

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.01.031

不同地面结构的育肥猪舍 NH₃ 排放系数^{*}

汪开英¹ 代小蓉¹ 李震宇² 魏 波¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 浙江省环境监测中心, 杭州 310012)

【摘要】 NH₃ 排放系数是对规模化养殖场 NH₃ 排放量估算、NH₃ 减排方法与技术应用效果评估的有效方法之一。通过在模拟实际生产动物人工气候室对 3 种不同地面结构的育肥猪舍 NH₃ 排放相关数据的连续在线检测, 研究了不同地面类型猪舍内 NH₃ 排放与主要影响因子的相关性及其排放系数。研究得出半缝隙地面猪舍、实心地面猪舍、生物发酵床猪舍内 NH₃ 排放系数分别为: (9.47 ± 7.09)、(11.23 ± 4.23)、(4.27 ± 2.09) g/(d·pig)。

关键词: 育肥猪舍 氨气 排放系数 地面结构 生物发酵床

中图分类号: X506; S851.2⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)01-0163-04

NH₃ Emission Factors of Fattening Pig Buildings with Different Floor Systems

Wang Kaiying¹ Dai Xiaorong¹ Li Zhenyu² Wei Bo¹

(1. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China
2. Zhejiang Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310012, China)

Abstract

Ammonia (NH₃) and other air pollution emissions from concentrated animal feeding operations (CAFOs) are becoming more and more serious with the rapid development of livestock and poultry production in recent years. The ammonia emission factor is one of the effective methods for estimating ammonia emissions from CAFOs and evaluating of emission reduction technologies. A continual monitoring system of the NH₃ concentration and environmental parameters is used in this research, and the ammonia emission factors and impact factors of the three types of floor systems in the pig buildings are studied. Mean daily emissions per pig fattened on the semi-slatted floor system, concrete floor system, and deep-litter system are (9.47 ± 7.09), (11.23 ± 4.23), (4.27 ± 2.09) g/(d · pig), respectively.

Key words Fattening pig buildings, NH₃, Emission factors, Floor systems, Deep-litter system

引言

欧美国家于上世纪 80 年代就开始了 NH₃ 排放影响因子、排放系数、排放模型以及扩散模型的研究。对于 NH₃ 排放系数欧美进行了大量研究,如欧盟推荐 NH₃ 排放系数为 17.5 g/(d·pig)^[1],并用 NH₃ 排放系数估算规模养殖场 NH₃ 排放总量和评估各种 NH₃ 减排技术的应用效果。本文通过对我国规模化养猪场所采用的 3 种主要地面类型的育肥猪舍 NH₃ 排放相关数据的连续在线检测,研究不同

地面结构的育肥猪舍 NH₃ 的排放与影响因子的相关性及其排放系数。

1 试验材料与方法

1.1 试验猪舍

试验在农业部生态农业环境工程与智能化设备重点开放实验室的动物人工气候室的 3 种不同地面结构的猪舍(104 半缝隙地面、103 实心地面、102 生物发酵床,如图 1 所示)进行,猪舍可根据外界温度变化采用机械通风、自然通风或两者结合,本试验期间猪舍全天采用自然通风方式。

收稿日期: 2009-06-26 修回日期: 2009-08-17
^{*} 国家自然科学基金资助项目(30571357)
作者简介: 汪开英,副教授,主要从事畜禽养殖环境工程研究,E-mail: zjuwky@zju.edu.cn

1.2 饲养方式与猪舍日常管理

育成育肥猪从 25 kg 饲养到 95 kg 左右,采用自由采食自由饮水;清粪方式根据当前浙江省规模化养猪场养殖模式:舍内每天定时(8:00~9:00 之间,16:30~17:30 之间)干清粪两次,夏季不定期进行水冲洗,秋、冬季不冲洗。

1.3 NH₃ 的检测方法

试验研究时间为 8 月中旬至 12 月中旬,于

2008 年 10 月中旬至 11 月底应用 NH₃ 自动检测系统、环境(温、湿度)自动检测系统,对 3 个猪舍内外的 NH₃ 浓度、温湿度进行连续在线检测。试验前期的检测表明,将氨气检测仪(CGD-I-1NH₃ 型)、温湿度探头(ZDR-20 型)设置为试验猪舍内近排风口的离地 1.5 m 处能基本代表猪舍排风口附近的 NH₃ 浓度及温湿度数值,同时这也是人体的呼吸高度,舍外传感器安装于猪舍进风口处。

