

# 江淮地区冬季羊舍供暖及通风换气效果

任春环, 王强军, 张彦, 罗建川, 张子军\*

(安徽农业大学动物科技学院, 合肥 230036)

**摘要:** 为改善江淮地区冬季肉羊养殖福利状况、提高肉羊生产水平, 该文以江淮地区最常见的双坡顶有窗封闭羊舍为研究对象, 利用油汀式电暖气为羊舍供暖以及负压风机与电暖气相结合方式为羊舍通风换气进行试验研究。结果表明: 冬季舍外有效温度为 3.04 °C, 供暖羊舍空气温度和羔羊日增质量可分别比对照羊舍提高 3.4 °C 和 29 g, 空怀母羊日平均采食量比对照舍降低 90 g, 说明羊舍冬季供暖经济可行; 换气羊舍空气温度、相对湿度通风前后差异不显著 ( $P>0.05$ ),  $\text{NH}_3$  质量浓度和  $\text{CO}_2$  体积分数通风前后差异显著 ( $P<0.05$ ), 证实这种换气方式能够解决羊舍冬季保暖与通风换气的矛盾。综合认为, 该研究为南方江淮地区冬季肉羊舍环境调控奠定了基础。

**关键词:** 动物; 风机; 电加热; 环境参数; 江淮地区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.23.024

中图分类号: S827

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-23-0179-08

任春环, 王强军, 张彦, 罗建川, 张子军. 江淮地区冬季羊舍供暖及通风换气效果[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 179-186. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.23.024 <http://www.tcsae.org>

Ren Chunhuan, Wang Qiangjun, Zhang Yan, Luo Jianchuan, Zhang Zijun. Effect of electric heating and ventilation in goat shed of Jianghuai region in winter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(23): 179-186. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.23.024 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

由于中国北方传统牧区过牧超载, 天然草原植被退化, 草场载畜量下降, 而中国南方气候温暖湿润, 雨量充沛, 水热资源丰富<sup>[1]</sup>, 尤其是农业部规划的江淮肉羊优势产区(安徽、河南、江苏等), 具有丰富的饲料和农村劳动力等发展养羊业的资源优势, 是生产优质山羊肉的主产区, 而该产区冬季气候低温高湿, 对肉羊的健康养殖和生产非常不利, 使得集约化养羊生产者迫切需要一种能够调控肉羊舍冬季小气候环境的技术<sup>[2]</sup>。但该地区以传统养殖猪鸡业技术比较发达, 近年来相关专家在猪、鸡、牛舍的小气候环境调控方面取得了很多具有价值的研究成果<sup>[3-7]</sup>, 而在羊舍环境监测与调控方面的文献报道却很少<sup>[8-9]</sup>, 况且在南方羊舍冬季保暖及通风换气方面研究尚不曾见到。近年来, 随着市场的需求及养羊业集约化发展, 人们认识到环境条件对养羊生产的贡献率在 20%~30%, 羊舍环境又是羊群赖以生存和生产的物质基础, 与品种、饲料和疾病共同构成了影响养羊生产水平的四大要素, 因此, 通过对羊舍内空气环境质量的综

合性调控, 使得羊舍小气候环境明显得到改善, 这将会使绵、山羊的遗传力得以充分发挥、饲料报酬率增加、群体发病率降低, 显著改善羊群生产福利<sup>[10]</sup>, 以满足标准化、规范化和产业化的现代养羊业发展需求<sup>[11]</sup>。为了探明中国南方江淮地区冬季规模化羊舍环境调控措施, 本试验羊舍冬季采用油汀式电暖气保暖以及负压风机与电暖气相结合方式来对羊舍通风换气进行研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地冬季气候特点

试验地点为国家肉羊产业技术体系合肥试验站, 位于江淮地区的合肥博大牧业科技开发有限公司肥东种羊场进行(31°94'N, 117°63'E), 该地区属亚热带大陆性季风气候与暖温带半湿润气候的过渡地带, 年平均气温 14.8°C, 平均降雨量 800 mm, 无霜期 216 d, 冬季月平均气温为 1.5~5.0°C, 试验期间有效温度 3.04°C, 空气相对湿度 75.2%。

### 1.2 试验羊舍及管理

本试验分别于 2014 年 1 月 9 日—2 月 8 日和 2015 年 1 月 9 日—2 月 8 日进行。选择 6 栋建筑结构形式相同的双坡顶有窗封闭羊舍, 每栋羊舍分 6 栏饲养羊只, 羊舍为砖瓦结构, 坐北朝南, 东西走向, 羊舍长墙 21 m、厚 0.34 m, 山墙 8 m、厚 0.34 m, 钢屋架、羊舍净高 3.3 m, 屋顶标高 4.1 m。南侧长墙设 3 个 1.2×0.65 (m<sup>2</sup>) 舍门和 10 个 0.75×0.57 (m<sup>2</sup>) 单层窗, 窗户下缘距地面 2.5 m; 北侧长墙设 6 个 1.1×0.52 (m<sup>2</sup>) 单层窗用于采光和通风换气, 设有 3 个 1.75×0.65 (m<sup>2</sup>) 小门通运动场, 南北长墙各设 5 个 1×0.9 (m<sup>2</sup>) 出粪口, 夏季用来通风换气。东侧山墙设 1 个 0.75×0.45 (m<sup>2</sup>) 单层窗与门形成空气对流;

收稿日期: 2015-06-29 修订日期: 2015-11-06

基金项目: 国家现代肉羊产业技术体系专项(11004986); 公益性行业(农业)科研专项(201303145)。

作者简介: 任春环, 女, 甘肃天祝人, 实验师, 主要从事于动物遗传育种与家畜生态研究。合肥 安徽农业大学动物科技学院, 230036。

Email: renchunhuan@ahau.edu.cn。

\*通信作者: 张子军, 男, 甘肃武威人, 教授, 博士, 国家现代肉羊产业技术体系草地利用与生态岗位专家, 主要从事动物生态与环境控制和绵山羊遗传育种研究工作。合肥 安徽农业大学动物科技学院, 230036。

