

## 新型清粪系统猪舍热环境及有害气体监测与分析

李仲瀚, 张克强, 巴士迪, 杨增军

### 引用本文:

李仲瀚, 张克强, 巴士迪, 杨增军. 新型清粪系统猪舍热环境及有害气体监测与分析[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1808-1815.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1272>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 生物质炭施用对不同深度稻田土壤有机碳矿化的影响

王佳盟, 刘伟, 刘志伟, 刘秀霞, 吴秀兰, 卞荣军, 郑聚锋, 李恋卿, 潘根兴

农业环境科学学报. 2020, 39(9): 2081-2088 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0335>

#### 不同养殖阶段猪舍氨气和颗粒物污染特征及其动态

许稳, 刘学军, 孟令敏, 郑鲲

农业环境科学学报. 2018, 37(6): 1248-1254 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1440>

#### 长三角地区典型季节规模化奶牛场氨排放特征研究

倪远之, 徐昶, 沈根祥

农业环境科学学报. 2022, 41(5): 1141-1154 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1014>

#### 冬季不同类型猪舍内颗粒物与微生物气溶胶浓度分布规律研究

黄凯, 唐倩, 沈丹, 戴鹏远, 刘俊泽, 李延森, 李春梅

农业环境科学学报. 2019, 38(7): 1616-1623 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1471>

#### 天津市家庭养殖环境中抗生素污染特征与风险评估

阮蓉, 张克强, 杜连柱, 丁工尧, 王素英, 支苏丽

农业环境科学学报. 2021, 40(1): 202-210 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0694>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李仲瀚, 张克强, 巴士迪, 等. 新型清粪系统猪舍热环境及有害气体监测与分析[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1808-1815.  
LI Z H, ZHANG K Q, BA S D, et al. Monitoring and analysis of thermal environment and harmful gas concentration in a piggery with a new manure cleaning system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(8): 1808-1815.



开放科学 OSID

# 新型清粪系统猪舍热环境及有害气体监测与分析

李仲瀚, 张克强, 巴士迪, 杨增军\*

(农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191)

**摘要:**为探究规模化猪场新型清粪系统猪舍内环境指标,获取有效的监测数据,并为改进新型清粪系统的舍内环境质量提供参考,本文选择规模化猪场—新型清粪系统猪舍为监测对象进行研究,对新型清粪系统猪舍内的热环境指标和有害气体浓度进行季节性监测,分析温、湿度和氨气、硫化氢浓度的季节性变化规律。监测结果表明:不同季节舍内温、湿度范围分别为14.7~31.8℃和62.7%~75.3%,全年平均值分别为(21.8±4.1)℃和69.2%±2.5%;氨气和硫化氢浓度范围分别为1.89~10.47 mg·m<sup>-3</sup>和0.59~1.39 mg·m<sup>-3</sup>,全年平均值分别为(5.48±2.12) mg·m<sup>-3</sup>和(0.86±0.17) mg·m<sup>-3</sup>。猪舍内温、湿度和有害气体浓度有明显的季节差异,有害气体浓度冬季最高,夏季最低,全年保持在适宜范围。研究表明,猪场采用新型清粪系统可维持适宜温、湿度并有效改善舍内有害气体浓度,为生猪的生长提供优良环境。

**关键词:** 畜禽舍; 监测; 热环境; 有害气体

中图分类号: X713; X831 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2022)08-1808-08 doi:10.11654/jaes.2021-1272

## Monitoring and analysis of thermal environment and harmful gas concentration in a piggery with a new manure cleaning system

LI Zhonghan, ZHANG Keqiang, BA Shidi, YANG Zengjun\*

(Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** In order to explore the environmental indicators, obtain effective monitoring data, and provide a reference for improving the environmental quality of a pig house with a new manure removing system in a large-scale farm, a piggery with a new type of manure removing system was selected as the research object in this study to conduct seasonal monitoring of the thermal environment indicators and harmful gas concentration and analyze the seasonal variation in temperature, humidity, and ammonia and hydrogen sulfide concentrations in the piggery with the new manure cleaning system. The monitoring results show that temperature and humidity ranges in different seasons were 14.7~31.8℃ and 62.7%~75.3%, with annual mean of (21.8±4.1)℃ and 69.2%±2.5%, respectively. Ammonia and hydrogen sulfide concentrations ranged from 1.89 mg·m<sup>-3</sup> to 10.47 mg·m<sup>-3</sup> and 0.59 mg·m<sup>-3</sup> to 1.39 mg·m<sup>-3</sup>, with annual mean of (5.48±2.12) mg·m<sup>-3</sup> and (0.86±0.17) mg·m<sup>-3</sup>, respectively. There were also seasonal variations in temperature, humidity, and harmful gas concentration in the pig house, with the highest harmful gas concentration in winter and the lowest in summer, and kept in the appropriate range throughout the year. It seems that the new manure cleaning system can maintain the appropriate temperature and humidity and effectively reduce harmful gas concentration in the piggery, which can provide a good environment for the growth of pigs.