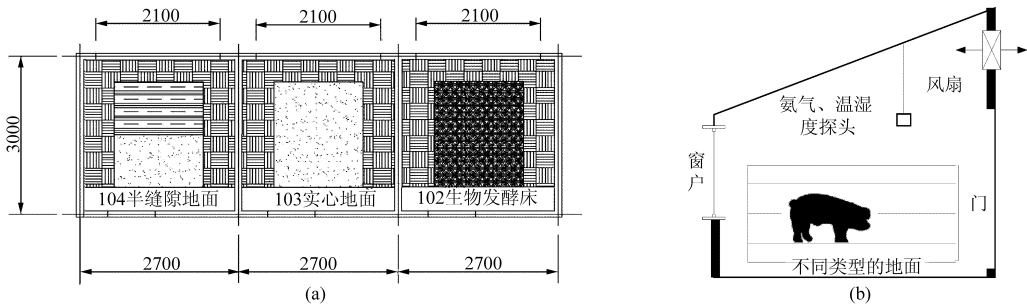


图 1 试验猪舍地面类型及剖面结构示意图
Fig. 1 Floor types and construction of the animal artificial climate chamber

2 结果分析与讨论

2.1 NH₃ 浓度与影响因子相关性

2.1.1 地面类型

表 1 为试验研究期间所得连续检测的有效 NH₃ 浓度平均值(10 月 17 日至 11 月 27 日),图 2 表示了试验期间不同地面类型猪舍内 24 h 连续检测值的 NH₃ 浓度日平均值变化趋势。其中,103 水泥实心地面舍内 NH₃ 浓度一直较高,而 104 半缝隙地面舍内浓度随着时间的推移不断上升,这与漏缝地面下粪便残留不断累积有关。102 生物发酵床猪舍的 NH₃ 浓度总体呈下降趋势,在试验前期浓度较半缝隙地面舍高,生物发酵床猪舍使用约 2 个月(8 月中旬至 10 月中旬)后,NH₃ 浓度明显下降,这可能是发酵床微生物活性增强,从而对 NH₃ 挥发减排效果增加。

表 1 不同类型地面猪舍 NH₃ 平均浓度
Tab.1 Average ammonia concentrations in pig buildings with different floor systems

采样点	NH ₃ 平均浓度/mg·m ⁻³
104 舍	4.32 ± 3.35
103 舍	5.98 ± 1.47
102 舍	1.31 ± 0.92

2.1.2 温度

图 3 为 10 月 19 日 103 舍 24 h 猪舍内温度变化与 NH₃ 浓度变化趋势图,可以看出,NH₃ 浓度较高值出现在白天气温较高时段。由于欧美国家畜舍大

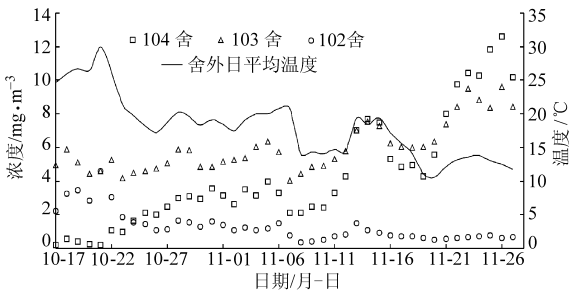


图 2 不同类型地面猪舍 NH₃ 日平均浓度
Fig. 2 Daily average concentrations of ammonia in pig buildings with different floor systems

多为全封闭式,采用环境自动调控,温度变化较小,而我国多为开放与半开放养殖模式,环境温度对 NH₃ 排放影响不容忽视。由图 2 也可以看出日平均 NH₃ 浓度与温度之间的峰值基本吻合。

2.1.3 猪体重

试验期间每周测量猪的体重,并以插值法得出每日体重模拟值。图 4 为有效地连续检测 NH₃ 浓度日平均值与猪体重(有效检测数据期间 104 舍、

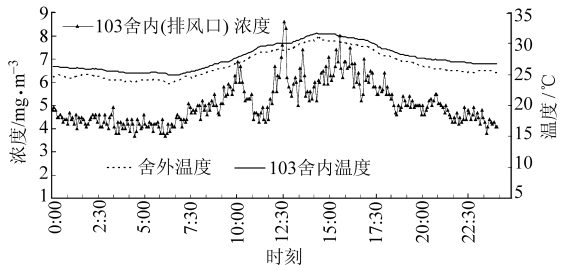


图 3 103 舍 24 h 排风口 NH₃ 浓度与舍内外温度记录
Fig. 3 24 h record of ammonia concentration and exhaust/ambient temperature of barn 103

