

集约化养鸡场舍内细菌气溶胶群落结构研究

高敏¹, 贾瑞志^{1,2}, 仇天雷¹, 宋渊², 王旭明^{1*}

(1.北京市农林科学院生物技术研究中心, 农业基因资源与生物技术北京市重点实验室, 北京 100097; 2.中国农业大学生物学院, 北京 100193)

摘要:为了给评价禽舍内生物气溶胶的危害提供基础数据,对笼养和网上养殖两种方式下,集约化养殖鸡舍内细菌气溶胶的浓度进行检测,并利用变性梯度凝胶电泳(PCR-DGGE)对空气中全部细菌的群落结构进行对比分析。结果显示:笼养舍内细菌气溶胶浓度和生物多样性均高于网上养殖,相同养殖方式下,生物多样性随着鸡龄的增加而呈现减小趋势;鸡舍空气中优势细菌主要为拟杆菌门(Bacteroidetes)、变形菌门(Proteobacteria)和厚壁菌门(Firmicutes),其中笼养和网上养殖舍内细菌气溶胶的优势菌属分别为 *Enterobacter* 和 *Escherichia*。

关键词:集约化养鸡场;笼养;网上养殖;细菌气溶胶;群落结构

中图分类号:X513 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)10-1985-06 doi:10.11654/jaes.2015.10.021

Bacterial Community of Bioaerosols in Atmospheric Environment of Confined Poultry Feeding Operations

GAO Min¹, JIA Rui-zhi^{1,2}, QIU Tian-lei¹, SONG Yuan², WANG Xu-ming^{1*}

(1. Beijing Key Laboratory of Agricultural Genetic Resources and Biotechnology, Beijing Agro-Biotechnology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Bioaerosols emitted from confined animal feeding operations may pose health risks to workers and animals. In this study, content of culturable airborne bacteria was detected in the atmospheric environments of both layer and broiler houses. In addition, corresponding microbial communities were analyzed using denatured gradient gel electrophoresis (DGGE). Results indicated that both content and microbial diversity of airborne bacteria in the layer houses were higher than those in the broiler ones. Under the same farming mode, microbial diversity decreased with increasing age of poultry. The main bacteria in atmospheric environment of confined poultry houses were Bacteroidetes, Proteobacteria and Firmicutes. *Enterobacter* and *Escherichia* were the predominant genus of airborne bacteria in layer and broiler houses, respectively.

Keywords: confined poultry feeding operations; layer; broiler; airborne bacteria; microbial community

随着畜禽养殖业的发展,集约化养殖模式逐渐取代了传统养殖模式^[1]。畜禽养殖过程中,动物自身、粪便以及垫料携带的微生物易于气溶胶化,进而逸散至空气中形成生物气溶胶^[2]。生物气溶胶是具有生命的气溶胶粒子(包括细菌、真菌、病毒等的微生物粒子)^[3],在集约化养殖过程中,畜禽舍内空气中生物气溶胶浓度

高,且富含致病微生物,不仅威胁到动物和工作人员健康^[4],而且可通过空气长距离传播,污染周边环境^[5]。

自20世纪70年代起,人们开始对畜禽养殖过程中逸散的生物气溶胶展开研究^[6-7]。结果显示,畜禽舍内空气中可培养细菌气溶胶浓度高达 10^5 cfu·m⁻³^[8]。近些年,研究人员开始利用分子生物学手段对畜禽舍内空气微生物进行分析,发现生物气溶胶的群落结构受到畜禽种类、养殖阶段和养殖方式等多种因素影响^[1,9-11]。在不同养殖方式下,空气中生物气溶胶的不同群落结构可导致养殖工人患病种类的差异^[11]。因此,掌握畜禽舍内空气微生物的浓度和菌群结构将有助于深入理解生物气溶胶对从业人员和畜禽健康的

收稿日期:2015-03-19

基金项目:国家自然科学基金项目(51308047);家禽产业技术体系北京市创新团队专项资金(CARS-PSTP);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(kjcx 2014302, kjcx 20151204)

