

猪舍环境气载需氧菌含量的季节性变化及其健康风险评估

袁 文¹, 柴同杰¹, 苗增民¹, 张红双¹, 秦 梅¹, 周玉法², 李明勇³, 刘东燕²

(1 山东农业大学 动物科技学院, 山东 泰安 271018; 2 泰安市岱岳区畜牧局, 山东 泰安 271000;

3 青岛康大欧洲兔业育种有限公司, 山东 青岛 266400)

【摘 要】 【目的】深入了解封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量的季节性变化及其空气动力学粒径分布特征, 并评估其潜在的健康风险。【方法】2008-03—2009-02, 以 5% 公绵羊血-琼脂培养基为采样介质, 利用 Andersen-6 级生物空气采样器收集封闭式猪舍环境中的空气样品, 然后通过培养计数, 分析气载需氧菌含量的动态变化和粒径分布特点, 并评估其危害。【结果】封闭式猪舍环境中的气载需氧菌含量在 $9.07 \times 10^4 \sim 28.23 \times 10^4$ CFU/m³, 冬季最高, 夏季最低。气载需氧菌主要分布在采样器的 D 级(32.5%), F 级最少(3.6%)。【结论】封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量高, 而且季节性波动较大, 每天约有 4.0×10^5 CFU 和 4.9×10^6 CFU 气载需氧菌可分别进入人和猪的小支气管或直接侵入肺泡, 从而对人和猪的健康构成潜在威胁。

【关键词】 封闭式猪舍; 气载需氧菌; 季节性变化; 粒径分布特征; 潜在威胁

【中图分类号】 S851.2⁺4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)05-0051-05

The seasonal changes and health risk assessment of airborne aerobic bacteria concentration in closed pig house

YUAN Wen¹, CHAI Tong-jie¹, MIAO Zeng-min¹, ZHANG Hong-shuang¹,
QIN Mei¹, ZHOU Yu-fa², LI Ming-yong³, LIU Dong-yan²

(1 College of Animal Science, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China;

2 Farming Bureau of Daiyue District in Taian City, Tai'an, Shandong 271000, China;

3 Qingdao Kangda-Eurolap Rabbit Selecion Limited Company, Qingdao, Shandong 266400, China)

Abstract: 【Objective】 This investigation aimed to further study the seasonal changes and aerodynamic distribution feature of airborne aerobic bacteria in closed pig house, and to evaluate its potential health threats. 【Method】 From March 2008 to February 2009, sampling was conducted in closed pig house by Andersen-6 grade air sampler, using 5% blood agar medium; then airborne aerobic bacteria content and size distribution characteristics were analyzed through counting colonies. 【Result】 The concentration of airborne aerobic bacteria in closed pig house fluctuated between 9.07×10^4 and 28.23×10^4 CFU/m³ (Colony Forming Unit/m³), which reached summit in winter and bottom in summer. Airborne aerobic bacteria mainly centered on the D grade (32.5%), the least on the F grade (3.6%) on the sampler. 【Conclusion】 The concentration of airborne aerobic bacteria in closed pig house was high and dynamic; around 4.0×10^5 CFU and 4.9×10^6 CFU of airborne aerobic bacteria could be inhaled into the small bronchia or even directly invaded into bronchic cell each day respectively, which posed potential threats to human and pigs'.

* [收稿日期] 2009-11-02

[基金项目] 2009 年国家国际合作项目“动物疫源性人畜共患病的监测”(2009DFA32890); 国家自然科学基金项目(30571381)

[作者简介] 袁 文(1982—), 女, 山东济南人, 在读硕士, 主要从事环境微生物及其病原学研究。E-mail: yuanwen17@163.com

[通信作者] 柴同杰(1957—), 男, 山东德州人, 教授, 博士生导师, 主要从事环境微生物及其病原学研究。

E-mail: chaitj117@163.com

health.