Email: zhangzijun@ahau.edu.cn

西侧山墙设 1 个  $2.05 \times 1.52$  ( $\text{m}^2$ ) 舍门。羊床高 1.0 m、对头双列式分布, 中间设 1.5 m 饲喂走道(见图 1)。试验期内羊群日粮配方保持不变, 采用人工投料加自由饮水

的全舍饲养方式, 每天 06:30、11:00 和 17:00 定时饲喂, 早晨饲喂精料和花生秧秸秆, 中午和下午饲喂花生秧秸秆等粗饲料。

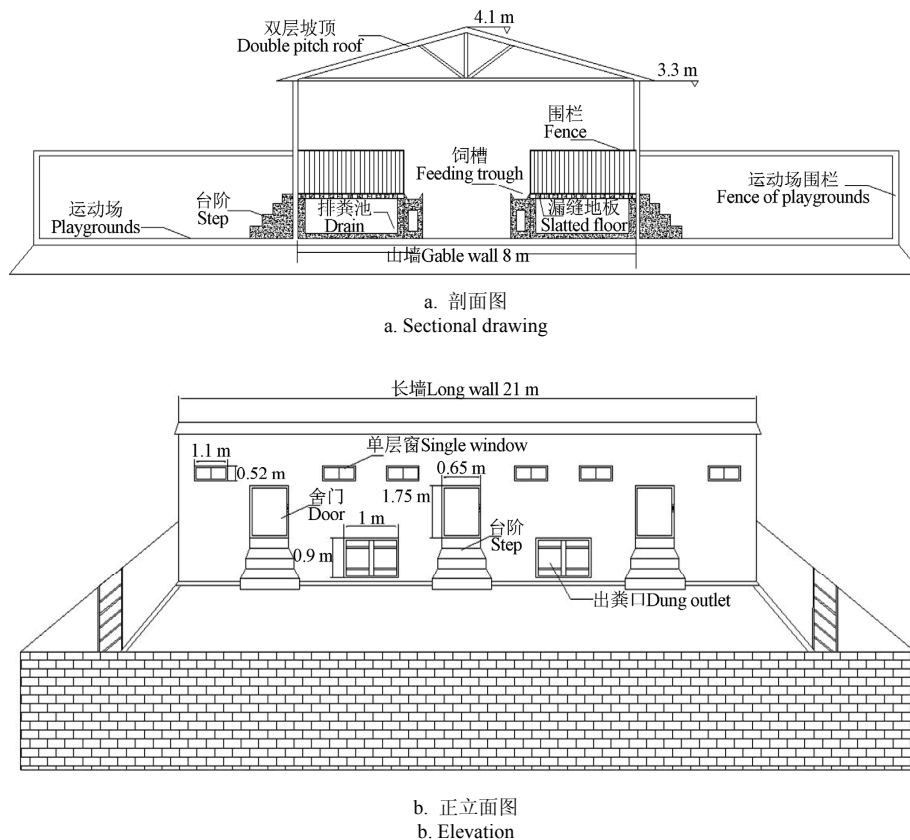


图 1 试验羊舍剖面、正面图

Fig.1 Sectional drawing and elevation of goat house

### 1.3 保暖防寒试验

选择 4 栋均为坐北朝南的双坡顶有窗封闭羊舍, 试验动物选择安徽白山羊, 根据羊只体质量和年龄相近原则, 随机分到 4 栋羊舍的羊只各 134 只(其中带羔母羊 24 只, 羔羊 60 只, 空怀母羊 50 只), 不同生产阶段羊只分栏饲养。由于称质量对羊只生长影响较大, 故本试验在 4 栋羊舍分别随机抽样体质量分别相近的 20 只羔羊及 20 只空怀母羊进行耳号标记, 在试验开始和结束时在同等条件下称取羊质量, 并对空怀母羊采食量每天进行称质量记录。2 栋处理舍试验期间全天 24 h 开通供暖设备, 2 栋对照舍无供暖设备。

### 1.4 通风换气试验

选择 2 栋坐北朝南的双坡顶有窗封闭羊舍, 每栋舍内各饲养安徽白山羊育成羊 186 只, 饲养密度  $1 \text{ 只}/\text{m}^2$ 。由于冬季羊舍气温低, 长时间通风换气势必导致舍内气温降低, 为能有效解决通风换气与保暖防寒这一矛盾问题, 本试验所选 2 栋羊舍采用风机负压通风与油汀式电暖气供暖相结合的方式通风换气效果研究, 羊舍通风换气时间与该羊场饲养管理时间一致, 每天 06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00 各通风换气 1 次, 每次通风换气时负压风机只工作 10 min, 其余时间关闭, 油汀式电暖气全天 24 h 供暖, 2

栋羊舍在每次通风换气前与通风换气后各测定一次环境参数, 以分析这种环境调控方式能否有效解决通风换气与保暖防寒这一矛盾体。

### 1.5 试验设备安装及运行参数

#### 1.5.1 供暖装置

保暖防寒羊舍装置 2 台型号为 NDYK-20a 油汀式电暖气 (GREE), 放置于饲喂道两头并与畜体等高位置, 两者相距 7 m, 发热体材质为导热油, 额定电压 220 V, 额定频率 50 Hz, 额定功率 2 kW, 控制方式为机械式, 试验运行期间设置为二档, 功率为 1.3 kW, 采暖面积在  $20 \text{ m}^2$  以上。

#### 1.5.2 通风换气装置

通风换气羊舍安装了 1 台型号为 GLFJ-2 负压风机 (威特邦), 每天通风换气时间段为 06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00, 每次换气时间为 10 min, 风叶为 6 叶, 电机功率为 0.75 kW, 转速 450 r/min, 风量可达  $3.5 \text{ 万 m}^3/\text{h}$ , 风机安装于西山墙, 底标高为 0.9 m。

### 1.6 环境指标测定仪器及方法

温度、湿度、氨气、二氧化碳、风速、照度环境指标监测及采样高度、采样办法、采样频率、采样点均遵照《家畜环境卫生学试验指导》<sup>[1]</sup>和《环境监测技术规