作者简介:高敏(1980—),女,黑龙江人,博士,主要从事生物气溶胶与环境生物技术方面研究。

*通信作者:王旭明 E-mail:wangxuming@baafs.net.cn

影响。然而,目前国内对该方面研究少有报道。

本研究对集约化养鸡场舍内空气中细菌气溶胶进行研究,分析笼养和网上养殖两种典型养殖方式下,禽舍内细菌气溶胶的浓度以及群落结构,以期为集约化禽场空气环境中生物气溶胶的健康风险评估提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样信息

本研究在北京市怀柔和平谷两个区进行。对肉鸡(采样8次)和蛋鸡(采样7次)养殖场舍内细菌气溶胶进行采集,其中蛋鸡采用笼养,肉鸡采用网上养殖。同时对相应的采集时间、养殖密度、鸡龄、舍内温度和湿度等信息进行记录,具体见表1,其中A和B代表2个蛋鸡场,C、D、E和F代表4个肉鸡场。

1.2 可培养细菌气溶胶采样和分析

1.2.1 采样方法

可培养细菌气溶胶采样时间为早上10:00—11:00之间,避开清粪作业和捡蛋投料等作业。采集使用六级撞击式采样器(JWL 6,北京)。该仪器将空气中的带菌粒子按其空气动力学直径大小分别捕获在各级培养皿上:(Stage VI)0.65~1.1 μm,(Stage V)1.1~2.1 μm,(Stage IV)2.1~3.3 μm,(Stage III)3.3~4.7 μm,(Stage II)4.7~7.0 μm和(Stage I)>7.0 μm。采样高度为1.5 m,样品采集时间为2 min,气体流量为28.3 L·min⁻¹。每次采样前用流量计(余姚)对采样泵的流量

进行校准,每个采样点重复取样3次。空气温度和相对湿度用温湿度计检测(WD-35612, OAKTON, Germany)。

1.2.2 培养方法

培养皿采用9 cm平皿,灭菌后在无菌条件下加入20 mL培养基。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,30℃培养箱内培养2 d。采集的样品在进行菌落计数时,采用Positive hole method方法对菌落数进行校正。

1.2.3 计算方法

根据采样时间和气体流量,利用下式计算各级空气带菌粒子的数量:

$$C = \frac{N \times 1000}{t \times F}$$

式中:C为细菌气溶胶浓度,cfu·m⁻³;N为各级菌落数;t为采样时间,min;F为采样时气体流量,L·min⁻¹。

1.3 总细菌气溶胶采样和分析方法

1.3.1 采样方法

总细菌气溶胶的采集使用TSP采样器(2030,青岛,崂应),将生物气溶胶中的微生物过滤到直径为90 mm的滤膜(MUNKTELL, Germany)上。流量为100 L·h⁻¹,从早上10:00开始采集,采样时间为48 h,达到采样时间后,将吸附生物气溶胶的滤膜保存在-80℃冰箱中,以备后续分析。

1.3.2 细菌气溶胶群落结构分析

采用试剂盒(MO-BIO PowerSoil[®] DNA Isolation Kit)对滤膜表面的细菌气溶胶进行DNA提取。之后

表1 鸡场中细菌气溶胶采样信息

Table 1 Sampling information of airborne bacteria in poultry houses

类型	代码	日期	密度/只·m ⁻²	鸡龄/d	舍内温度/℃	舍内湿度/%	通风状况
笼养	A1	2013-08-23	11	470	29	49	自然通风
	A2	2013-08-23	11	53	28	64	自然通风
	A3	2013-12-06	12	567	9.5	60	间歇换气
	A4	2013-12-06	12	150	9.9	55	间歇换气
	A5	2014-03-04	12	198	14	21	间歇换气
	A6	2014-04-21	12	279	23	32	间歇换气
网上养殖	B1	2014-03-14	12	270	18	21	间歇换气
	B2	2014-03-24	12	400	20	27	间歇换气
	C1	2014-04-02	9	12	28	59	间歇换气
	C2	2014-04-09	9	18	25	33	间歇换气
	C3	2014-04-18	9	25	26	33	间歇换气
	C4	2014-04-28	9	34	22	63	间歇换气
	D	2014-05-08	10	25	27	35	自然通风
	E	2014-05-08	9	33	26	45	自然通风
	F	2014-04-02	9	34	20	20	间歇换气