Key words: closed pig house; airborne aerobic bacterium; seasonal change; aerodynamic distribution feature; potential threat

生物气溶胶是大气气溶胶中有活性的部分,它包括空气中的细菌、真菌、病毒、尘螨、孢子等微小粒子^[1-2]。它们主要来源于土壤、水体、动物、植物和人类本身^[3-4]。生物气溶胶可以借助空气介质扩散和传输,引发人类急、慢性疾病(如传染病、过敏症或中毒)以及动植物疾病的流行传播^[5-6]。畜禽舍环境中不断产生的微生物气溶胶,不仅对畜禽和养殖人员的健康造成威胁,而且还会对外界环境造成污染^[7]。畜禽许多重大烈性传染病的传播为气源性传播,其病原微生物形成气溶胶后非常容易扩散,并且传播的距离很远,因此威胁性强,且较难控制。例如,1981 年口蹄疫病毒(FMDV)由法国布列塔尼以惊人的速度通过空气传播到英格兰南部^[8];2001 年在美国由于气载炭疽引起人的大批死亡^[9];肺炎克雷波氏菌通过空气传播^[10]等。同时,高浓度的微生物气溶胶也与养殖人员的呼吸道过敏和哮喘症状相关^[11-12]。所有这些都警示人们要重视环境气溶胶的危害。

目前,对畜禽舍环境中气载需氧菌的研究,主要集中在某一特定时间段内和某些特定的病原菌上,如乳牛舍环境中气载需氧菌^[13];家兔饲养环境中的气载需氧菌含量(需氧菌总数、金黄色葡萄球菌和乙型溶血性链球菌)及通风效果^[14];鸡舍环境中致病菌(大肠杆菌、沙门氏菌和葡萄球菌)的污染^[15]。但是,以上研究均未对畜禽舍环境中气载需氧菌含量在一年四季中的动态变化及分布规律进行系统分

析。因此,为了全面了解封闭式猪舍环境中气载需氧菌的变化规律和分布特点,本研究以山东省最常见的封闭式猪舍为研究对象,于 2008-03—2009-02 对其环境中的气载需氧菌进行检测,分析其分布特征,并评估其危害,以期对封闭式猪舍环境的科学管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 猪场情况

调查于 2008-03—2009-02 在山东省枣庄市某封闭式猪舍(40 m×10 m×3.5 m)进行。该猪舍以机械通风为主,存栏育肥猪 120 头,每天进行 2 次粪便清理。

1.2 样本的采集与处理

1.2.1 采样器 采用国际标准收集器 Andersen-6 级^[16]生物空气采样器(辽阳市应用技术研究所),气流速度 28.3 L/min,该采样器 A—B 级收集的细菌粒子(>6.0 μm)可沉着在小支气管内,C—F 级收集的粒子(≤6.0 μm)可直接侵入肺泡。

1.2.2 样本的采集 每个月选取 8 个工作日连续采集样品,每次选取 6 个采样点采样,每个采样点重复 5 次。以 5%公绵羊血-琼脂培养基为采样介质,将收集器置于猪舍中央,高度为 70 cm,根据不同卫生条件驱动时间在 1~5 min^[16],采样的同时记录舍内的相关气象指标,结果见表 1。

表 1 封闭式猪舍环境内的气象指标

Table 1 Meteorological indexes of closed pig house

季节 Season	温度/℃ Temperature	相对湿度/% Relative humidity	风速/(m·s ⁻¹) Wind speed
春季(03—05) Spring (Mar. — May)	14.0~21.5	55.0~62.0	0.4~0.8
夏季(06—08) Summer (Jun. — Aug.)	23.5~31.0	76.0~83.0	1.5~2.0
秋季(09—11) Autumn (Sep. — Nov.)	22.0~27.0	60.0~72.0	0.4~0.7
冬季(12—02) Winter (Dec. — Feb.)	13.0~21.0	75.0~81.0	0.1~0.3

1.2.3 样本的处理 采样后将培养皿置于恒温箱 37 ℃培养 18~24 h,通过 Andersen 计数表校正后,根据采样时间和采样流量计算出每 m³ 空气中气载需氧菌含量(CFU/m³)。

1.3 数据统计分析

空气中微生物呈非正态分布,猪舍空气中气载需氧菌含量均采用中间值(Median)表示。这种统

计方法尤其适用于数量较少且数值浮动较大的样品统计^[17]。所获的试验数据用 Excel 2003 和 Spss 11.5 进行分析处理。

1.4 气溶胶潜在危害的评估

需氧菌气溶胶在人和动物呼吸器官不同部位的到达量,以每 min 吸入需氧菌的 CFU 表示,即由人或猪的呼吸量(m³/min)乘以可到达小支气管及肺

泡需氧菌含量求得。Andersen-6 级生物空气采样器 A—B 级收集的细菌粒子($>6.0\ \mu\text{m}$)可通过上呼吸道,C—F 级收集的粒子($\leq 6.0\ \mu\text{m}$)可沉着在小支气管或直接侵入肺泡。到达上呼吸道或小支气管、肺泡的需氧菌含量为 A—B 级或 C—F 级所占比例乘以样本总含量。