**Keywords:** livestock house; online monitoring; thermal environment; toxic gases

收稿日期: 2021-11-04 录用日期: 2022-04-01

作者简介: 李仲瀚(1996—),男,黑龙江人,硕士研究生,从事畜禽废弃物处理与利用研究。E-mail: lzapple1996@163.com

\*通信作者: 杨增军 E-mail: environmental@foxmail.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0800100); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2019LM02-02); 天津市农业科技成果转化与推广项目“集约化猪舍粪污智能收运关键技术集成与示范”(202101040)

**Project supported:** The National Key Research and Development Program of China (2018YFD0800100); Special Funds for Fundamental Scientific Research Operation of Central-level Public Welfare Scientific Research Institutes (Y2019LM02-02); Transformation and Promotion Project of Agricultural Science and Technology Achievements in Tianjin (202101040)

我国是畜禽养殖大国,近30年来肉类产量居世界首位,随着畜禽养殖逐渐向集约化方向转变,高密度的集约化养殖模式导致了大气污染物的集中排放,畜禽养殖业已成为我国大气污染的主要来源<sup>[1-3]</sup>。畜禽舍是粪污产生的源头场所,舍内粪污的收运方式关系到气态污染物排放的底物基数,决定了污染物源头减排效果和动物福利,是影响“十四五”绿色高效养殖工厂创制成败的重要环节。目前主流的水泡粪工艺和干清粪工艺,都存在粪污舍内停留时间长、残留严重、收运过程扰动大等问题,这些问题导致舍内环节成为有害气体排放的“第一现场”,是我国打赢蓝天保卫战的重要整治目标。

舍内环境质量通常用热环境和有害气体等参数衡量<sup>[4]</sup>。热环境指标以温度和湿度为主,此外还包括热辐射、风速、大气压、光照等<sup>[5-6]</sup>。有害气体包括NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等,根据对环境的影响和职业卫生的要求,NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>S被认为是畜牧生产中最重要的污染物<sup>[7]</sup>。NH<sub>3</sub>主要来自于尿液中尿素的快速水解,是雾霾和气溶胶生成的重要影响因素,猪舍中的气溶胶会导致猪的呼吸不适,抑制生猪的采食和生长发育<sup>[8-9]</sup>。H<sub>2</sub>S主要来自于粪便的厌氧分解,即使是低浓度的H<sub>2</sub>S也具有强烈的气味和毒性,从而导致畜舍中的动物和工人出现健康问题<sup>[10]</sup>。欧美国家在畜禽养殖污染气体分析方法与手段和连续监测设备与方法等方面已取得了一定成果<sup>[11-13]</sup>。近年来,畜禽养殖污染气体研究在我国越来越受重视,随着计算机网络和气体传感器等技术在养殖环境监测中的研究逐渐深入,有害气体浓度测定方法、气体传感器

和数据记录与传输等方面都得到充分发展,进而为养殖环境监测和数据采集分析提供了更多途径和便利<sup>[14-16]</sup>。

畜禽舍内的热环境和有害气体指标在一天24 h内以及不同季节间均有变化,需长期连续监测来获取真实、有效的数据。为了掌握采用新型清粪系统的猪舍内部环境的变化规律,本研究基于无线传感器环境监测设备,对不同季节的猪舍进行每个季节连续7 d的监测,测量猪舍内的温、湿度,以及NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>S浓度,以期掌握新型清粪系统猪舍内部的环境特征,为优化猪舍内清粪系统、改善猪舍的内部环境提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验猪舍及饲养管理

本研究在天津市西青区益利来养殖公司进行,养殖场位于天津市西青区杨柳青镇。试验选取育肥舍,猪舍南北朝向,靠南北墙分别布置两列猪栏,中间有1 m宽过道,每侧各有栏位6个,采用半漏缝地板结构。试验前对猪舍进行粪污快速分离收运系统安装改造,工作原理如图1所示,生猪排泄的粪尿经过漏粪地板掉落到具有相分离功能的带式输送系统,尿液等液态物质经过滤后落入分离输送机下部的接液槽体,而干粪留在输送带上部并运送到指定处理设施,实现粪污的舍内原位过滤式重力分离和粪尿的分类收集。相比传统清粪方式,该系统能在粪污产生的同时完成粪尿分离,减少粪尿共存时间,从而减少有害气体的产生;输送带能降低清粪时的扰动,平稳、及时

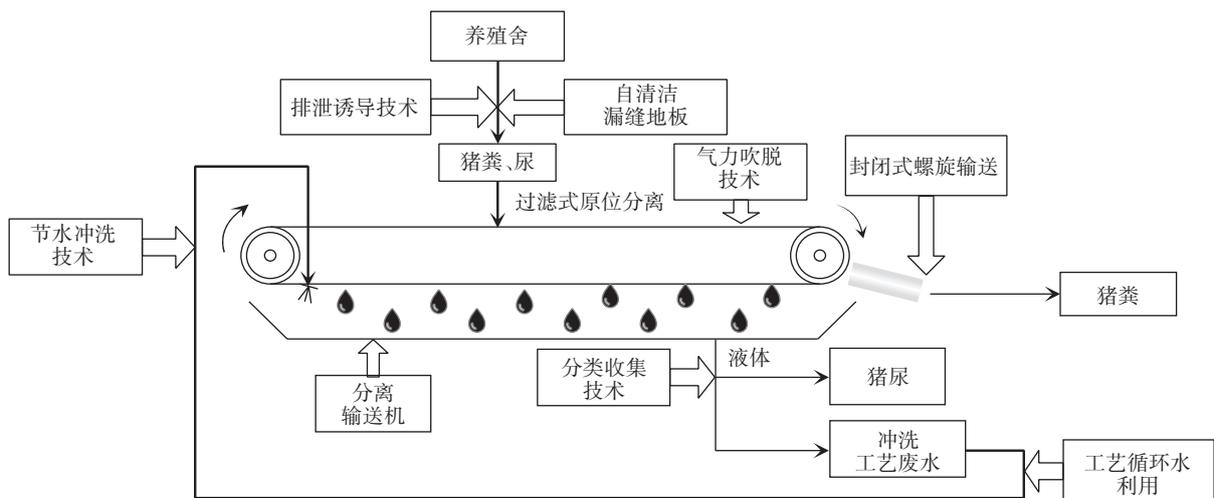


图1 基于漏缝地板的粪污快速分离收运系统工作原理图

Figure 1 The technical diagram of the rapid manure collection and transportation system based on slatted floor