对细菌 16S rRNA 保守区的 PCR 扩增,引物为 341F 和 534R(含 GC 夹),扩增体系为 50 μL 。PCR 反应程序:94 $^{\circ}\text{C}$ 3 min,94 $^{\circ}\text{C}$ 40 s,55 $^{\circ}\text{C}$ 1 min,72 $^{\circ}\text{C}$ 2 min,循环 30 次;72 $^{\circ}\text{C}$ 10 min。

变性梯度凝胶电泳(DGGE)采用 8%的聚丙烯酰胺凝胶,变性剂浓度 35%~70%,上样量为 25 μL 。电泳条件:1 \times TAE 缓冲液,100 V 电泳 10 h。电泳结束后,使用 SUPER Green I 染色 30 min,用 Bio-Rad 公司成像仪采集图像,用 Quantity One Software(Bio-Rad, USA)软件对 DGGE 图像进行采集。

切胶回收目标条带,进行 PCR 扩增(引物 341F 和 534R),产物进行纯化(欧米伽 D2561-02,美国)之后连接至载体 pMD18-T。经蓝白筛选后,将阳性转化子送至中科希林公司测序,再经 NCBI 数据库比对测序结果。

1.3.3 细菌气溶胶生物多样性分析

Shannon 指数计算参照已报道文献^[12],戴斯系数(Dice coefficient)用 Quantity One Software(Bio-Rad, USA)软件计算。

1.4 统计分析

利用 SPSS 21.0 计算描述性统计参数,当 P 值小于 0.05 时,表明在 95%的置信区间内具有统计学意义上的显著差异。

2 结果与分析

2.1 笼养和网上养殖鸡舍内细菌气溶胶浓度

本研究采集了笼养(蛋鸡)和网上养殖(肉鸡)舍内的细菌气溶胶样本,经培养和计数,得出空气中可培养细菌浓度,结果如图 1 所示。

由图 1 可知,本研究所调查鸡舍内最高和最低浓度的细菌气溶胶分别在蛋鸡(A5)和肉鸡(C2)舍内检

出,分别为 1.3×10^5 、 1.9×10^3 cfu \cdot m $^{-3}$ 。同时,结果显示采用笼养的蛋鸡舍内和网上养殖的肉鸡舍内细菌气溶胶的平均浓度分别为 6.8×10^4 、 3.7×10^4 cfu \cdot m $^{-3}$ 。笼养鸡舍内细菌气溶胶浓度高于网上养殖舍内浓度($P<0.01$)。

2.2 鸡舍内细菌群落结构及生物多样性

除浓度之外,群落结构是描述细菌气溶胶特点的另一个重要参数。本研究利用 DGGE 对笼养和网上养殖鸡舍内细菌气溶胶生物群落结构差异进行检测。对饲养条件较相近的 2 个蛋鸡舍(A5、A6、B1、B2)和 4 个肉鸡舍(C1、C2、C3、C4、D、E、F)样本进行分析,其变性梯度凝胶电泳结果如图 2 所示。

由图 2 可知,蛋鸡和肉鸡舍内空气微生物中细菌群落结构相似,但优势菌存在差异。整体上,蛋鸡舍内细菌气溶胶的生物多样性较肉鸡舍内丰富。为验证以

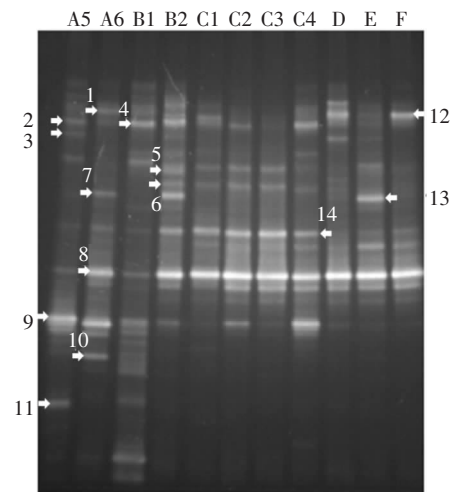


图 2 笼养和网上养殖鸡舍内细菌气溶胶生物群落 DGGE 图谱
Figure 2 Denatured gradient gel electrophoresis(DGGE) profiles of airborne bacteria in layer and broiler houses