103 舍、102 舍猪体重分别为 54 ~ 92 kg、54 ~ 92 kg、48 ~ 83 kg) 相关性曲线,研究表明猪的体重对 NH₃ 释放量有较大影响。其中图 4a、4b 呈正相关,而生物发酵猪舍(图 4c)呈负相关性,这表明生物发酵猪

舍的特殊生长环境中,生物发酵作用能力(即微生物含量增加)也有可能随着粪尿(微生物营养基质)增加而增强,从而加快粪尿中含氮物质的降解,减少了以氨的形式的释放。

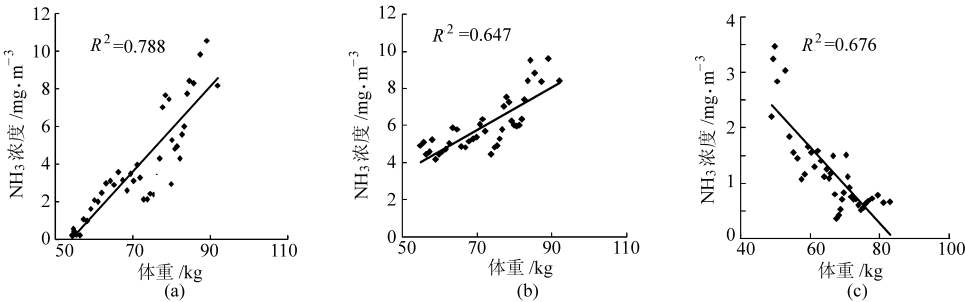


图 4 氨气浓度与猪体重的相关性
Fig. 4 Correlation of the ammonia concentration and the weight of the pig
(a) 104 舍 (b) 103 舍 (c) 102 舍

2.2 NH₃ 排放系数

准确地测量舍内外 NH₃ 浓度及确定通风速率是排放系数计算最为关键的因子,而自然通风条件下的通风速率的精准化是当前世界范围内的研究热点和难点。在本研究中,连续检测猪舍内外温度,以猪舍内外日平均温度差值(即热压通风原理)估算猪舍日平均通风量。热压通风速率为

$$Q_{\text{actual}} = \mu_b F_b \sqrt{\frac{2(1 - T_{\text{out}}/T_{\text{in}})gh}{(T_{\text{out}}/T_{\text{in}})^2 \left(\frac{\mu_b F_b}{\mu_a F_a}\right)^2 + T_{\text{out}}/T_{\text{in}}}}$$
 (1)

式中 Q_{actual} ——猪舍通风速率, m^3/s
 $T_{\text{in}}、T_{\text{out}}$ ——室内、外空气的热力学温度, K
 h ——进、排风口高度差, m
 g ——重力加速度, m/s^2
 $F_a、F_b$ ——进、排风口面积, m^2
 $\mu_a、\mu_b$ ——进、排风口流量系数

$$Q_{\text{day}} = 86\,400 Q_{\text{actual}}$$
 (2)

式中 Q_{day} ——猪舍日通风量, m^3/d

则猪舍 NH₃ 的排放系数为^[2]

$$E = Q_{\text{day}} \frac{P_0 M}{(273.15 + T_{\text{exhaust}}) R} (C_{\text{out}} - C_{\text{in}})$$
 (3)

式中 E ——NH₃ 排放系数, $\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{pig})$
 M ——NH₃ 的摩尔分子质量, 17.031 g/mol
 C_{out} ——舍内排风口日平均 NH₃ 浓度, mg/m^3

C_{in} ——进风口日平均 NH₃ 浓度, mg/m^3
 T_{exhaust} ——舍内排风口日平均温度, $^{\circ}\text{C}$
 R ——通用气体常数, $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
 P_0 ——试验期间平均的实际大气压, Pa

由式(3)和试验期间所检测的相关数据计算得出 3 种地面结构的育肥猪舍 NH₃ 的排放系数如表 2 所示。表 3 为国内外育肥猪舍 NH₃ 排放系数的研究结果。对比显示,不同研究所得的猪舍内 NH₃ 排放系数差异较大, Ni 等^[3]研究得出美国机械通风育肥舍内 NH₃ 排放系数为 $5.95 \sim 8.75 \text{ g}/(\text{d} \cdot \text{pig})$, Kim K Y 等^[4]得出韩国自然通风育肥舍内 NH₃ 排放系数为 $8.78 \text{ g}/(\text{d} \cdot \text{pig})$, Koerkamp 等^[5]研究结果显示欧洲国家 NH₃ 排放系数为 $12.47 \text{ g}/(\text{d} \cdot \text{pig})$ 。与之相比,由于国内外猪舍类型、管理方式、单位面积饲养量、检测仪器等的不同,检测结果有一定的差异。