地将粪便运出舍内,减少舍内粪污的基数和停留时间,从而减少有害气体的产量。猪舍改造完成后进行消毒处理,试验期间猪舍统一管理,生猪自由采食、饮水,饲料为生长猪全价饲料,每日 10:00 和 16:00 运行设备进行清粪。

### 1.2 猪舍热环境和有害气体浓度检测方法

本试验于一年中的每个季节各连续监测 7 d,春季为 2020 年 4 月 13 日—19 日,夏季为 2020 年 7 月 15 日—21 日,秋季为 2020 年 10 月 11 日—17 日,冬季为 2019 年 12 月 24 日—30 日。监测指标包括温度、湿度、NH<sub>3</sub> 浓度以及 H<sub>2</sub>S 浓度。采用由农业农村部环境保护科研监测所养殖业污染防治创新团队研发的多组分气体原位在线监测设备进行检测,设备经校准标定后使用,主要指标如表 1 所示。箱体置于猪舍中央进行实时监测,数据每 5 min 记录并上传一次。

表 1 监测箱参数指标

Table 1 The parameter indicators of monitoring box

检测指标 Detection index	检测原理 Testing principle	主要性能参数 Main performance parameters
NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	电化学法	量程:0~75.89 mg·m <sup>-3</sup> 精度:0.38 mg·m <sup>-3</sup>
H <sub>2</sub> S 浓度 H <sub>2</sub> S concentration	电化学法	量程:0~151.79 mg·m <sup>-3</sup> 精度:0.76 mg·m <sup>-3</sup>
温度 Temperature	热电法	量程:-40~80 ℃ 精度:0.1 ℃
相对湿度 Relative humidity	湿敏法	量程:0~100% 精度:0.1%

### 1.3 数据处理与分析

记录的气体数据需要剔除因传感器故障(断电、电磁波影响)而出现的异常数据,并计算出小时平均值、最大值和最小值。统计分析和图表制作均基于小时平均值。采用 Excel 2019 软件处理数据,Origin 2018 软件制图,采用 SPSS 25 软件进行方差分析,并进行显著性检验。

## 2 结果与讨论

不同季节舍内平均温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、H<sub>2</sub>S 浓度见表 2。各季节温度差异明显,夏季温度最高,冬季温度最低,秋季平均温度显著高于春季( $P<0.05$ ),各季节平均温度基本在生猪所需正常范围之内;各季节舍内平均湿度差异明显,冬季显著高于秋季、春季和夏季( $P<0.05$ )。舍内 NH<sub>3</sub> 浓度变化较大,夏季由于长时间通风,舍内的 NH<sub>3</sub> 浓度显著低于其余三季( $P<0.05$ ),而冬季为了保证舍内温度,通风时间有限,导致 NH<sub>3</sub> 在舍内累计浓度显著高于其余季节;H<sub>2</sub>S 浓度与 NH<sub>3</sub> 浓度的变化趋势基本一致,夏季最低,冬季最高,春秋两季差异不显著。

### 2.1 舍内温、湿度

猪舍温度小时平均值变化和季节变化如图 2a 和表 3 所示,各季节连续 7 d 的温度日变化规律基本相同,主要随外界温度的变化而改变,呈先上升后下降的趋势。全年猪舍的年平均温度为(21.8±4.1) ℃,猪舍的最低温度和最高温度分别为 14.8 ℃和 31.5 ℃;春季平均温度为(21.1±1.9) ℃,夏季平均温度为(27.2±2.2) ℃,秋季平均温度为(21.9±1.6) ℃,冬季平均温度为(16.6±0.9) ℃,冬季舍内温度显著低于其他三季。根据国家标准,生猪的适宜生长温度在 20~25 ℃之间,最低临界值为 16 ℃,最高则为 28 ℃。夏季午后因外界温度过高会导致舍内温度超过临界值,冬季清晨也有部分时间温度过低,导致舍内温度低于最低临界值,监测数据显示超过 28 ℃和低于 16 ℃的时间分别占总时间的 19% 和 16%,因此,需要对舍内温度的调节开展进一步研究。彭红芳<sup>[17]</sup>对不同季节水泡粪猪舍的环境温度进行监测,发现夏季的舍内温度为(27.9±2.7) ℃,冬季的舍内温度为(21.1±1.8) ℃,两季节舍内的环境温度差异极显著,而全年温度范围在 18~27 ℃之间;阮蓉丹等<sup>[18]</sup>对机械清粪方式下猪舍内的环境指标进行研究,结果显示夏季猪舍内的温度为

表 2 不同季节猪舍内温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、H<sub>2</sub>S 浓度变化

Table 2 Changes of temperature, relative humidity, NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S concentrations in pig house in different seasons

环境指标 Environmental index	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
平均温度 Average temperature/℃	21.1±1.9c	27.2±2.2a	21.9±1.6b	16.6±0.9d
平均相对湿度 Average relative humidity/%	68.2±3.7c	67.4±4.1d	68.9±3.1b	71.9±4.4a
平均 NH <sub>3</sub> 浓度 Average NH <sub>3</sub> concentration/(mg·m <sup>-3</sup> )	5.37±0.98b	2.71±0.56c	5.57±0.67b	8.28±1.21a
平均 H <sub>2</sub> S 浓度 Average H <sub>2</sub> S concentration/(mg·m <sup>-3</sup> )	0.82±0.11b	0.69±0.19c	0.79±0.13b	1.12±0.25a

注:同行中不同字母表示季节间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different letters in the same line indicate significant differences among seasons ( $P<0.05$ ).