范》(NY/T 388-1999)<sup>[12]</sup>操作, 测量方法参照《家畜环境卫生学》常规方法<sup>[13]</sup>, 分别采用 181—F 型最低最高温度计(上海盟浩机电设备有限公司, 上海)、272—A 型干湿温度计(天津宏大仪表厂, 天津)、Z-800XP 型氨气检测仪(ESC, 美国)、HWF-1 型红外二氧化碳测定仪(金坛市泰纳仪器厂, 江苏)、BYWF-2001 型微风仪(北京宝云兴业科贸有限公司, 北京)、BY-2007Z 型照度计(北京宝云兴业科贸有限公司, 北京), 试验所需仪器均通过厂家进行校准调试, 仪器灵敏度达到本次试验要求。试验期间, 保暖防寒试验羊舍每天 06:00、10:00、14:00、18:00、22:00 进行温湿度测定, 测定点设在羊只活动区域水平方向 9 个点(见图 2)、舍外测定点设在距离羊舍约 5 m 处; 通风换气试验羊舍每天 06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00 在通风换气前后测定环境参数, 测定点位置见图 1 所示; 冬季羊舍环境参数测定时间为 06:00~22:00, 每隔 2 h 测定 1 次, 测定点位置同上所述。

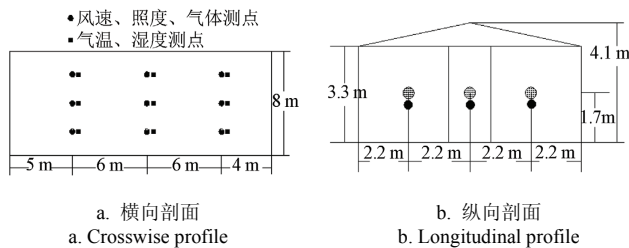


图 2 舍内环境指标测定点布置图

Fig.2 Sketch map of measuring points for environmental index

### 1.7 风冷指数的计算

风冷指数(wind chill index)是气温和风速相结合以估计寒冷程度的一种指标<sup>[13]</sup>。

$$H=(\sqrt{100v} + 10.45 - v)(33 - T_a) \times 4.184$$

式中  $H$  为风冷却力,  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;  $v$  为风速,  $\text{m}/\text{s}$ ;  $T_a$  为气温,  $^{\circ}\text{C}$ ; 33 为无风时的皮肤温度,  $^{\circ}\text{C}$ ; 4.184 为卡换算为焦的系数。

### 1.8 有效温度的计算

有效温度(ET)亦称“实感温度”, 是在人类卫生学中根据气温、气湿、气流 3 个主要温热因素对人综合作用时, 人的主观感觉制定出的 1 个指标<sup>[13]</sup>。

$$ET=0.35T_d+0.65T_w$$

式中  $T_d$  为干球温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_w$  为湿球温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.9 数据统计方法

用 Excel 2003 软件进行图形绘制, 数据以平均值±标准差形式表示, 采用 SPSS 19.0 进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬季羊舍空气环境参数测定结果

连续 2 a (2014 年 1 月 9 日—2 月 8 日和 2015 年 1 月 9 日—2 月 8 日)对江淮地区双坡顶漏缝地板有窗封闭羊舍最冷时节空气小气候环境参数检测结果表明, 羊舍日平均温度、相对湿度、气流速度、光照强度、氨气和二氧化碳浓度分别为  $5.14^{\circ}\text{C}$ 、 $58.0\%$ 、 $0.15 \text{ m}/\text{s}$ 、 $78.84 \text{ lx}$ 、 $1.63 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $0.068\%$ 。所测指标中, 除舍内日平均温度低于羔羊所需温度最低值外, 其余指标均符合环境卫生学标准。此外, 风冷指数、最低温度和最高温度平均值分别为  $1686.18 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、 $5.23^{\circ}\text{C}$ 、 $7.24^{\circ}\text{C}$ , 数值均低于哺乳羔羊舍最低卫生学标准, 主要是因为南方冬季低温高湿、没有采取供暖措施及羊舍保暖防寒性能较差而导致的(详见表 1)。如表所示, 尽管羊舍各项小气候环境参数随着外界环境变化的影响而发生波动性变化, 但整个试验期变化规律、变化幅度较小, 说明 2 a 试验期间外界环境没有出现极端气候现象, 所测环境参数指标有较好的稳定性, 可以用来作为评价和调控当地冬季羊舍小气候环境的重要参考依据。

表 1 冬季羊舍空气环境参数测定结果及变化范围

Table 1 Measuring results and variation range of various environmental parameters in goat house in winter

环境参数 Environment indexes	舍内 Inside		外界 Outside		卫生标准 Hygienic standard
	变化范围 Range of variation	平均值 Average value	变化范围 Range of variation	平均值 Average value	
日平均温度 Daily mean temperature/ $^{\circ}\text{C}$	2.30~9.44	5.14	0.26~9.08	4.56	成年山羊 Goat (0~30) 羔羊 Kid (10~30)
相对湿度 Relative humidity/%	22.3~93.4	58.0	24.5~99.7	75.2	50~75
气流速度 Airflow velocity/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.01~1.34	0.15	0.04~8.49	1.47	0.1~0.25
光照强度 Illumination/lx	3.0~687	78.84	0~81900	27574.3	50~150
氨气质量浓度 Mass concentration of ammonia/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	1.04~2.45	1.63	0.48~1.39	0.76	<34
二氧化碳体积分数 Volume fraction of carbon dioxide/%	0.04~0.118	0.068	0.025~0.05	0.044	<0.3
风冷指数 Wind chill index	1263.23~2100.21	1686.18	2041.39~3383.24	2775.08	成年山羊 Goat<3046.69 羔羊 Kid>21123.45
有效温度 Effective temperature/ $^{\circ}\text{C}$	1.02~7.20	3.87	-0.16~7.74	3.04	
最高温度 Maximum temperature/ $^{\circ}\text{C}$	2~13.5	7.24	-0.8~15.7	6.72	成年山羊 Goat<30 羔羊 Kid<30
最低温度 Minimum temperature/ $^{\circ}\text{C}$	1.0~12.0	5.23	-3.6~11.8	1.90	成年山羊 Goat>0 羔羊 Kid>10
气温日较差 Daily temperature range/ $^{\circ}\text{C}$	1.50~6.50	3.05	1.8~15.95	6.62	
昼夜温差 Temperature difference between day and night/ $^{\circ}\text{C}$	1.0~7.5	4.26	2.30~13.80	6.99	
舍内外温差 Temperature difference between inside and outside/ $^{\circ}\text{C}$	0~3.55	1.62	0~3.55	1.62	