2 结果与分析

2.1 封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量的动态变化

由表 2 可知,不同季节封闭式猪舍环境中气载

需氧菌含量为 $9.07\times 10^4\sim 28.23\times 10^4\ \text{CFU}/\text{m}^3$,月平均值为 $18.07\times 10^4\ \text{CFU}/\text{m}^3$ (春、夏、秋、冬 4 个季节的平均值分别为 $17.88\times 10^4,9.38\times 10^4,19.04\times 10^4,25.96\times 10^4\ \text{CFU}/\text{m}^3$);封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量在夏季的 7 月最低,冬季的 12 月最高。不同季节封闭式猪舍环境中的气载需氧菌含量差异极显著($P<0.01$)。由图 1 可以看出,封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量冬季最高,夏季最低。

表 2 封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量的变化

Table 2 The concentrations of airborne aerobic bacteria in closed pig house				$\times 10^4\ \text{CFU}/\text{m}^3$
季节 Season	月份 Month	中间值 Median	最小值 Minimum	最大值 Maximum
春季(03—05) Spring (Mar. — May)	3	19.01	9.98	36.27
	4	17.56	9.51	29.61
	5	17.08	8.99	29.83
夏季(06—08) Summer(Jun. — Aug.)	6	9.31	8.54	14.23
	7	9.07	7.88	24.35
	8	9.75	7.98	29.36
秋季(09—11) Autumn (Sep. — Nov.)	9	15.41	8.97	26.89
	10	21.63	16.83	32.01
	11	20.09	8.99	35.09
冬季(12—02) Winter (Dec. — Feb.)	12	28.23	19.02	45.02
	1	27.41	9.82	38.25
	2	22.24	9.24	32.61
均值 Mean		18.07		

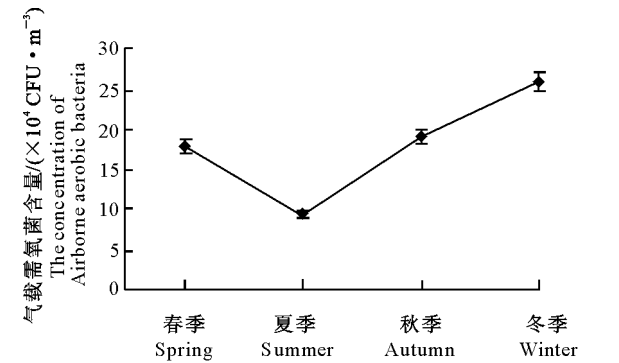


图 1 封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量的季节性动态变化

Fig. 1 The concentration of airborne aerobic bacteria seasonal dynamics in closed pig houses

2.2 封闭式猪舍环境中气载需氧菌的分布特征

通过 1 年的采样分析,封闭式猪舍环境中气载需氧菌的粒径分布趋势基本相同。由表 3 可知,需氧菌气溶胶总体分布的峰值在 D 级(捕集范围 $2.0\sim 3.0\ \mu\text{m}$),最低值在 F 级($<0.65\ \mu\text{m}$)。

2.3 气载需氧菌的吸入量

人的呼吸量按 $6.94\times 10^{-3}\ \text{m}^3/\text{min}$,猪的通气量按 $2.88\times 10^{-2}\ \text{m}^3/\text{min}$ 计算,则人在采样环境中

吸入呼吸道的活性需氧菌平均可达 $1\ 298\ \text{CFU}/\text{min}$,猪吸入呼吸道的活性需氧菌平均高达 $5\ 024\ \text{CFU}/\text{min}$ 。

表 3 封闭式猪舍环境中气载需氧菌在 Andersen-6 级生物空气采样器各层级上的分布

Table 3 The distribution percents of airborne aerobic bacteria on the A—F stage of the Andersen-6 sampler in closed pig house	
采样器层级/ μm Stage of Andersen-6	分布比例/% Percent of distribution
A (>8.2)	16.9
B ($8.2\geq\sim>6.0$)	18.4
C ($6.0\geq\sim>3.0$)	17.8
D ($3.0\geq\sim>2.0$)	32.5
E ($2.0\geq\sim\geq 0.65$)	10.8
F (<0.65)	3.6