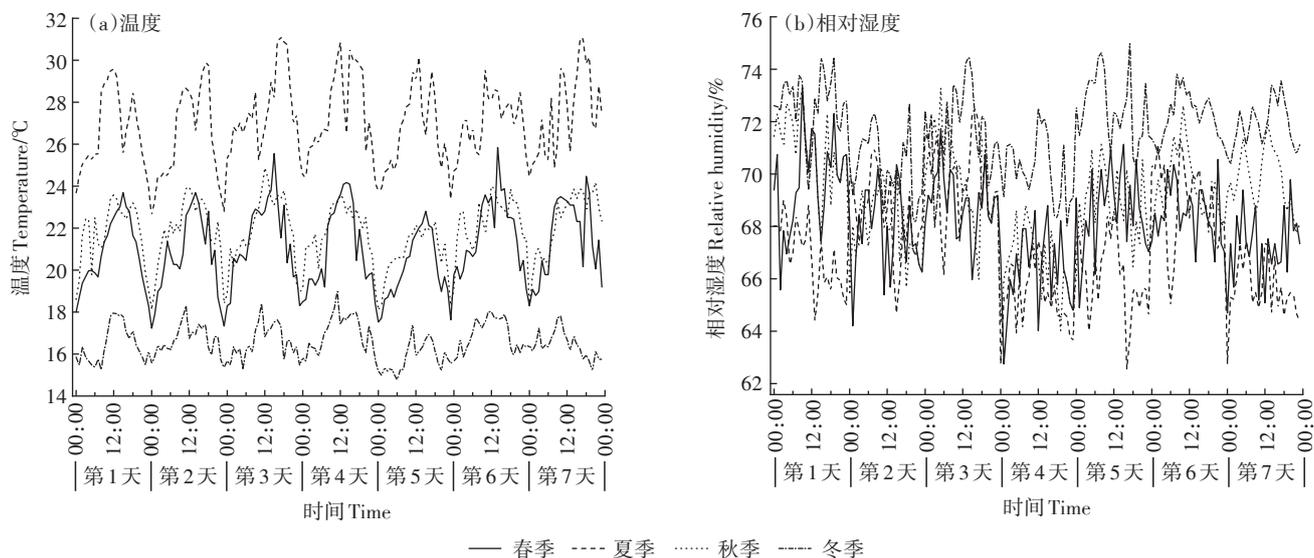


图2 不同季节猪舍内温、湿度小时变化规律

Figure 2 Hourly variation of temperature and relative humidity in pig house in different seasons

表3 不同季节猪舍内温度和相对湿度监测数据

Table 3 Monitoring data of temperature and relative humidity in pig house in different seasons

环境指标 Environmental index	季节 Season	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	最大差值 Max difference
温度 Temperature/°C	春季 Spring	17.3	25.8	21.1±1.9c	8.5
	夏季 Summer	22.8	31.5	27.2±2.2a	8.7
	秋季 Autumn	18.2	25.1	21.9±1.6b	6.9
	冬季 Winter	14.8	19.1	16.6±0.9d	4.3
相对湿度 Relative humidity/%	春季 Spring	62.7	73.5	68.2±3.7c	10.8
	夏季 Summer	62.5	72.1	67.4±4.1d	9.6
	秋季 Autumn	64.1	73.4	68.9±3.1b	9.3
	冬季 Winter	68.0	75.3	71.9±4.4a	7.3

注:同列中不同字母表示季节间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences among seasons ( $P<0.05$ ). The same below.

( $28.84\pm 0.06$ ) °C;赵许可<sup>[19]</sup>对人工清粪和输送带式机械清粪猪舍的环境指标进行研究,发现冬季人工清粪猪舍的温度为( $19.47\pm 0.51$ ) °C,机械清粪猪舍的温度为( $21.03\pm 0.49$ ) °C。上述研究与本研究得到的温度监测结果基本一致,不同清粪方式和所处地区不同都会导致舍内温度出现差异:相比干清粪方式,水泡粪猪舍会存留大量粪污和处理用水,而水的比热容较大,导致舍内温度相对较高;机械清粪猪舍内温度相对一致;本研究在天津开展,冬季气温较低,而赵许可<sup>[19]</sup>的研究在浙江进行,试验时外界温度较高,地域的环境温度不同是舍内温度出现差异的主要原因。

猪舍相对湿度小时平均值变化和季节变化如图2b和表3所示,相对湿度随猪舍清洗和集中排泄后的水分增加而升高,各季节变化没有明显规律。从表3

可以看出,舍内全年相对湿度平均值为 $69.2\%\pm 2.5\%$ ,春季为 $68.2\%\pm 3.7\%$ ,夏季为 $67.4\%\pm 4.1\%$ ,秋季为 $68.9\%\pm 3.1\%$ ,冬季为 $71.9\%\pm 4.4\%$ 。夏季温度升高,生猪因饮水和降温需求的增加导致舍内相对湿度变化较大;冬季因保暖需要通风较少,故舍内的相对湿度稳定在较高值,显著高于其他季节。育肥猪适宜的相对湿度范围为 $60\%\sim 70\%$ ,低于 $50\%$ 或高于 $80\%$ 则超过相对湿度的临界值。从监测数据看,试验期间猪舍相对湿度均在 $60\%$ 以上,有 $38\%$ 的时间相对湿度高于 $70\%$ ,超出畜禽舒适范围的环境相对湿度会导致畜禽在温度较高时无法散热,体温过高会影响自身代谢,对畜禽的饲料转化和日增重有负面影响<sup>[20]</sup>。BANHAZI<sup>[21]</sup>发现相比于通风量,平均 $\text{NH}_3$ 浓度和相对湿度的关系更密切,故需要加强对猪舍相对湿度的管

