营养水平进一步探究。

3.3 不同通风模式下母猪生理指标

猪作为恒温动物,当环境温度变化时,会通过调节其自身的生理指标如呼吸频率和体核温度(直肠温度)等来维持产热和散热的平衡,保持体温恒定^[23]。正常情况下猪只呼吸频率会维持在一个稳定的区间,当环境中二氧化碳等有害气体浓度增加而氧气含量减少时,猪只呼吸频率增加。本试验研究发现在母猪分娩后期定量机械通风两广小花猪哺乳舍内的母猪呼吸频率低于自然通风哺乳舍的母猪,这与舍内二氧化碳和氨气浓度降低相关。

猪的体温变化是机体对外界刺激的一种应答,环境温度过高时会导致母猪体温升高,生理机能下降,并提高仔猪死亡率^[26]。因此,通过定量机械通风等方式使哺乳猪舍维持在适当的温湿环境,是保证母猪机体健康和仔猪快速生长的关键。本试验中定量机械通风和自然通风产房内母猪分娩后期直肠温度差异不显著,说明本试验条件下哺乳母猪体温不受自然通风和定量机械通风模式的影响,这可能与舍内的温湿度相差不显著相关。

4 结论

1) 在本试验条件下,自然通风模式和定量机械通风模式对哺乳母猪舍的环境温度、湿度均无显著影响。但在夜晚期间,自然通风哺乳舍的二氧化碳和氨气浓度分别为 (817.16 ± 25.28) 和 (7.88 ± 0.34) mg/m^3 ,均显著高于定量机械通风哺乳舍的 (645.71 ± 9.49) 和 (5.59 ± 0.14) mg/m^3 ;自然通风哺乳舍的全天二氧化碳和氨气浓度分别为 (707.34 ± 20.42) 和 (6.63 ± 0.27) mg/m^3 ,也均

显著高于定量机械通风哺乳舍的 (583.25 ± 10.06) 和 (4.81 ± 0.13) mg/m^3 ,表明定量机械通风能有效改善哺乳猪舍内的空气质量。

2) 定量机械通风模式下的出生活仔猪数为 (12.50 ± 0.55) 头,与自然通风模式的 (11.13 ± 0.66) 头相比具有升高的趋势($P=0.08$);此外,定量机械通风模式的仔猪平均日增质量为 (146 ± 40) g,与自然通风模式的 (133 ± 70) g相比也具有升高的趋势。然而与定量机械通风相比,自然通风模式下的母猪平均日体质量损失和平均日背膘损失均有降低的趋势。表明定量机械通风模式下的仔猪有更高的生长性能,但同时也增加了哺乳母猪的体况损失。

3) 在哺乳第21天,自然通风模式的母猪呼吸频率为 (69.50 ± 3.85) 次/min,显著高于定量机械通风模式的 (57.29 ± 1.54) 次/min。表明在分娩后期定量机械通风模式哺乳舍内母猪呼吸频率低于自然通风模式哺乳舍内的母猪,具有更健康的生理状态。

综上,在本试验条件下,相较于自然通风,定量机械通风模式下华南地区冬季两广小花猪哺乳舍空气质量更佳,母猪生理状态更好,仔猪的生长发育更快,母猪的体质量损失增加的问题可通过提高日粮营养浓度等措施开展后续研究。

[参 考 文 献]

- [1] 孟庆利,王庆林,胡文琴.规模化猪场猪舍的通风与设计[J].中国猪业,2015,10(3):68-70.
Meng Qingli, Wang Qinglin, Hu Wenqin. Ventilation and design of pig house in large-scale pig farm[J]. China Pig Industry, 2015, 10(3): 68-70. (in Chinese with English abstract)
- [2] 高彩娥,吴靖,李兴如.猪舍通风换气的设备及方法[J].养殖技术顾问,2013(10):233.
- [3] 丁露雨,鄂雷,李奇峰,等.畜舍自然通风理论分析与通风量估算[J].农业工程学报,2020,36(15):189-201.
Ding Luyu, E Lei, Li Qifeng, et al. Mechanism analysis and airflow rate estimation of natural ventilation in livestock buildings[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(15): 189-201. (in Chinese with English abstract)
- [4] Choi H L, Song J I, Lee J H, et al. Comparison of natural and forced ventilation systems in nursery pig houses[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2010, 26(6):1023-1033.
- [5] 肖正中,彭国良.华南地区不同类型猪舍的夏季防暑降温效果[J].中国畜牧杂志,2013,49(20):61-63,66.
Xiao Zhengzhong, Peng Guoliang. The summer heatstroke prevention and cooling effect of different types of pig houses in South China[J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 2013, 49(20): 61-63, 66. (in Chinese with English abstract)
- [6] Ross J W, Hale B J, Gabler N K, et al. Physiological consequences of heat stress in pigs[J]. Animal Production Science, 2015, 55: 1381-1390.
- [7] 曾检华,李闯,韦明飞,等.两广小花猪(壹号黑猪)新品系选育进展[J].养猪,2019(4):65-68.
Zeng Jianhua, Li Chuang, Wei Mingfei, et al. Progress in breeding new strains of Lianguang Xiaohua pig (No. 1 Black pig)[J]. Pig Breeding, 2019(4): 65-68. (in Chinese with