3 讨论

3.1 封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量的变化

历时 1 年的检测结果表明,封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量为 $9.07\times 10^4\sim 28.23\times 10^4\ \text{CFU}/\text{m}^3$,这与段会勇等^[18]对兔舍环境以及柴同杰

等^[19]对鸡舍环境中气载需氧菌的研究结果相符,但是其较医院等公共场所高得多,约是我国公共场所细菌总数卫生标准^[20](GB 9663~9673-88)的 30 倍。这表明,养殖环境是微生物气溶胶产生的重要场所。由于养殖场环境中的微生物气溶胶可以通过一定的气象因素(风速、对流等)向外传播,因此高含量的气溶胶更容易造成周边环境污染,甚至引起某些疫病的传播和流行。

封闭式猪舍环境中气载需氧菌的含量在一年四季差异极显著($P < 0.01$)。冬季时封闭式猪舍环境中气载需氧菌含量最高,这可能是由于冬季为了保温,猪舍门窗经常关闭,通风换气不充分等原因造成的;夏季时气载需氧菌含量最低,这可能与夏季紫外线强度高不利于细菌繁殖,猪舍环境通风充分等有关。这与张鹤平^[21]对规模化养猪场及其周围环境中细菌含量监测的结果一致。

3.2 封闭式猪舍环境中气载需氧菌的分布特征

通过为期 1 年的分析可知,封闭式猪舍环境中气载需氧菌在 Andersen-6 级生物空气采样器上的粒径分布趋势基本相同。需氧菌气溶胶主要分布在 B 和 D 级(捕获范围 $2.0 \sim 8.2 \mu\text{m}$),最低值在 F 级($< 0.65 \mu\text{m}$),这与段会勇等^[18]、柴同杰等^[19]的研究结论一致。根据人和猪的吸气量以及在舍内的停留时间(饲养人员为 8 h,猪为 24 h),人和猪在 1 d 内分别可吸入 6.1×10^5 CFU 和 7.5×10^6 CFU 的气载需氧菌,其中 A 级和 B 级上的气载需氧菌(2.1×10^5 CFU 和 2.6×10^6 CFU)可进入人和猪的鼻腔和上呼吸道,这些颗粒的空气动力学直径大于 $6 \mu\text{m}$,如此大小的颗粒在空气中悬浮时间短,其最多能通过鼻腔到达气管,但由于重力的作用将很快沉落,一般情况下,对人和动物的威胁不大^[22-24];但是 C、D、E 和 F 级的气载需氧菌(4.0×10^5 CFU 和 4.9×10^6 CFU)可以沉着在人和猪的小支气管或直接侵入肺泡,对人和动物的健康构成一定威胁。

综上所述,封闭式猪舍环境中高含量的气载需氧菌,不仅会危及人和动物的健康,而且还可能造成周围环境的污染。尽管在采样过程中未观察到人和猪的异常表现,但是长期暴露于这种环境中无疑会给人和动物的健康构成威胁,因此关注畜禽舍环境卫生是健康养殖的重要环节。

[参考文献]

[1] Ariya P A, Amyot M. New directions: The role of bioaerosols in atmospheric chemistry and physics [J]. *Atmospheric Envi-*

ronment, 2004, 38(6): 1231-1232.