注: 环境卫生标准参考畜禽场环境质量标准(NY/T388-1999)北京: 中国标准出版社, 2003<sup>[12]</sup>。《家畜环境卫生学》第三版, 2004 年<sup>[13]</sup>。该表数据位 2014 年、2015 年两年的平均值。

Note: Hygienic standard refer to livestock and poultry field environment quality standards (NY/T388-1999), Beijing: China Standards Press, 2003<sup>[12]</sup>. Livestock environment hygiene, the third edition, 2004<sup>[13]</sup>. The data in the table were the average of 2014 and 2015.

## 2.2 冬季羊舍供暖对舍内环境及羊只生产的影响

### 2.2.1 冬季供暖装置对舍内环境的影响

在阴冷潮湿的南方, 温热环境中起主要因素的是空气温度和相对湿度<sup>[13]</sup>, 表 2 是本试验期间 (2015 年 1 月 9 日—2 月 8 日) 对 4 栋羊舍不同时间段内空气温度、相对湿度作了测定和差异显著性分析结果, 从中发现, 与对照舍相比, 处理舍日平均温度、相对湿度分别提高 3.4℃、13%,

差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 同时, 处理舍各时间段空气温度、相对湿度与对照舍相比, 除 14:00~18:00 两栋羊舍温度差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 其余时间段两栋羊舍空气温度差异显著 ( $P < 0.05$ )、相对湿度达到差异极显著水平 ( $P < 0.01$ ); 此外, 表 2 中也可看到舍内外空气温度、相对湿度变化趋势, 2 栋羊舍在 14:00~18:00 空气温度、相对湿度降低, 而舍外空气温度在此时间段升高, 舍外相对湿度降低。

表 2 2015 年舍内温度、湿度变化

Table 2 Variations of temperature and humidity inside and outside cowshed in 2015

测定时间 Time	温度 Temperature/℃			相对湿度 Relative humidity/%		
	处理舍 Treatment shed	对照舍 Control shed	舍外 Outdoor	处理舍 Treatment shed	对照舍 Control shed	舍外 Outdoor
	06:00~10:00	10.91±1.30Aa	7.75±1.63b	6.23±3.47Bb	73.12±6.13A	58.67±7.35B
14:00~18:00	9.48±1.88a	6.21±2.58a	6.94±3.76a	67.94±9.03a	55.65±9.05b	66.35±20.37a
22:00 至次日 06:00	10.78±2.00a	7.17±2.53b	6.29±3.62b	76.80±5.90A	63.80±8.50B	86.60±16.65Ab
日平均值 Daily average	10.15±1.74Aa	6.75±2.27Bb	6.42±3.97Bb	72.45±7.95A	59.20±8.81B	75.81±18.65A

注: 同项同行大写字母不同表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Values within a rank with different superscript capital letters were highly significant difference in  $P < 0.01$  level; Values within a column with different superscript lowercase was significant difference in  $P < 0.05$  level.

### 2.2.2 冬季供暖装置对羊只生产的影响

从表 3 可知, 处理舍和对照舍相比, 冬季采用供暖设备后, 羔羊平均日增质量提高 29 g, 差异显著 ( $P <$

0.05); 处理舍内空怀母羊在试验前后体质量差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 处理舍空怀母羊日平均采食量较对照舍下降 90 g, 差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

表 3 冬季供暖装置对羔羊日增质量及空怀母羊采食量的影响

Table 3 Effects of heating apparatus on daily live-weight gain of lamb and daily feed intake of goat in winter

处理 Treatment	羔羊 Kid			空怀母羊 Maintenance of goat		
	初始体质量 Original weight/kg	试验结束体质量 Final weight/kg	日增质量 Daily weight gain(g·d <sup>-1</sup> )	初始体质量 Original weight/kg	试验结束体质量 Final weight/kg	采食量 Feed intake/g
处理舍 Treatment shed	4.02±0.37A	7.43±1.09A	113±27.9a	24.09±4.08A	24.39±4.16A	460±40A
对照舍 Control shed	4.14±0.43A	6.65±0.90A	84±20.5b	24.28±4.06A	24.17±3.86A	550±70B

注: 该表数据位 2014 年、2015 年两年的平均值。

Note: The data in the table were the average of 2014 and 2015.

## 2.3 冬季羊舍通风换气对舍内环境的影响

### 2.3.1 羊舍通风换气前后小气候环境差异性分析

表 4 是试验期间 (2015 年 1 月 9 日—2 月 8 日) 风机定时负压换气和油汀式电暖气供暖相结合的方式进行环境调控前与调控后所测得的有关参数结果。可以看出, 羊舍在通风换气前与通风换气后相比, 空气温度、相对

湿度、氨气质量浓度、二氧化碳体积分数分别降低了 1.23℃、4.04%、0.29 mg/m<sup>3</sup>、0.02%, 其中空气温度、相对湿度通风前与通风后差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 而氨气质量浓度在通风前与通风后差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 二氧化碳体积分数在通风前与通风后差异达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。

表 4 羊舍通风换气前后小气候环境参数变化

Table 4 Changes of environment parameters after ventilation anterior and posterior in goat shed

处理 Treatment	空气温度 Air temperature /℃	相对湿度 Relative humidity/%	氨气质量浓度 Mass concentration of ammonia(mg·m <sup>-3</sup> )	二氧化碳体积分数 Volume fraction of carbon dioxide/%
通风前 Ventilation anterior	10.51±1.69a	47.71±0.07a	1.25±0.38a	0.08±0.02Aa
通风后 Ventilation posterior	9.28±1.56a	43.67±0.06a	0.96±0.30b	0.06±0.01Bb