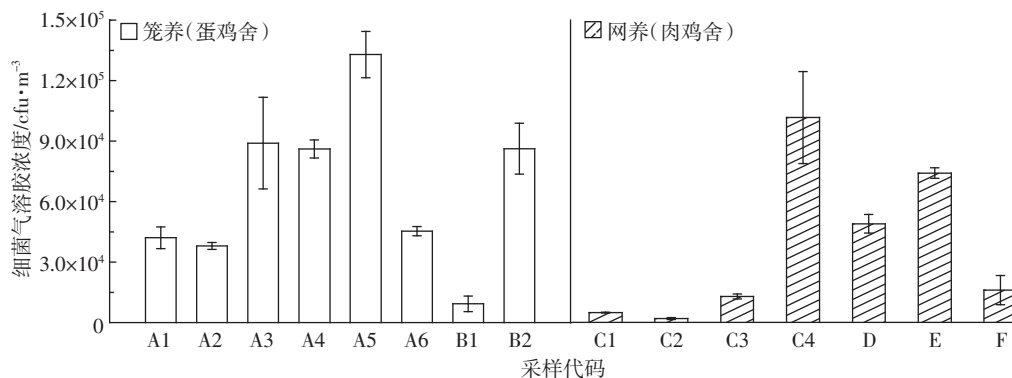


图 1 笼养和网上养殖鸡舍内可培养细菌气溶胶浓度

Figure 1 Concentration of culturable airborne bacteria in layer and broiler houses

上推论,对笼养和网养舍内细菌气溶胶的 Shannon 指数进行对比分析。Shannon 指数是描述生物群落结构复杂程度的参数,其数值大小与生物多样性相关,结果如图 3 所示。

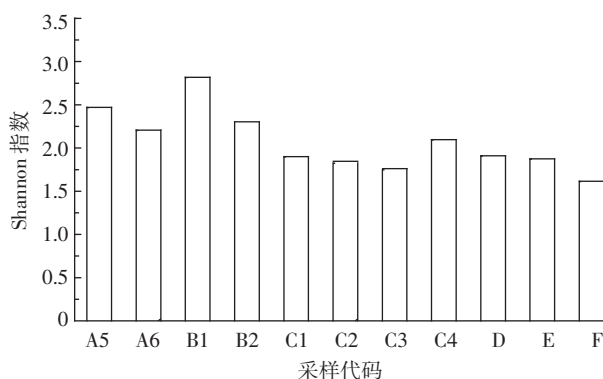


图 3 笼养和网上养殖鸡舍内细菌气溶胶生物群落 Shannon 指数分析

Figure 3 Shannon index of airborne bacteria in layer and broiler houses

由图 3 可知,笼养和网上养殖舍内空气中生物群落结构复杂程度不同,最高和最低 Shannon 指数分别在蛋鸡 B 舍和肉鸡 F 舍内检测到,蛋鸡舍内空气中细菌的 Shannon 指数高于肉鸡舍内。同时,本研究利用戴斯系数(Dice coefficient)计算各样品群落结构之间的相似比值,进一步对不同养殖方式下鸡舍内细菌气溶胶的群落结构相似性进行分析,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,蛋鸡舍内细菌气溶胶群落结构相似率在 26.3%~55.4%之间,4 个肉鸡舍内(C4、D、E 和 F)空气样本之间的相似率在 47.7%~71.1%之间,平均值为 58.7%;4 个肉鸡舍(C4、D、E、F)与 2 个蛋鸡舍(A5、A6、B1、B2)的相似率在 9.0%~67.2%之间,平均相似率为 41.8%。

表 2 笼养和网上养殖鸡舍内细菌气溶胶生物群落相似性矩阵

Table 2 Similarity of airborne bacteria in layers and broiler houses using Dice coefficients