理从而控制舍内平均 $\text{NH}_3$ 浓度。赵许可<sup>[19]</sup>对机械清粪猪舍的相对湿度进行监测,发现平均湿度为 $66.70\% \pm 2.71\%$ ;代小蓉等<sup>[22]</sup>对人工清粪猪舍的环境指标进行监测,发现1 a内猪舍的平均相对湿度为 $71.4\% \pm 11.7\%$ ,与本研究结果基本相符。赵许可<sup>[19]</sup>研究发现水泡粪猪舍夏季的平均湿度为 $73.81\% \pm 0.68\%$ ,冬季的平均湿度为 $80.16\% \pm 1.06\%$ ,因水泡粪猪舍工艺处理需要,舍内存留大量污水导致湿度较高,而本研究中新型清粪系统采用节水冲洗技术和粪尿分类收集工艺,清洁用水少且尿液在产生后即流出舍内,因此能有效控制舍内的相对湿度。

## 2.2 舍内 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 浓度

猪舍每个季节连续7 d的平均 $\text{NH}_3$ 浓度变化规律如图3a所示。总体而言,4个季节舍内 $\text{NH}_3$ 浓度日变化均呈现出先上升后下降的趋势,夏季显著低于其余3个季节,各季节最大值均出现在温度较高的10:00—17:00,而最小值则出现在凌晨。原因是猪群在白天进食多、活动剧烈,高新陈代谢的同时增加了排泄活动,粪污排放增加导致分解产生的 $\text{NH}_3$ 增多,故舍内的 $\text{NH}_3$ 浓度比夜间高。 $\text{NH}_3$ 浓度的季节变化如图4a所示,各季节差异显著,夏季舍内的 $\text{NH}_3$ 浓度最低,春季和秋季的舍内 $\text{NH}_3$ 浓度较高,而冬季的舍内 $\text{NH}_3$ 浓度最高,主要原因是猪舍内 $\text{NH}_3$ 大部分来自于生猪排泄的粪污中的尿素在脲酶催化作用下的分解,SAHA等<sup>[23]</sup>发现温度升高使得脲酶活性增强,尿素分解速率增加。春、秋季温度适中,基本采用自然通风;夏季高温但通常会加强舍内通风,及时排出有害气体,故夏季

舍内 $\text{NH}_3$ 浓度比春、秋季低;而寒冷冬季舍内因保温需要,猪舍通风时间极短甚至不通风,导致粪尿分解产生的大量 $\text{NH}_3$ 在舍内蓄积,因此浓度显著高于其他季节。RODRIGUEZ等<sup>[24]</sup>研究了温度对平均 $\text{NH}_3$ 浓度的影响,发现当温度从 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 下降至 $23\text{ }^\circ\text{C}$ 时,平均 $\text{NH}_3$ 浓度由 $2.88\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 下降至 $0.23\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,且该研究排除了通风的影响,可见 $\text{NH}_3$ 浓度随温度变化趋势明显。

对表4的监测数据分析发现,全年舍内的平均 $\text{NH}_3$ 浓度为 $(5.48 \pm 2.12)\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最高浓度达 $10.47\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最低浓度为 $1.89\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。有研究发现人工干清粪猪舍<sup>[22]</sup>、机械干清粪猪舍<sup>[25]</sup>和水泡粪猪舍<sup>[26]</sup>的舍内平均 $\text{NH}_3$ 浓度分别为 $22.18$ 、 $9.33\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $10.90\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,新型清粪系统猪舍相比上述研究舍内 $\text{NH}_3$ 浓度分别降低 $75.3\%$ 、 $41.3\%$ 和 $49.7\%$ 。通风时间对舍内 $\text{NH}_3$ 浓度影响很大,增加通风时间会加速舍内有害气体进入大气,还会促进粪污分解释放有害气体<sup>[8]</sup>。在本研究中,猪舍内仅安装一台风机且通风时间较短,相比其他研究通过增加通风时间来改善舍内环境,减少了对大气环境的污染。畜舍内的环境标准要求 $\text{NH}_3$ 浓度应小于 $20\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,且舍内平均 $\text{NH}_3$ 浓度在 $8\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下对畜禽生长更有利,本研究猪舍仅冬季部分时间超出适宜范围,基本能满足畜禽健康生长的环境要求。

图3b为每个季节连续7 d舍内 $\text{H}_2\text{S}$ 平均浓度变化。与 $\text{NH}_3$ 不同, $\text{H}_2\text{S}$ 浓度并未出现明显的日变化规律,但其变化更频繁,瞬时浓度差更大。NI等<sup>[27]</sup>认为 $\text{H}_2\text{S}$ 气体在水中的溶解度很低,导致过饱和的 $\text{H}_2\text{S}$ 气