### 2.3.2 羊舍通风换气前后空气温度、相对湿度变化情况

试验调控期间, 舍内外空气温度、相对湿度变化规律, 羊舍通风前、通风后日平均最低温度及舍外日平均最低温度分别为 8.9、8.6、0.7℃, 与之相对, 其日平均最高相对湿度分别为 55.7%、50.7%、65.7%, 日平均最

低温度和最高相对湿度都出现在 06:00~08:00, 从 08:00~16:00 开始, 舍内外温湿度都有较大幅度变化, 舍内通风前、通风后日平均温度及舍外日平均温度最高值分别为 12.2、11.4、9.8℃, 与其相对应, 日平均相对湿度最低值分别为 36.7%、35.3%、40.7%, 日平均最高温

度和最低相对湿度都出现在 16:00；总之，日平均空气温度、相对湿度在通风前后差异都不显著 ( $P>0.05$ )，06:00~22:00 之间空气温度、相对湿度分别出现先升后降和先降后升的变化，舍内空气温度、相对湿度明显受到舍外气候的影响（见图 3）。

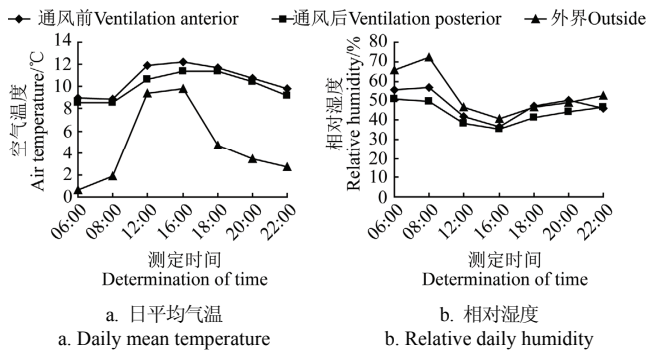


图 3 试验期间（2015-01-09 日—02-08）羊舍内外温度、相对湿度变化情况

Fig.3 Variation of daily mean temperature and relative daily humidity in goat house and outside during test period(January 9-February 8, 2015)

### 2.3.3 羊舍通风换气前后氨气质量浓度、二氧化碳体积分数变化情况

从表 4 看出，羊舍在通风前后日平均氨气质量浓度分别为 1.25、0.96  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，差异显著 ( $P<0.05$ )；二氧化碳体积分数通风前后分别为 0.08%、0.06%，差异极显著 ( $P<0.01$ )；06:00~22:00 舍内氨气质量浓度和二氧化碳体积分数变化规律，早晚高、中午低，而舍外二氧化碳体积分数变化不明显，在一定范围了波动（见图 4）。

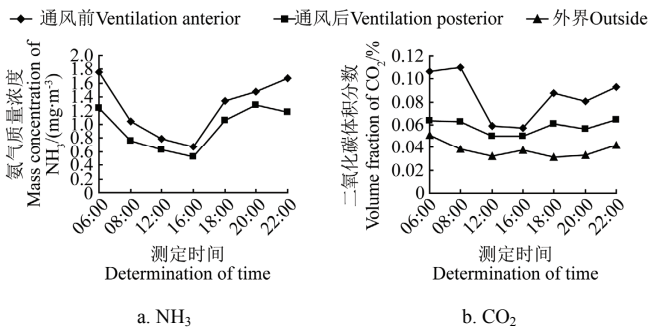


图 4 试验期间（2015-01-09 日—02-08）羊舍内  $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$  变化情况

Fig.4 Variation of  $\text{NH}_3$  and  $\text{CO}_2$  in goat house during test period(January 9-February 8, 2015)

## 3 冬季羊舍增加供暖装置试验的经济效益估算

试验期间 4 栋羊舍饲养管理一致，因此管理因素可不予考虑。2 栋处理羊舍各装有 2 台油汀式电暖气，1 台油汀式电暖气购买安装费 350 元，2 栋处理舍购买安装电暖气费总需 1 400 元，按 5 a 折旧，折旧费 280 元/a。供暖装置运行费用：2 a 试验天数各 30 d，2 栋处理舍 4 台油汀式电暖气在试验运行期间都设置为二档，每台功率为 1.3 kW，2 栋羊舍安装的 4 台油汀式电暖气 1 h 可耗电 5.2 kW，每度电 0.35 元，因而 4 台供暖装置运行 24 h 费用为 43.7 元。试验期间处理舍比对照舍羔羊日增质量平

均高 29 g/d，假设 2 栋处理舍内 120 只羔羊有相同的增质量趋势，羔羊按当地价格 50 元/kg 计算，试验 30 d 后此项收益为 5 220 元；试验期间处理舍空怀母羊与对照舍空怀母羊体质量在差异不显著，其日采食量平均下降了 90 g/d，假设 2 栋处理舍内 100 只空怀母羊日采食量有相同的下降趋势，花生秧按当地价格 1 元/kg 计算，试验 30 d 后此项收益为 270 元。试验期间扣除电费和供暖设备折旧费后，2 栋保暖羊舍 30 d 总收益为 3 899 元，故羊舍增加供暖设备后能够节约养羊成本，增加养殖户收益。