代码	A5	A6	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D	E	F
A5	100.0										
A6	55.4	100.0									
B1	40.9	48.1	100.0								
B2	26.3	41.5	47.2	100.0							
C1	14.4	42.7	25.8	71.0	100.0						
C2	23.4	50.9	25.3	65.1	82.2	100.0					
C3	13.8	46.0	16.8	52.1	73.5	84.3	100.0				
C4	47.0	67.2	35.8	65.2	62.0	65.3	49.4	100.0			
D	18.1	43.5	39.5	73.2	67.7	57.5	55.7	49.0	100.0		
E	20.2	47.3	25.7	55.1	64.2	72.4	70.8	47.4	71.1	100.0	
F	9.0	45.6	22.5	54.2	67.3	59.2	62.5	59.7	63.8	61.3	100.0

2.3 笼养和网上养殖鸡舍内优势细菌气溶胶分析

对蛋鸡和肉鸡舍内细菌气溶胶中的优势条带进行测序分析,基因序列结果通过 NCBI 数据库进行比对,得到 14 个条带的最相似菌属结果如表 3 所示。

由表 3 可知,所调查的鸡舍内空气细菌主要有三类:拟杆菌门(Bacteroidetes)、变形菌门(Proteobacteria)和厚壁菌门(Firmicutes)。在所检测的优势菌属中,包括类芽孢杆菌属、泛菌属、库特氏菌属,黄杆菌属、肠杆菌属、埃希氏菌属、柠檬酸杆菌属、假单胞杆菌属、产醋杆菌属和不动杆菌属。

3 讨论

3.1 鸡舍内细菌气溶胶浓度差异

在所进行的 15 次调查中,鸡舍内细菌气溶胶的浓度范围在 $1.9 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^5$ cfu·m⁻³,与魏磊等^[13]对潍坊市鸡舍内细菌气溶胶浓度的检测结果相近,略低于莱芜市蛋鸡舍内浓度^[14]。值得注意的是,检测结果中有 10 次超出我国《畜禽场环境质量标准》的限值(2.5×10^4 cfu·m⁻³)。鸡舍内部细菌气溶胶的浓度受到多种因素影响^[3,15],如养殖密度、家禽日龄、消毒手段及清粪周期等,而本文研究的肉鸡和蛋鸡所采用的消毒手段和清粪周期存在差异。蛋鸡的消毒方式是带鸡作业,该方式很难彻底去除空气微生物;肉鸡则是待鸡出栏后对空鸡舍进行清理和消毒,确保了空气微生物的有效去除。此外,粪便作为舍内生物气溶胶的主要来源,可能对空气细菌产生影响^[16]。所调查蛋鸡舍内清粪周期较短,机械扰动作用加速了粪便中微生物气溶胶化,导致空气中微生物浓度较高。

3.2 鸡舍内细菌群落结构及生物多样性

由 DGGE 图谱(图 2)可知,同一生产类群、同种

表3 笼养和网上养殖鸡舍内细菌气溶胶优势菌属
Table 3 Predominant bacteria in layer and broiler houses

条带	最相似菌属	相似度/%
1	<i>Chryseobacterium treverense</i> strain IMMIB L-1519 (NR_104497.1)	98
2	<i>Paenibacillus polymyxa</i> strain DSM 36(NR_117729.1)	100
3	<i>Enterobacter cloacae</i> strain ATCC 13047(NR_118568.1)	100
4	<i>Citrobacter koseri</i> strain LMG 5519(NR_117751.1)	100
5	<i>Pantoea agans</i> C9-1 strain C9-1(NR_102966.1)	100
6	<i>Acinetobacter lwoffii</i> strain DSM 2403(NR_026209.1)	97
7	<i>Acinetobacter lwoffii</i> strain JCM 6840(NR_113346.1)	100
8	<i>Escherichia fergusonii</i> strain ATCC 35469(NR_074902.1)	100
9	<i>Enterobacter buriae</i> strain JCM6051(NR_024640.1)	100
10	<i>Paenibacillus hunanensis</i> strain FeL05(NR_116440.1)	100
11	<i>Flavobacteriaceae bacterium</i> 3519-10(NR_074543.1)	100
12	<i>Kurthiagibsonii</i> strain NCIMB 9758(NR_119002.1)	100
13	<i>Clostridium fennigii</i> strain DSM 3222(NR_117687.1)	100
14	<i>Pseudomonas flavescens</i> strain NBRC 103044(NR_114195.1)	99