- English abstract)
- [8] Zhang X J, Yang L F, Wang M Z, et al. Effect of precision air supply cooling system with different cooling air speed on reproductive performance, stress status, immunoglobulin and fecal microbiota of lactating sows[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2022, 108: 103249.
- [9] 张校军, 王华, 龙沈飞, 等. 定点送风降温对母猪周围温度和对流换热的影响[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(5): 225-232.
- Zhang Xiaojun, Wang Hua, Long Shenfei, et al. Effect of fixed-point air cooling on ambient temperature and convective heat transfer of sows[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2022, 38(5): 225-232. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张锦瑞, 李斯旋, 陈映如, 等. 妊娠猪舍冬季自动控制通风的环境评价[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2021(22): 26-31, 36, 147.
- Zhang Jinrui, Li Sixuan, Chen Yingru, et al. Environmental assessment of automatic control ventilation in pregnancy pig house in winter[J]. *Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2021(22): 26-31, 36, 147. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王美芝, 赵婉莹, 刘继军, 等. 湿帘-风机系统对北京育肥猪舍的降温效果[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(7): 197-205.
- Wang Meizhi, Zhao Wanying, Liu Jijun, et al. Cooling effect of water pad-fan system for fattening pig houses in Beijing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2017, 33(7): 197-205. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘玲玲, 韩石磊, 孙彦婷, 等. 地道通风方式对冬季育肥猪舍环境及生长性能的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2017, 49(1): 34-35.
- Liu Lingling, Han Shilei, Sun Yangting, et al. Effects of tunnel ventilation on environment of fattening pig house and growth performance in fattening pigs in winter season[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2017, 49(1): 34-35. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘志健, 姜君. 通风方式对育肥猪舍内环境质量的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2015(24): 68-69.
- Liu Zhijian, Jiang Jun. Effect of ventilation mode on the environmental quality in finishing pig house [J]. *Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2015(24): 68-69. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王美芝, 吴中红, 刘继军, 等. 猪舍有害气体及颗粒物环境参数研究综述[J]. *猪业科学*, 2016, 33(4): 94-97.
- Wang Meizhi, Wu Zhonghong, Liu Jijun, et al. Review on the study of environmental parameters of harmful gases and particulates in pig houses[J]. *Swine Science*, 2016, 33(4): 94-97. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王文林, 刘筱, 韩宇捷, 等. 规模化猪场机械通风水冲粪式栏舍夏季氨日排放特征[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(17): 214-221.
- Wang Wenlin, Liu Xiao, Han Yujie, et al. Daily emission characteristics of ammonia from typical industrial pig farm with manure cleaning by rising water in summer[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2018, 34(17): 214-221. (in Chinese with English abstract)
- [16] Huaitalla R M, Gallmann E, Xuejun L, et al. Aerial pollutants on a pig farm in peri-urban beijing, china[J]. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 2013, 6(1): 36-47.
- [17] 石志芳, 姬真真, 席磊. 规模化猪场 NH₃ 排放特征及影响因素研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(8): 100-104.
- Shi Zhifang, Ji Zhenzhen, Xi Lei, et al. Study on the characteristics and influencing factors of NH₃ emission from industrialized pig farm[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(8): 100-104. (in Chinese with English abstract)
- [18] 赵进, 田勇, 刘小锋, 等. 热应激对母猪繁殖性能的影响及其调控措施[J]. *家畜生态学报*, 2006, 27(1): 87-91.
- Zhao Jin, Tian Yong, Liu Xiaofeng, et al. Effect of heat stress on reproductive performance in sow and its prevention measures[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2006, 27(1): 87-91. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张校军, 阳林芳, 龙沈飞, 等. 高温环境对母猪的影响及降温调控措施研究进展[J]. *中国畜牧杂志*, 2022, 58(3): 57-64.
- Zhang Xiaojun, Yang Linfang, Long Shenfei, et al. Research progress on the effects of high temperature environment on sows and cooling control measures[J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry*, 2022, 58(3): 57-64. (in Chinese with English abstract)
- [20] 张银银, 陈昭辉, 陈建伟, 等. 夏季不同饲喂方式对两广小耳花猪哺乳母猪生产性能的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2019, 55(08): 135-139.
- Zhang Yinyin, Chen Zhaohui, Chen Jianwei, et al. Effect of different feeding methods in summer on the performance of Liangguang small ear sows[J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry*, 2019, 55(8): 135-139. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨润泉. 不同环境条件和蛋白水平对妊娠母猪繁殖性能的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- Yang Runquan. Effects of Different Environmental Conditions and Protein Levels on Reproductive Performance of Gestating sows[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [22] Ramirez B C, Hayes M D, Condotta I, et al. Impact of housing environment and management on pre-/post-weaning piglet productivity[J]. *Journal of Animal Science*, 2022, 100(6): 6.
- [23] 夏九龙, 刁华杰, 冯京海, 等. 温热环境对育肥猪体温调节的影响规律[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(11): 3386-3390.
- Xia Jiulong, Diao Huajie, Feng Jinghai, et al. Regularities of thermoregulation in finishing swine affected by thermal-humidity environment[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(11): 3386-3390. (in Chinese with English abstract)
- [24] Chantziaras I, Meyer D D, Vrielinck L, et al. Environment-, health-, performance- and welfare-related parameters in pig barns with natural and mechanical ventilation[J]. *Preventive Veterinary Medicine*, 2020(183): 183.
- [25] Halpern P, Goldvaser M, Yacov G, et al. Mechanical ventilation with room air is feasible in a moderate acute respiratory distress syndrome pig model - implications for disaster situations and low-income nations[J]. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2020, 35(6): 604-611.
- [26] 杨润泉, 方热军, 杨飞云, 等. 环境温湿度和猪舍空气质量对妊娠母猪生产性能的影响[J]. *家畜生态学报*, 2016, 37(12): 40-43, 59.
- Yang Runquan, Fang Rejun, Yang Feiyun, et al. Effect of