## 4 讨论

### 4.1 供暖装置保暖性能分析

对 4 栋试验羊舍进行环境监测时间正值南方江淮地区最冷时节，舍外有效温度 3.04℃，相对湿度 75.81%。如前表 2 所示，处理舍增加供暖设备后日平均温度达 10.15℃，比对照舍、舍外分别高 3.4、3.7℃，处理舍羔羊日增质量较对照舍高 29g，这些试验结果说明，增加供暖装置羊舍的温热环境优于对照舍，更适合羔羊的生长发育。有关资料表明，羔羊由出生转为初生期独立生活期间适应能力弱，抵抗力低，体温调节能力差<sup>[14]</sup>，王金文等<sup>[15]</sup>研究冬季羊舍保暖对羔羊育肥效果中发现，当环境温度降至-5.4℃，舍内温度降低至-0.4℃时，羔羊平均日增质量降低 25.61%；本试验还发现，处理舍空怀母羊采食量较对照舍下降了 16.36%，但羊只试验前后体质量差异不显著，说明舍内温度升高有利于将畜体的代偿性消耗降低到最低，从而达到节约饲草料的目的，提高饲料利用率，这与其他学者研究结果一致<sup>[16-17]</sup>。畜舍中小气候的形成除受舍外气象因素的影响外，还与舍内的家畜种类、密度、垫草使用、外围结构的保温隔热性能、通风换气、排水防潮等因素有关<sup>[13]</sup>，而畜舍的潮湿是由水汽造成的，水汽主要来源于家畜皮肤和呼吸道蒸发出来的湿气、排出的粪便、采食的稀饲料、设备漏水等<sup>[18]</sup>，本次试验发现处理舍相对湿度较对照舍高 13.25%，差异极显著 ( $P<0.01$ )，这与以下所述有关：1) 羊舍增加供暖设备时，羊只首先可以从这些外源得到热量，羊只皮肤血管舒张，皮肤表面所蒸发水分较对照舍羊只有所提高；2) 处理舍温度相对较高，羊只降低了用减少呼吸数的方式来阻止热量的散失，因而处理舍羊只每天呼吸数要比对照舍羊只多，从而导致了处理舍羊只经呼吸道所蒸发水分要比对照舍羊只增多；3) 在清晨日出前因空气饱和和水汽压降低，导致羊舍内空气湿度达到饱和而凝结为露水，由于处理舍温度升高较快，舍内温度比对照舍温度高，使得处理舍内空气饱和压亦随之提高，从而能容纳更多的水汽，继而加快了附着在垫草、墙壁、窗户、围栏等处露水的汽化，处理舍内湿度又进一步升高；4) 试验期间羊舍相对封闭，不能将多余的水汽及时排出舍外<sup>[13]</sup>。这些因素综合作用，导致处理舍比对照舍相对湿度较高，本文研究结果与金志风等<sup>[19]</sup>学者一致，本研究同时也说明畜舍冬季的保暖与通风是一对突出的矛盾体，保温是以限制通风换气、牺牲羊舍空气质量为前提的，这与其他学者的报道一致<sup>[20-22]</sup>。综合以上所述，冬

季羊舍进行保暖是行之有效的,但在保暖同时也要适当地对羊舍进行通风换气,以避免一味追求畜舍增温而忽视通风换气所带来的损失。

#### 4.2 冬季羊舍通风换气效果评价

畜舍空气质量直接反应了畜舍通风换气的效果,而冬季畜舍通风换气效果主要依赖于舍内余热的多少,余热越多,舍内通风换气就会越充分<sup>[20]</sup>。羊舍内安装供暖装置来增加热量来源,这一措施使得羊舍有了更多的余热用于通风换气,如前表 4 所示,空气温度、相对湿度通风前后差异不显著,其中相对湿度指标低于参考标准(50%~75%<sup>[13]</sup>),而氨气质量浓度、二氧化碳体积分数通风前后差异显著,说明冬季羊舍采用定时风机结合供暖装置通风换气方式具有良好的换气效果,这一方式是解决冬季羊舍保暖与通风换气突出矛盾的有效途径。相关资料表明,高增月等<sup>[17]</sup>冬季在猪舍内采用热风炉后不但舍温度得以提高,而且舍内有害气体浓度大幅度降低,充分保证了舍内空气质量;栾冬梅等<sup>[23]</sup>设计的温室型牛舍因具有良好的保温性能,使其具有足够余热用于通风换气;王小超等<sup>[24]</sup>在猪舍冬季环境控制研究中使用的热回收换气系统是采取通风换气和供暖相结合的综合调控方式,其在环境调控方面具有很大优势。因此,在解决畜舍冬季保暖防寒和通风换气这对突出矛盾问题方面,本文与以上学者<sup>[17,23-24]</sup>达成共识。

#### 4.3 羊舍冬季供暖与养羊经济效益的关系

环境温度与羊体的代谢和体温调节有着直接的关系,在南方阴冷的冬季,羊体散热较快,大量饲料用于产热消耗来维持体热平衡,这将导致生产力下降<sup>[15]</sup>,在舍饲条件下,羔羊的生产性能只有在适宜的环境条件下才能充分发挥遗传潜力<sup>[25]</sup>,而当冬季气温较低时,生产上容易引起羔羊死亡和生长受阻<sup>[26]</sup>。养羊经济效益与增质量效果、饲料成本、防疫成本等诸多因素有关<sup>[27]</sup>,本试验中,处理组羊舍在供暖条件下温度升高,羔羊增质量效果比对照舍明显提高,空怀母羊用于维持体热平衡所消耗的饲料量比对照舍明显下降,养羊生产效益得到明显提升,这与有关学者采用太阳能、热风炉、铺加垫料、暖床等<sup>[28-34]</sup>保暖措施来后能提高冬季畜禽生产研究一致,说明南方肉羊舍在冬季采取保暖措施能够节约养羊成本,增加养殖户收入,同时也说明本文所采取保暖措施具有很好地推广使用前景。

## 5 结 论

1) 经连续 1 月的系统检测,南方常见的双坡顶有窗封闭羊舍最冷时节(2014 和 2015 年 1 月 9 日—2 月 8 日)空气日平均温度、相对湿度、气流速度、光照强度、氨气和二氧化碳浓度分别为 5.14℃、58.0%、0.15 m/s、78.84 lx、1.63 mg/m<sup>3</sup>、0.068%,以上小气候环境参数,除日平均温度低于羔羊温度所需最低标准外,其余各项指标均符合环境卫生学标准。

2) 2015 年试验期间,处理舍日平均温度、相对湿度分别较对照舍极显著提高 3.4℃、13% ( $P<0.01$ )。

3) 2014 和 2015 年,处理舍羔羊平均日增质量较对照舍显著提高 29 g/d ( $P<0.05$ );处理舍空怀母羊日平均采食量较对照舍极显著下降了 90 g/d ( $P<0.01$ ),但试验前后羊只体质量差异不显著 ( $P<0.05$ ),说明冬季羊舍增加供暖装置对提高养羊生产有一定作用。