- [2] Grinshpun S A, Clark J M. Measurement and characterization of bioaerosols [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2005, 36(5/6): 553-555.
- [3] Li D W, Kendrick B. Functional relationships between airborne fungal spores and environmental factors in Kitchener-Waterloo, Ontario, as detected by Canonical correspondence analysis [J]. *Grana*, 1994, 33(3): 166-176.
- [4] 杜 睿. 大气生物气溶胶的研究进展 [J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(4): 546-552.
Du R. The progress of atmospheric bioaerosol research [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(4): 546-552. (in Chinese)
- [5] Kodama M, Mcgee R I. Airborne microbial contaminants in indoor environments: Naturally ventilated and air-conditioned homes [J]. *Archives of Environmental Health*, 1986, 41(5): 306-311.
- [6] Ho J, Duncan S. Estimating aerosol hazards from an anthrax letter [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2005, 36(5/6): 701-719.
- [7] 于玺华, 车凤翔. 现代空气微生物学及采检鉴技术 [M]. 北京: 军事医学科学出版社, 1998.
Yu X H, Che F X. *Modern air microbiology and sampling detection and identification techniques* [M]. Beijing: Military Medicine Publishing Company, 1998. (in Chinese)
- [8] 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]. *Veterinary Record*, 1982, 110(3): 53-57.
- [9] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Follow-up of deaths among US postal service workers potentially exposed to *Bacillus anthracis*-District of Columbia, 2001-2002 [J]. *MMWR Weekly*, 2003, 52: 937-938.
- [10] Prazmo Z, Dutkiewicz J, Skorska C, et al. Exposure to airborne Gram-negative bacteria, dust, and endotoxin in paper factories [J]. *Ann Agric Environ Med*, 2003, 10(1): 93-100.
- [11] Ostro B, Lipsett M, Mann J, et al. Air pollution and exacerbation of asthma in African-American children in Los Angeles [J]. *Epidemiology*, 2001, 12(2): 200-208.
- [12] 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.
- [13] 柴同杰, 张绍学, Muener W. 乳牛舍内外环境空气中需氧菌、厌氧菌以及产气荚膜杆菌的定量分析 [J]. *中国兽医学报*, 1999, 19(6): 611-615.
Chai T J, Zhang S X, Muener W. Quantitative analysis of airborne *Aerobic bacteria*, *Anaerobic bacteria*, and *Clostridium perfringens* inside and outside of the calf stable [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 1999, 19(6): 611-615. (in Chinese)
- [14] 朱森树, 李志刚. 家兔饲养室空气微生物浓度及通风效果观察 [J]. *中国养兔杂志*, 2000(5): 4-6.
Zhu S S, Li Z G. The domestic rabbit raising room air micro-

organism density and ventilates the effect observation [J]. Chinese Journal of Rabbit Farming, 2000(5): 4-6. (in Chinese)

[15] 屈凤琴. 鸡舍空气中致病微生物的监测 [J]. 中国家禽, 2000, 22(4): 29-30.
Qu F Q. Pathogenic microorganism detection in chicken [J]. China Poultry, 2000, 22(4): 29-30. (in Chinese)

[16] Andersen A A. New sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles [J]. J Bacterial, 1958, 76(5): 471-484.

[17] 金丕焕. 医学统计方法 [M]. 上海: 上海医科大学出版社, 1992.
Jin P H. Medical statistical methods [M]. Shanghai: Shanghai Medical University Press, 1992. (in Chinese)

[18] 段会勇, 王 磊, 柴同杰. 兔舍内气载需氧菌和气载葡萄球菌的检测 [J]. 家畜生态学报, 2005, 26(4): 96-99.
Duan H Y, Wang L, Chai T J. Detection of airborne *Aerobic bacterial* and airborne *Staphylococcus* in two rabbit stables [J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2005, 26(4): 96-99. (in Chinese)

[19] 柴同杰, 赵云玲, 刘 辉, 等. 禽舍微生物气溶胶含量及其空气动力学研究 [J]. 中国兽医杂志, 2001, 37(3): 9-11.
Chai T J, Zhao Y L, Liu H, et al. Studies on the concentration and aerodynamic diameters of microbiological aerosol in the poultry house [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2001, 37(3): 9-11. (in Chinese)

[20] 徐幼云. 环境卫生工作手册 [M]. 修订版. 北京: 人民卫生出版社, 1992.
Xu Y Y. Environmental workbook [M]. Rev ed. Beijing: People's Sanitary Press, 1992. (in Chinese)

[21] 张鹤平. 养殖场及其周围环境空气中细菌播散研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Zhang H P. Studies on *Bacterial* spread in the air of livestock farming and its surrounding environment [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)

[22] De W, Li, Kendrick B. A year-round comparison of fungal spores in indoor and outdoor air [J]. Mycologia, 1995, 87(2): 190-195.

[23] Herdlitschka H P. Untersuchungen an tierischen luftkeimquellen [D]. Stuttgart: Uni Hohenheim, 1980.

[24] Lis D O, Pastuszka J S, Gorny R L. The prevalence of bacterial and fungal aerosol in homes, offices and ambient air of upper silesia preiminary results [J]. Roczn Panstw Zakl Hig, 1997, 48(1): 59-68.

(上接第 50 页)

[20] Clarke L, Carbon J. Isolation of a yeast centromere and construction of functional small circular chromosomes [J]. Nature, 1980, 287: 504-509.

[21] 吴乃虎. 基因工程原理 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1998: 322-335.
Wu N H. Genetic engineering principles [M]. 2 nd ed. Beijing: Science Press, 1998: 322-335. (in Chinese)