表 2 猪舍 NH ₃ 排放系数			
Tab. 2 Ammonia emission factors of pig buildings			
参数	地板类型		
	半缝隙地面舍	实心地面舍	生物发酵床舍
排放系数/ $\text{g}/(\text{d} \cdot \text{pig})^{-1}$	9.47 ± 7.09	11.23 ± 4.23	4.27 ± 2.09
排放系数/ $\text{g}/(\text{d} \cdot \text{m}^2)^{-1}$	1.46 ± 1.09	1.73 ± 0.65	0.66 ± 0.32
排放系数/ $\text{g}/(\text{d} \cdot \text{AU})^{-1}$	60.00 ± 38.84	76.26 ± 19.06	35.28 ± 22.64

AU:折合成标准动物单位,500 kg 猪体重。

表 3 国外不同结构育肥猪舍的 NH₃ 排放系数

Tab.3 Ammonia emission factors of different types of pig buildings in foreign countries

畜舍类型	地面材料及畜舍环境	排放系数/g·(d·pig) ⁻¹	所用仪器	参考文献
实心地面	每天人工将粪清入粪沟(0.9~1.2 m ² /头)	6.939	Drager Pac III	[6]
漏缝地面	钢筋混凝土(0.67~0.75 m ² /头)	7.71		
垫草	稻草,充足且每周更换(1.4~1.7 m ² /头)	3.084		
漏缝地面	钢筋混凝土(0.75 m ² /头)	6.2	红外光声检测仪	[7]
垫草(30 cm)	育肥阶段 46 kg 稻草/头(1.2 m ² /头)	13.1		
漏缝地面	深坑	11.83	色谱法	[4]
漏缝地面	刮板清粪,每天清理多次	10.97		
垫料(40 cm)	锯末、稻草、木屑混合垫床	3.54		
1/7 漏缝地面		2.57~10.19	纳氏试剂比色法	[8]

3 结束语

在模拟实际生产的动物人工气候室对 3 种不同地板结构的猪舍 NH₃ 排放相关参数进行连续在线检测,研究了 3 种不同地面类猪舍的 NH₃ 排放系数。半缝隙地面舍、实心地面舍、生物发酵床猪舍

NH₃ 排放系数分别为:(9.47±7.09)、(11.23±4.23)、(4.27±2.09) g/(d·pig)。研究显示,地面结构类型对猪舍 NH₃ 排放影响显著,半缝隙地面和实心地面常规养殖方式下的猪舍 NH₃ 排放量相对生物发酵床猪舍较高,这表明生物发酵床养猪对 NH₃ 减排有一定效果。

参 考 文 献

1 EEA. EMEP/CORINAIR atmospheric emission inventory guidebook, group: agriculture manure management [M]. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, 1998.

2 Ni J Q, Heber A J, Diehl C A, et al. Ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000,77(1): 53~66.

3 Heber A J, Ni J Q, Lim T T, et al. Air emissions from swine production buildings[R]. 2004;21.

4 Kim K Y, Han Jong Ko. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea[J]. Journal of Environmental Management, 2008,88(2):195~202.

5 Groot Koerkamp P W G, Metz J H M, Uenk G H, et al. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998,70(1): 79~95.

6 Kavolelis B. Impact of animal housing systems on ammonia emission rates[J]. Polish J. of Environ. Stud., 2006, 15(5): 739~745.

7 Philippe F X, Laitat M, Canart B, et al. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter[J]. Livestock Science, 2007,111(1~2):144~152.

8 朱志平,董红敏,尚斌,等. 育肥猪舍氨气浓度测定与排放通量的估算[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):1 076~1 080.

Zhu Zhiping, Dong Hongmin, Shang Bin, et al. Measurement of ammonia concentration and estimation on emission flux of finishing pig in pig house[J]. Journal of Agro-environment Science, 2006,25(4):1 076~1 080. (in Chinese)

(上接第 162 页)

10 唐卫东,李萍萍,卢章平. 虚拟植物系统模型耦合构建技术[J]. 农业机械学报,2008,39(5):94~98,107.

Tang Weidong, Li Pingping, Lu Zhangping. Technology of constructing virtual plant system including model coupling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(5):94~98,107. (in Chinese)

11 杨丽丽,王一鸣,康孟珍,等. 不同种植密度番茄生长行为的结构功能模型模拟[J]. 农业机械学报,2009,40(10): 156~160.

Yang Lili, Wang Yiming, Kang Mengzhen, et al. Simulation of tomato growth behavior in response to planting-density based on functional-structural model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(10):156~160. (in Chinese)