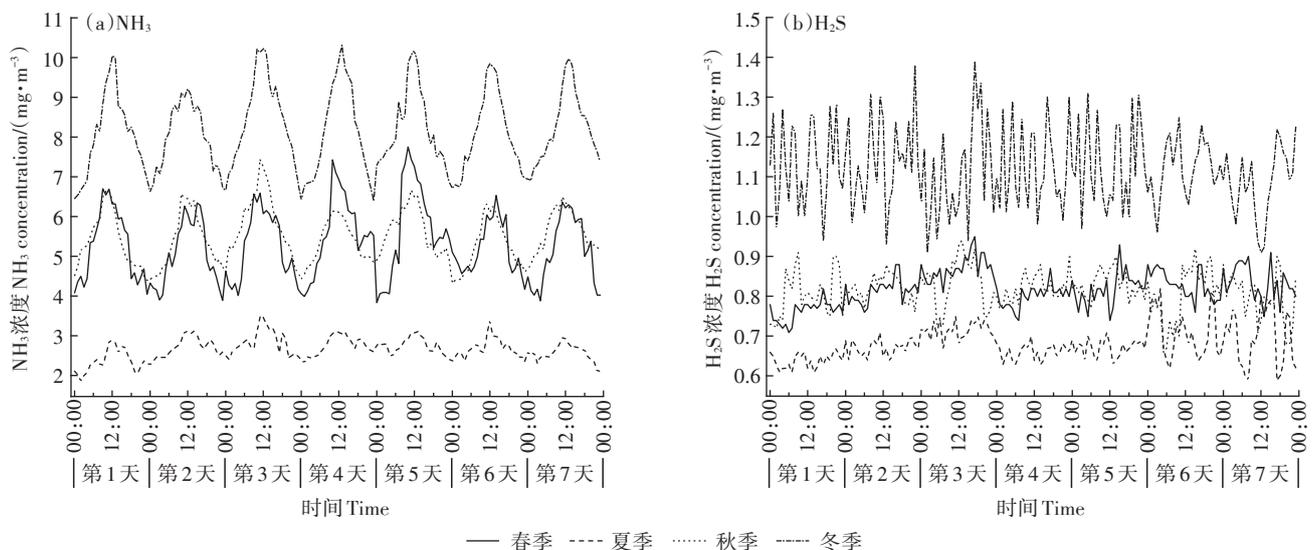


图3 不同季节猪舍内 $\text{NH}_3$ 和 $\text{H}_2\text{S}$ 浓度小时变化规律

Figure 3 Hourly variation of  $\text{NH}_3$  and  $\text{H}_2\text{S}$  concentrations in pig house in different seasons

体以气泡形式停留在粪污中,当达到一定浓度或被干扰就会释放出 $H_2S$ 气体,导致舍内 $H_2S$ 浓度在短时间内产生巨大变化。这种原理对舍内长期停留液态粪污的水泡粪工艺可以做出解释,而本研究的猪舍每天清理两次粪污,不存在长期储放的液态粪污,舍内 $H_2S$ 浓度剧烈变化可能是生猪踩踏粪便等其他因素造成的;FETRA等<sup>[28]</sup>研究发现粪污中 $H_2S$ 的形成和释放会受到温度的影响,因为粪污中含硫有机化合物的分解依赖酶的作用,因此 $H_2S$ 浓度的瞬时变化可能与局部温度的升高有关。

舍内 $H_2S$ 浓度的季节变化如图4b所示,全年平均浓度为 $(0.86\pm 0.17)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。研究发现人工干清粪猪舍<sup>[22]</sup>、机械干清粪<sup>[25]</sup>和水泡粪猪舍<sup>[26]</sup>的舍内平均 $H_2S$ 浓度分别为 $7.87$ 、 $2.13\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $8.20\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,新型清粪系统猪舍相比上述研究舍内 $H_2S$ 浓度分别降低 $89.1\%$ 、 $59.6\%$ 和 $89.5\%$ 。如表4所示,冬季舍内的平均 $H_2S$ 浓度最高,达到 $(1.12\pm 0.25)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,夏季的舍内平均 $H_2S$ 浓度最低,仅 $(0.69\pm 0.19)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,春、秋两季的浓度相差较小,只略高于夏季。冬季舍内 $H_2S$ 浓度较高的原因可能是清粪频率减少,舍内的粪污比其

他季节储存量大、停留时间长,加之因保温需求通风量减小,使得 $H_2S$ 在舍内蓄积。本研究猪舍的平均 $H_2S$ 浓度为 $0.86\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,远低于规模化猪舍环境标准的国家要求( $<10\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),能满足畜禽健康生长的需要。

本试验猪舍的舍内 $NH_3$ 和 $H_2S$ 浓度均低于国家标准,舍内温、湿度大部分时间均保持在适宜生猪生长的范围内。冬季舍内的两种有害气体浓度显著高于夏季,也高于春、秋两季,可能是舍内温度和通风量造成的。夏季外界温度较高,为保证舍内的环境温度适宜畜禽生长,需要加大通风时长,在降温的同时也会将舍内的有害气体排出畜舍,在保持温、湿度的同时降低了舍内 $NH_3$ 、 $H_2S$ 的浓度;而冬季舍外寒冷,需要保证舍内的温暖环境,减少不必要的通风换气,仅在温度较高或舍内有害气体浓度过高时才开启风机,造成舍内有害气体的积累,较高的 $NH_3$ 和 $H_2S$ 浓度会对畜禽的健康生长产生不利影响,故封闭式猪舍应改进通风和保温措施,以保障动物福利。

朱志平等<sup>[29]</sup>对猪舍的 $NH_3$ 排放规律进行了研究,发现冬季舍内的 $NH_3$ 浓度显著高于夏季,季节差异明显,与本研究结果一致。伍清林等<sup>[30]</sup>对采用干清粪方

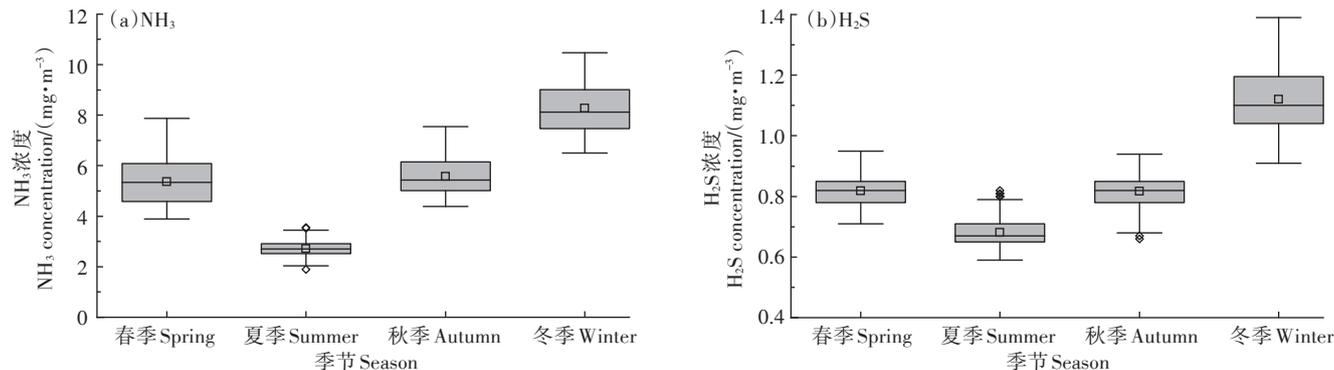


图4 不同季节猪舍内 $NH_3$ 和 $H_2S$ 浓度变化规律

Figure 4 Variation of  $NH_3$  and  $H_2S$  concentrations in pig house in different seasons