3) 2015 年试验期间,羊舍空气温度、相对湿度通风前后差异不显著 ( $P>0.05$ ),氨气质量浓度、二氧化碳体积分数通风前后差异显著 ( $P<0.05$ ),说明羊舍采用风机定时负压换气和供暖装置相结合方式能够有效解决冬季畜舍通风换气与保暖这一矛盾问题。

4) 在试验期间,增加供暖装置可使 2 栋处理羊舍为养殖户节约养羊成本 3 899.6 元,有效提高了养殖户的养羊收入。

#### [参 考 文 献]

- [1] 任继周,黄黔.岩溶山区的绿色希望:中国西南岩溶地区草地畜牧业考察报告[M].北京:科学出版社,2011.
- [2] 张子军,李秉龙.中国南方肉羊产业及饲草资源现状分析[J].中国草食动物科学,2012,32(2):47-51.  
Zhang Zijun, Li Binglong. Analysis of meat goat and sheep industry and forage grass resources in South China[J]. China Herbivores, 2012, 32(2): 47-51. (in Chinese with English abstract)
- [3] 栾冬梅,赵靖,冯春燕.黑龙江省不同类型肉牛舍冬季环境的研究[J].东北农业大学学报,2011,42(6):66-70.  
Luan Dongmei, Zhao Jing, Feng Chunyan. Research on the winter environment of different types of beef houses in Heilongjiang province[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(6): 66-70. (in Chinese with English abstract)
- [4] 丁露雨,王美芝,陈昭辉,等.南方开放式肉牛舍夏季喷雾降温效果[J].农业工程学报,2013,29(2):224-231.  
Ding Luyu, Wang Meizhi, Chen Zhaohui, et al. Effects of spraying cooling on open beef cattle barn in Southern China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(2): 224-231. (in Chinese with English abstract)
- [5] 邵燕华.中国南方地区夏季猪舍降温效果的实验研究[D].浙江:浙江大学,2002:1-60.  
Shao Yanhua. Studies on Cooling Effect of Pig House in Summer in Southern China[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2002: 1-60. (in Chinese with English abstract)
- [6] Wu Wentao, Zhai John. Evaluation of methods for determining air exchange rate in a naturally ventilated dairy cattle building with large openings using computational fluid dynamics (CFD)[J]. Atmospheric Environment, 2012, 63(3): 179-188.
- [7] Zhang G, Ström J S, Li B, et al. Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(3): 355-364.
- [8] 臧强,李保明,施正香,等.规模化羊场羊舍夏季环境与小尾寒羊的行为观察[J].农业工程学报,2005,21(9):183-185.  
Zang Qiang, Li Baoming, Shi Zhengxiang, et al. Environment of sheep shed in summer and behavior observation of Small tailed han sheep[J]. Transactions of the

- Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2005, 21(9): 183—185. (in Chinese with English abstract)
- [9] 欧阳宏飞, 郑春霞, 邵伟, 等. 新疆冬季密闭羊舍的空气质量分析[J]. 家畜生态学报, 2008, 29(3): 65—71.  
Ouyang Hongfei, Zheng Chunxia, Shao Wei, et al. Air quality analysis of hermetic sheep shed in winter in Xinjiang[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2008, 29(3): 65—71. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张子军, 陈家宏, 黄桢锋, 等. 江淮地区夏季羊舍小气候环境检测及评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 200—209.  
Zhang Zijun, Chen Jiahong, Huang Yafeng, et al. Detection and evaluation of microclimatic ambient air in goat shed in Jianghuai region in summer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(18): 200—209. (in Chinese with English abstract)
- [11] 鲁琳, 刘凤华, 颜培实. 家畜环境卫生学试验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005.
- [12] NY/T388-1999 禽场环境质量标准[S].
- [13] 李如治. 家畜环境卫生学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004, 1: 44.
- [14] 陈启康. 山羊规模养殖羔羊培育关键技术[J]. 畜牧与兽医, 2005(5): 23—24.
- [15] 王金文, 崔绪奎, 王德芹, 等. 不同类型羊舍冬季保温及对羔羊育肥效果的影响[C]// 中国畜牧业协会, 2012 中国羊业进展论文集 2012.
- [16] 王思珍, 曹颖霞, 牛新野. 日光暖棚畜舍的设计及其环境评价[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 80—83.  
Wang Sizhen, Cao Yingxia, Nui Xinye. Design and environmental evaluation of sunlight warm plastic livestock shed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(3): 80—83. (in Chinese with English abstract)
- [17] 高增月, 卢朝义, 赵书广. 猪舍温度控制技术应用的研 究[J]. 农业工程学报, 2006, S2: 75—78.  
Gao Zengyue, Lu Chaoyi, Zhao Shuguang. Research on temperature control technique in pig barns[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, S2: 75—78. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张利平, 吴建平. 从环境工程学论北方冬季畜舍的保温防 湿[J]. 甘肃农业大学学报, 1994, 29(1): 117—121.
- [19] 金志凤, 周胜军, 朱育强, 等. 不同天气条件下日光温室 内温度和相对湿度的变化特征[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(3): 188—191.
- [20] 马春宇. 寒区育肥牛舍冬季环境测定与通风改造的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.  
Ma Chunyu. Research on Winter Environment of Beef House and Ventilation Modified in Cold Regions[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [21] 邢启明. 太阳能热水工程在寒区规模化奶牛场应用效果的 研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.  
Xing Qiming. Study on Application of Solar Water Heating Systems Engineering for Intensive Dairy Farm in Cold Region[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [22] 胡延春, 许宗运. 新疆绵羊环境调控探讨[J]. 畜牧与兽医, 2002(1): 24—25.
- [23] 栾冬梅, 齐贺, 赵靖, 等. 寒区温室型犊牛舍的设计与应 用效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 195—202.  
Luan Dongmei, Qi He, Zhao Jing, et al. Design and application effect of greenhouse calf barn in cold region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 195—202. (in Chinese with English abstract)
- [24] 王小超, 陈昭辉, 王美芝, 等. 冬季猪舍热回收换气系统供 暖的数值模拟[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 227—233.  
Wang Xiaochao, Chen Zhaohui, Wang Meizhi, et al. Numerical simulation of heat supply for heat recovery ventilation system of piggery in winter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(12): 227—233. (in Chinese with English abstract)
- [25] 安立龙. 家畜环境卫生学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [26] 杨鹰, 韦雷飞. 产羔季节对羔羊生产性能的影响[J]. 黑龙 江畜牧兽医, 2010(23): 92—93.
- [27] 黄桢锋, 陈俊, 张子军, 等. 南方草地生态移动牧场设计 及其适用性研究[J]. 家畜生态学报, 2014, 35(4): 67—73.  
Huang Yafeng, Chen Jun, Zhang Zijun, et al. Research on the design of eco-mobile pasture and its applicability on pastures in southern china[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2014, 35(4): 67—73. (in Chinese with English abstract)
- [28] 黄桂琴, 王玉江, 袁洪印, 等. 封闭牛舍的温热环境控制[J]. 农业工程学报, 1996, (2): 6—129.  
Huang Guiqin, Wang Yujiang, Yuan Hongyin, et al. Warm environment control of closed cowshed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1996, (2): 129. (in Chinese with English abstract)
- [29] 傅敏良, 张凤菊, 王金平, 等. 高寒地区建立节能保温 畜舍的初步研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(增刊 1): 75—179.  
Fu Minliang, Zhang Fengju, Wang Jinping, et al. Preliminary study on building the energy-saving, heat-preservation livestock house in severe cold areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1997, 13(Supp.1): 75—179. (in Chinese with English abstract)
- [30] 袁月明, 孙丽丽, 潘世强, 等. 太阳能猪舍地道通风方式 对舍内热环境的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 213—220.  
Yuan Yueming, Sun Lili, Pan Shiqiang, et al. Impact of tunnel ventilation on thermal environment in solar heated swine housing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(16): 213—220. (in Chinese with English abstract)
- [31] 陈佳琦, 陈林, 王美芝, 等. 西北地区冬季肉牛养殖环境