养殖方式下不同鸡舍空气中的群落结构存在差异,如采用笼养的A和B,即使在鸡龄相似条件下仍然可以观察到不同鸡舍内空气细菌的群落结构差异(A6和B1)。在所调查的4个肉鸡场(网养)的空气细菌群落结构中,也观察到不同鸡舍之间群落结构存在差异的现象(C4、D、E、F)。对比分析同一鸡舍不同鸡龄条件下DGGE图谱(A5和A6;B1和B2;C1、C2、C3和C4),发现随着鸡龄的增长,空气中细菌气溶胶多样性呈现减少的趋势(除C4之外)。

在同一个鸡舍内,随着鸡龄的增加,Shannon指数减小(除了C4之外)。这与DGGE图谱观察结果一致。对比分析图1和图2,本研究并没有发现细菌气溶胶浓度和生物多样性之间的相关性。由戴斯系数分析结果可知,相同养殖类型鸡舍之间,群落结构的相似度要高于不同养殖类型之间,如肉鸡舍内空气中细菌气溶胶群落结构之间的相似率要高于肉鸡和蛋鸡之间的相似率($P<0.05$)。对不同鸡龄肉鸡舍内细菌气溶胶群落结构相似度分析,发现C2、C3、C4与C1的相似度逐渐由82.2%降低到62.0%,说明随着鸡龄的增加,空气中细菌气溶胶的群落结构与原有结构的差异逐渐增大。目前国内关于鸡舍细菌气溶胶群落结构方面的研究还未见报道。国外学者对笼养和网上养殖鸡舍空气中细菌气溶胶进行研究,同样发现两种养殖方式下细菌气溶胶群落结构存在较大差异,其相似性小于30%^[11]。

3.3 鸡舍内优势细菌种类差异

所调查的鸡舍内空气细菌主要有三类:拟杆菌门(Bacteroidetes)、变形菌门(Proteobacteria)和厚壁菌门

(Firmicutes)。这与Hong等^[10]对美国养鸡场调查结果相似。本研究所检测到的优势菌中,包括埃希氏菌属、泛菌属以及假单胞杆菌属中某些人类条件致病菌种。国外学者也在集约化畜禽养殖环境检测到泛菌属^[17]和假单胞菌^[18]。

蛋鸡和肉鸡舍内检测出的优势菌种类存在差异,如:条带9(Enterobacter)在蛋鸡舍普遍存在,且亮度较高,是蛋鸡舍的优势细菌气溶胶;条带10(Paenibacillus)和11(Flavobacteriaceae)只在蛋鸡舍内空气中检测到;条带8(Escherichia)在所有空气样品中虽然均有检出,但在肉鸡舍内空气中浓度高,为肉鸡舍内优势细菌气溶胶。同种养殖方式不同鸡舍空气中细菌气溶胶的优势菌属同样存在差异,如条带7(Acinetobacter)、8(Escherichia)、9(Enterobacter)和10(Paenibacillus)在A6中浓度较高,而在相似鸡龄的B1中各条带的亮度较低。肉鸡舍内优势细菌气溶胶种类同样有所不同(C4、D、E、F),如在鸡舍E中浓度较高的条带13(Clostridium),在其他肉鸡舍内浓度较低或未检出。本研究在肉鸡不同鸡龄阶段,检测到优势细菌气溶胶的变化,如条带9(Enterobacter)在养殖末期第34d,浓度突然增加。粪便中微生物随鸡龄的改变可能是造成该现象的主要原因。同时,舍内垃圾、饲料以及尘土等附着的微生物的变化也可能导致舍内优势细菌气溶胶种类变化。