表4 不同季节猪舍内 $NH_3$ 和 $H_2S$ 浓度监测数据( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Table 4 Monitoring data of  $NH_3$  and  $H_2S$  concentrations in pig house in different seasons( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

环境指标 Environmental index	季节 Season	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	最大差值 Max difference
$NH_3$	春季 Spring	3.89	7.87	$5.37\pm 0.98\text{b}$	3.98
	夏季 Summer	1.89	3.55	$2.71\pm 0.56\text{c}$	1.66
	秋季 Autumn	4.39	7.55	$5.57\pm 0.67\text{b}$	3.16
	冬季 Winter	6.50	10.47	$8.28\pm 1.21\text{a}$	3.97
$H_2S$	春季 Spring	0.71	0.95	$0.82\pm 0.11\text{b}$	0.24
	夏季 Summer	0.59	0.81	$0.69\pm 0.19\text{c}$	0.22
	秋季 Autumn	0.66	0.94	$0.79\pm 0.13\text{b}$	0.28
	冬季 Winter	0.91	1.39	$1.12\pm 0.25\text{a}$	0.48

式的规模化猪场哺乳仔猪舍、保育猪舍和生长育肥猪舍的各季节舍内空气质量变化进行研究,结果表明舍内  $\text{NH}_3$  浓度在  $9.67\sim 12.74 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  之间,  $\text{H}_2\text{S}$  浓度在  $1.95\sim 2.81 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  之间,  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  浓度均高于本研究,原因可能是粪污清运不及时,粪尿在舍内长时间混合停留导致有害气体大量产生,且在清运时扰动粪污也会加速有害气体的生成,故舍内  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  浓度高于本研究。PETIT 等<sup>[31]</sup>的研究表明较高水平的膳食蛋白质水平会使新鲜粪便和尿液中的总氮浓度升高,从而导致尿素分解产生的  $\text{NH}_3$  浓度快速上升;HEBER 等<sup>[32]</sup>研究发现如果养殖用水中的硫含量较高,则会显著增加  $\text{H}_2\text{S}$  从粪污中的释放,导致舍内有害气体浓度增加。综合各研究可以发现,舍内温度、湿度、通风时间、粪污停留时间、源排放强度、饲料和用水等因素都是影响  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  浓度变化的重要因素。

### 3 结论

(1)本研究猪舍内的温度范围为  $14.7\sim 31.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,有 19% 和 16% 的时间在最高和最低临界温度范围之外;相对湿度的范围为  $62.7\%\sim 75.3\%$ ,有 38% 的时间超出最适相对湿度范围。相比传统清粪工艺,新型清粪系统对舍内温、湿度的控制有一定效果。

(2)猪舍内全年平均  $\text{NH}_3$  浓度为  $5.48 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最高浓度在夏季,最低浓度出现在冬季。各季节最大值均出现在午后,而最小值则出现在凌晨。猪舍全年的平均  $\text{H}_2\text{S}$  浓度为  $0.86 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,冬季的平均  $\text{H}_2\text{S}$  浓度最高,而夏季的最低。试验期间新型清粪系统猪舍内的  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  浓度均低于国家标准,也低于其他传统清粪工艺。

(3)在新型清粪系统猪舍内,温度和相对湿度基本都控制在适宜范围内,减少了  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  的产生,使舍内  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$  浓度保持在较低范围,表明该系统能为生猪养殖提供适宜的舍内环境。

#### 参考文献:

[1] 高定, 陈同斌, 刘斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 311-319. GAO D, CHEN T B, LIU B, et al. Releases of pollutants from poultry manure in China and recommended strategies for the pollution prevention[J]. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 311-319.

[2] LI F, CHENG S, YU H, et al. Waste from livestock and poultry breeding and its potential assessment of biogas energy in rural China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 126: 451-460.

[3] MARTINEZ J, DABERT P, BARRINGTON S, et al. Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustain-

ability[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22): 5527-5536.

[4] 高云, 刁亚萍, 林长光, 等. 机械通风楼房猪舍热环境及有害气体监测与分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 239-247. GAO Y, DIAO Y P, LIN C G, et al. Monitoring and analysis of thermal environment and harmful gases in mechanically ventilated multistory pig buildings[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(4): 239-247.

[5] MENEGASSI S, PEREIRA G R, BREMM C, et al. Effects of ambient air temperature, humidity, and wind speed on seminal traits in Braford and Nelore bulls at the Brazilian Pantanal[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2016, 60: 1787-1794.

[6] VALIPOUR M. Importance of solar radiation, temperature, relative humidity, and wind speed for calculation of reference evapotranspiration[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2014, 61(2): 239-255.

[7] BERCKMANS D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems[J]. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 2014, 33(1): 189-196.

[8] HEYDEN C, DEMEYER P, VOLCKE E. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives[J]. *Biosystems Engineering*, 2015, 134: 74-93.