- 控制及管理措施研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2012(5): 6—10.  
Chen Jiaqi, Chen Lin, Wang Meizhi, et al. Study on the environmental control and management measures for the beef industry in the northwest of China during winter[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2012(5): 6—10. (in Chinese with English abstract)
- [32] 付仕伦, 谢宝元. 冷季提高猪舍环境温度方式之效益分析[J]. 中国农学通报, 2007(8): 548—551.  
Fu Shilun, Xie Baoyuan. The analysis of economic benefits in the ways to raise the temperature of pig houses in cold days[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007(8): 548—551. (in Chinese with English abstract)
- [33] 李娜, 金鑫, 王巍, 等. 冬季不同取暖方式对猪舍环境及育成猪生长性能影响的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2010, 23: 77—78.
- [34] 刁小南, 王美芝, 陈昭辉, 等. 冬季恒温饮水装置和屋顶采光对提高肉牛生长速率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 164—172.  
Diao Xiaonan, Wang Meizhi, Chen Zhaohui, et al. Effects of thermostatic apparatus for drinking water and roof-lighting system on improvement of growth rate of beef cattle in winter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(24): 164—172. (in Chinese with English abstract)

## Effect of electric heating and ventilation in goat shed of Jianghuai region in winter

Ren Chunhuan, Wang Qiangjun, Zhang Yan, Luo Jianchuan, Zhang Zijun\*

(College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract:** In order to improve the welfare of the meat goat and increase the goat production efficiency, a study was conducted to evaluate the effect of electric heating and ventilation on the goat performance and microclimatic ambient air in goat shed and its economic feasibility. The oil radiator-type heaters were used to keep warm and the negative-pressure fan with a combination of electric heater was used for ventilation in double-slope airtight goat houses with windows and slatted floor, which was the most common type of goat house in winter in Jianghuai region. This two-year study was also to detect and analyze the air environmental indications in double-slope airtight goat houses with windows and slatted floor, in winter in Jianghuai region. The results showed that the daily mean temperature, relative humidity, airflow velocity, illuminance and concentration of nitrogen and carbon dioxide in such goat houses in the coldest month in winter were 5.14°C, 58.0%, 0.15 m/s, 78.84 lx, 1.63 mg/m<sup>3</sup> and 0.068% respectively. All indicators met the required standards of environmental hygiene except the daily mean temperature that was below the standard required for lamb. During the test, outdoor effective temperature was 3.04°C; when the oil radiator-type heaters were used to keep warm for goat shed, the average temperature inside goat shed and the daily live-weight gain of lamb in shed were 3.4°C and 29 g higher than those in contrasting shed, and the average daily feed intake for maintenance of the barren ewes was 90 g lower than that in contrasting shed. The results showed that using oil radiator-type heater in goat shed could significantly improve goat production in winter, as well as enhance utilization rate to decrease feeding cost. In this study, the daily live-weight gain of lambs and the average daily feed intake of barren ewes had no significant difference before and after the test ( $P>0.05$ ), but there was 3 899.6 yuan gained during 30 days trial. So these measures was essential for obtaining consistently high breeding efficiency and ensuring lower cost and time-loss for breeder. Furthermore, there was no significant difference on the average temperature and relative humidity before and after the ventilation ( $P>0.05$ ), while a significant difference on ammonia gas and carbon dioxide before and after the ventilation ( $P<0.05$ ) in goat shed that had the negative-pressure fan (worked only for 10 min during the experiment) with a combination of electric heater (worked for 24 h a day), which suggested that the negative-pressure fan with a combination of electric heater not only achieved appropriate ventilation for goat shed in winter, but also provided a warmth retention shed; in other words, the negative-pressure fan with a combination of electric heater was feasible and valid for ventilation and warmth retention in goat shed in Jianghuai region in winter. In summary, the research provides a solid foundation for environment control in goat shed in Jianghuai region of China in winter.

**Keywords:** animals; fans; electric heating; environmental parameters; Jianghuai region