environmental temperature, humidity, and air quality on performance of pregnant sows[J]. Journal of Domestic

Animal Ecology, 2016, 37(12): 40-43, 59. (in Chinese with English abstract)

Effects of quantitative mechanical ventilation on the environmental quality of the lactating house and reproductive performance of sows in South China

Long Shenfei¹, Wang Xilin¹, Wu Jing², Zhang Xiaojun¹, He Tengfei¹, Wang Meizhi¹, Ma Yichang¹,
Yang Linfang³, Wu Zhenlong¹, Chen Zhaohui^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, State Key Laboratory of Animal Nutrition, Beijing 100193, China;

2. Animal Husbandry and Veterinary Bureau, Tailai County, Qiqihar 162400, China;

3. Guangdong Yihao Food Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

Abstract: In order to explore the effects of quantitative mechanical ventilation on the environment of the lactating house and the reproductive performance of sows in South China, the study measured and compared the effects of natural ventilation and quantitative mechanical ventilation on the environmental temperature, humidity, carbon dioxide, ammonia concentration, reproductive performance, respiratory rate, rectal temperature and other indicators in lactating houses of Liangguang Xiaohua pig in winter. The results showed that under the experimental conditions, the natural ventilation mode and the quantitative mechanical ventilation mode had no significant difference in the ambient temperature and humidity of the lactating house. However, during the night time, the concentrations of carbon dioxide and ammonia in the naturally ventilated lactating house were $(817.16 \pm 25.28) \text{ mg/m}^3$ and $(7.88 \pm 0.34) \text{ mg/m}^3$, respectively, which were significantly higher ($P < 0.01$) than the carbon dioxide ($(645.71 \pm 9.49) \text{ mg/m}^3$) and ammonia ($(5.59 \pm 0.14) \text{ mg/m}^3$) in the quantitatively mechanically ventilated lactating house. The concentrations of carbon dioxide and ammonia throughout the day in the naturally ventilated nursing house were (707.34 ± 20.42) and $(6.63 \pm 0.27) \text{ mg/m}^3$, respectively, which were also significantly higher ($P < 0.01$) than the carbon dioxide ($(583.25 \pm 10.06) \text{ mg/m}^3$) and ammonia ($(4.81 \pm 0.13) \text{ mg/m}^3$) in the quantitatively mechanically ventilated lactating house. Moreover, the number of litter sizes at birth under the quantitative mechanical ventilation mode was (12.50 ± 0.55) , which tended to be higher than that under the natural ventilation mode (11.13 ± 0.66) ($P = 0.08$). In addition, the average daily weight gain of piglets in the quantitative mechanical ventilation mode was $(146 \pm 40) \text{ g}$, which tended to be higher than that in the natural ventilation mode (133 ± 70) g ($P = 0.09$). However, compared with the quantitative mechanical ventilation, the average daily body weight loss ($P = 0.06$) and average daily backfat thickness loss ($P = 0.08$) of sows under the natural ventilation mode tended to be reduced. On the 21st day of lactation, the respiration rate of sows in natural ventilation mode was (69.50 ± 3.85) times/min, which was significantly higher ($P < 0.05$) than that in quantitative mechanical ventilation mode (57.29 ± 1.54) times/min. In conclusion, under this experimental condition, compared with natural ventilation, the quantitative mechanical ventilation mode improved the air quality and physiological status in the lactating house of Liangguang Xiaohua pig, as well as the growth performance of the piglets in South China in winter.

Keywords: mechanical ventilation; ammonia; carbon dioxide; natural ventilation; Liangguang Xiaohua pig; air quality; reproductive performance