[9] HRISTOV A N. Contribution of ammonia emitted from livestock to atmospheric fine particulate matter ( $\text{PM}_{2.5}$ ) in the United States[J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 94(6): 3130-3136.

[10] RIEDEL S M, FIELD W E. Summation of the frequency, severity, and primary causative factors associated with injuries and fatalities involving confined spaces in agriculture[J]. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 2013, 19(2): 83-100.

[11] KEENER H M, ZHAO L. A modified mass balance method for predicting  $\text{NH}_3$  emissions from manure N for livestock and storage facilities[J]. *Biosystems Engineering*, 2008, 99(1): 81-87.

[12] SAMER M, LOEBESIN C, FIEDLER M, et al. Heat balance and tracer gas technique for airflow rates measurement and gaseous emissions quantification in naturally ventilated livestock buildings[J]. *Energy and Buildings*, 2011, 43(12): 3718-3728.

[13] STINN J P, XIN H, SHEPHERD T A, et al. Ammonia and greenhouse gas emissions from a modern U. S. swine breeding-gestation-farrowing system[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, 98: 620-628.

[14] 朱伟兴, 戴陈云, 黄鹏. 基于物联网的保育猪舍环境监控系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 177-182. ZHU W X, DAI C Y, HUANG P. Environmental control system based on IOT for nursery pig house[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(11): 177-182.

[15] HWANG J, YOE H. Study of the ubiquitous hog farm system using wireless sensor networks for environmental monitoring and facilities control[J]. *Sensors*, 2010, 10(12): 10752-10777.

[16] ZHU H, LI S, ZHENG L M, et al. Modeling and validation on path loss of WSN in pig breeding farm[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(2): 205-212.

[17] 彭红芳. 不同季节不同类型猪舍环境参数监测及对仔猪生产性能影响的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015: 13-16. PENG H F.

- Monitoring of the environmental parameter of different seasons and different types pig house and the effect on the production performance of piglets[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2015: 13-16.
- [18] 阮蓉丹, 曾雅琼, 蒲施桦, 等. 不同机械干清粪频次对生长猪舍内环境和粪污排放的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(8): 126-131. RUAN R D, ZENG Y Q, PU S H, et al. Effects of different mechanical dry dung cleaning frequency on the environment and manure discharge in growing pig houses[J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry*, 2019, 55(8): 126-131.
- [19] 赵许可. 规模猪场不同清粪方式对猪生产性能、舍内环境、粪污排放的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 43-45. ZHAO X K. Effects of different manure desludging methods on pig production performance, piggery environment, manure emissions in scale pig farm[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014: 37-43.
- [20] HUYNH T T T, AARNINK A J A, VERSTEGEN M W A, et al. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities[J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(6): 1385-1396.
- [21] BANHAZI T M. Seasonal, diurnal and spatial variations of environmental variables in Australian livestock buildings[J]. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 2013, 10(1): 60-69.
- [22] 代小蓉, NI J Q, 潘乔纳, 等. 华东地区典型保育猪舍温湿度和空气质量监测[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 315-322. DAI X R, NI J Q, PAN Q N, et al. Monitoring of temperature, humidity and air quality inside pig weaner house in eastern China[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(7): 315-322.
- [23] SAHA C K, AMMON C, BERG W, et al. Seasonal and diel variations of ammonia and methane emissions from a naturally ventilated dairy building and the associated factors influencing emissions[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 468/469: 53-62.
- [24] RODRIGUEZ M R, LOSADA E, BESTEIRO R, et al. Evolution of NH<sub>3</sub> concentrations in weaner pig buildings based on setpoint temperature[J]. *Agronomy*, 2020, 10(1): 107.
- [25] PREDICALA B Z, CORTUS E L, LEMAY S P, et al. Effectiveness of a manure scraper system for reducing concentrations of hydrogen sulfide and ammonia in a swine grower-finisher room[J]. *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(3): 999-1006.
- [26] 莫少春, 俸祥仁, 赵武, 等. 不同清粪工艺对养猪环境影响研究[J]. 中国畜禽种业, 2018, 14(2): 111-113. MO S C, FENG X R, ZHAO W, et al. Effects of different manure removal processes on pig environment[J]. *Chinese Livestock and Poultry Seed Industry*, 2018, 14(8): 111-113.
- [27] NI J Q, HEBER A J, SUTTON A L, et al. Mechanisms of gas releases from swine wastes[J]. *Transactions of the ASABE*, 2009, 52(6): 2013-2025.
- [28] FETRA J, YUSHI S, TAKAKI Y, et al. The seasonal effects of manure management and feeding strategies on hydrogen sulphide emissions from stored dairy manure[J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2017, 19(3): 1253-1260.
- [29] 朱志平, 康国虎, 董红敏, 等. 垫料型猪舍春夏育肥季节的氨气和温室气体状况测试[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 356-361. ZHU Z P, KANG G H, DONG H M, et al. Measurement of ammonia and GHGs concentration of hoop structure barn for finishing pigs in summer and spring season[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2011, 32(3): 356-361.
- [30] 伍清林, 金兰梅, 周玲玲, 等. 规模化猪场舍内外空气质量变化的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(11): 220-225. WU Q L, JIN L M, ZHOU L L, et al. Study on the air quality inside and outside the scaled pig farm[J]. *Chinese Animal Husbandry and Veterinarian*, 2012, 39(11): 220-225.
- [31] PETIT H V, IVAN M, MIR P S. Effects of flaxseed on protein requirements and N excretion of dairy cows fed diets with two protein concentrations[J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(5): 1755-1764.
- [32] HEBER A J, NI J Q, TENG T L, et al. Quality assured measurements of animal building emissions: Gas concentrations[J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2006, 56(10): 1472-1483.

(责任编辑: 宋潇)