4 结论

本研究结果表明,笼养舍内细菌气溶胶浓度和生

物多样性均高于网上养殖;舍内优势菌属在不同养殖方式、鸡龄和鸡舍间有所不同。本研究结果将为评估集约化养鸡场舍内空气质量,以及不同养殖类型鸡舍内生物气溶胶污染控制技术的建立提供基础数据。

参考文献:

- [1] Nehme B, Letourneau V, Forster R J, et al. Culture-independent approach of the bacterial bioaerosol diversity in the standard swine confinement buildings, and assessment of the seasonal effect[J]. *Environmental Microbiology*, 2008, 10(3):665-675.
- [2] 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 Rui. The progress of atmospheric bioaerosol research[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(4):546-552.
- [3] Chien Y C, Chen C J, Lin T H, et al. Characteristics of microbial aerosols released from chicken and swine feces[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2011, 61(8):882-889.
- [4] Ko G, Simmons Iii O D, Likirdopulos C A, et al. Investigation of bioaerosols released from swine farms using conventional and alternative waste treatment and management technologies[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(23):8849-8857.
- [5] Pascual L, Pérez-Luz S, Yáñez M A, et al. Bioaerosol emission from wastewater treatment plants[J]. *Aerobiologia*, 2003, 19(3):261-270.
- [6] Cormier Y, Tremblay G U Y, Meriaux A, et al. Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in quebec[J]. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1990, 51(6):304-309.
- [7] Donaldson A I, Gibson C F, Oliver R, et al. Infection of cattle by airborne foot-and-mouth disease virus: Minimal doses with O1 and SAT 2 strains[J]. *Research in Veterinary Science*, 1987, 43(3):339-346.
- [8] Chang C W, Chung H, Huang C F, et al. Exposure of workers to airborne microorganisms in open-air swine houses[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67(1):155-161.
- [9] Brooks J P, McLaughlin M R, Scheffler B, et al. Microbial and antibiotic resistant constituents associated with biological aerosols and poultry litter within a commercial poultry house[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(20):4770-4777.
- [10] Hong P Y, Li X, Yang X, et al. Monitoring airborne biotic contaminants in the indoor environment of pig and poultry confinement buildings[J]. *Environmental Microbiology*, 2012, 14:1420-1431.
- [11] Just N, Kiryuchuk S, Gilbert Y, et al. Bacterial diversity characterization of bioaerosols from cage-housed and floor-housed poultry operations[J]. *Environmental Research*, 2011, 111(4):492-498.
- [12] Ding Y, Wu W, Han Z, et al. Correlation of reactor performance and bacterial community composition during the removal of trimethylamine in three-stage biofilters[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2008, 38(2):248-258.
- [13] 魏磊, 崔金生. 不同季节鸡舍环境中细菌气溶胶含量的变化分析[J]. 中国家禽, 2012, 34(4):59-60.
WEI Lei, CUI Jin-sheng. Concentration variation of airborne bacteria in broiler house during different seasons[J]. *China Poultry*, 2012, 34(4):59-60.
- [14] 姚美玲, 张彬, 柴同杰. 鸡兔舍耐药大肠杆菌气溶胶向环境扩散的研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2007, 35(8):60-64.
YAO Mei-ling, ZHANG Bin, CHAI Tong-jie. Antibiotic resistance of airborne escherichia coli from hen house and rabbitry and their spreading to surroundings[J]. *Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition)*, 2007, 35(8):60-64.
- [15] Donham K J, Scallon L J, Pependorf W, et al. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings[J]. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1986, 47(7):404-410.
- [16] 柴同杰, 赵云玲, 刘文波, 等. 鸡舍环境耐药细菌气溶胶及其向环境传播的研究[J]. 中国预防兽医学报, 2003, 25(3):209-214.
CHAI Tong-jie, ZHAO Yun-ling, LIU Wen-bo, et al. The resistance against antibiotics of bacteria from a poultry house and their spreading to surroundings of the house[J]. *Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine*, 2003, 25(3):209-214.
- [17] Eduard W. Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture[J]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 1997, 4(2):179-186.
- [18] Radon K, Danuser B, Iversen M, et al. Air contaminants in different European farming environments[J]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2002, 9(1):41-48.