

# 兰州某居民区大气微生物气溶胶分布特征研究

孙强,李杰\*,赵炜,边云峰,于晨晖

(兰州交通大学环境与市政工程学院,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**采用 Andersen 采样器对兰州某居民小区夏季的大气微生物气溶胶浓度分布、粒径分布及日变化特征等进行观测。结果表明,居民区内大气微生物气溶胶浓度变化范围为  $528 \text{ CFU/m}^3 \sim 11\,553 \text{ CFU/m}^3$ ,属清洁级。其粒径主要集中在  $2.1 \mu\text{m} \sim 4.7 \mu\text{m}$  之间,易对人体支气管等造成影响。微生物气溶胶浓度的空间分布特征与小区垃圾房、垃圾桶位置及人的活动有关。其时间分布特征与日照强度有关,辐射强度最高的中午微生物气溶胶浓度最低。

**关键词:**微生物气溶胶;分布特征;居民区;兰州

中图分类号:X172;X513

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2019)04-0013-05

## Study on Distribution Characteristics of Atmospheric Microbial Aerosol in A Residential Area of Lanzhou

SUN Qiang, LI Jie\*, ZHAO Wei, BIAN Yun-feng, YU Chen-hui

(College of Environment and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** In this study, the distribution of concentration and particle size, and the diurnal variation characteristics of atmospheric microbial aerosol in a residential area of Lanzhou were observed in summer by using Andersen sampler. The results showed that the concentration varied from  $528 \text{ CFU/m}^3$  to  $11\,553 \text{ CFU/m}^3$ , which was in clean grade. The particle size was mainly concentrated between  $2.1 \mu\text{m}$  and  $4.7 \mu\text{m}$ , which was easy to affect human bronchi. The spatial distribution characteristics of microbial aerosol concentration were related to the location of garbage room and garbage bin, and human activities. The temporal distribution characteristics were related to the sunlight intensity. The concentration was the lowest at noon when the radiation intensity was the highest.

**Key words:** Microbial aerosol; Distribution characteristics; Residential area; Lanzhou

微生物气溶胶是指悬浮于大气或附着于大气颗粒物表面的细菌、真菌、放线菌、病毒、尘螨、花粉、孢子和动植物碎裂分解体等有生命活体所形成的胶体体系<sup>[1-2]</sup>。研究发现,80%的生物性粒子可以通过大气以附着颗粒、水滴的形式进行长距离传输扩散<sup>[3-4]</sup>。微生物气溶胶种类繁多,虽然致病细菌只占其中小部分,但对人体健康影响不容忽视,过高浓度的微生物气溶胶会增加人群各类疾病的发病率<sup>[5]</sup>。研究表明,一年中微生物气溶胶平均浓度最高是夏季,最低是冬季<sup>[6-12]</sup>。胡庆轩等<sup>[13]</sup>研究发现,一天内大气细菌粒子浓度与日光辐射强度呈反比,随着日光辐射强度增大,大气细菌粒子浓度下降的速度越快。因此,研究微生物气溶胶分

布特征、粒径分布、日变化及其与环境因子的相关性对控制污染源、切断传播途径具有切实意义。

城市居民小区微生物气溶胶的来源可以分为通过大气扩散传输进入居民区和居民区本身产生两种。兰州居民区多采用居民区、商业区、医院、学校混合而建的方式,导致居民区的微生物气溶胶变化特征较复杂,时刻影响着住户的身体健康。今选择兰州某居民区为研究对象,探究其中微生物气溶

收稿日期:2018-05-10;修订日期:2019-06-28

基金项目:兰州市科技局基金资助项目(2016-3-119)

作者简介:孙强(1991—),男,山东阳信人,在读研究生,研究方向为大气微生物气溶胶。

\*通信作者:李杰 E-mail: 936271028@qq.com

胶的浓度与粒径变化,期望能为居民区的基础设施合理规划和人们的健康出行提供指导作用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 采样地点和时间

选择兰州市安宁区(E103°72',N36°11')作为研究区域,该小区周围毗邻商业区、医院、学校,相隔较近具有代表性。在该居民区选择垃圾房、主跑道、正门、中心花园、厨房油烟排放口5个典型区域布设大气微生物气溶胶采样点,见图1。采样高度为人呼吸带,距离地面1.5 m。2017年7月18日—20日,在6:30—18:30之间,每次采样30 min。其中,正门和中心花园均在7:30、12:00、18:00各采样1次,主跑道和厨房油烟排放口均在7:30采样1次,垃圾房在6:30(关闭)和7:30(开放)时各采样1次。采样期间天气均为晴朗无风,空气质量指数(AQI)为101~117,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>质量浓度分别为79 μg/m<sup>3</sup>~184 μg/m<sup>3</sup>和33 μg/m<sup>3</sup>~64 μg/m<sup>3</sup>,温度、湿度分别为23℃~33℃和46%~69%。

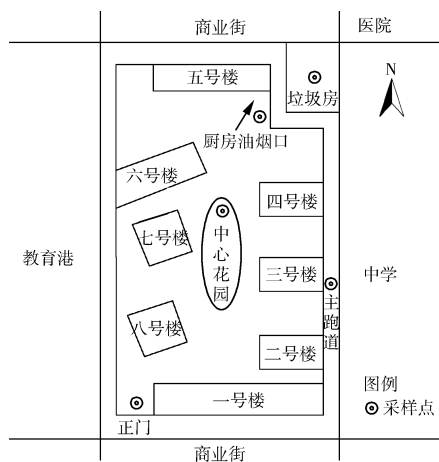


图1 居民区采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the residential area

### 1.2 采样方法

采用3台PSW-6型Andersen 6级空气微生物采样器采集样品。该采样器是模拟人呼吸道的解剖结构和空气动力学生理特征,采用惯性撞击原理将悬浮于大气中的微生物粒子按大小等级分别收集在采样介质表面上供进一步培养分析。采样器分为6级,每级400个孔,1~6级孔的直径逐渐减小,采样空气流量为28.3 L/min,每级空气流速逐次增大,从而将空气中的带菌粒子按大小不同分

别捕获在各级的培养介质上。采样器各级特征见表1。大气细菌、真菌、放线菌气溶胶的采样时长均为10 min。同时,监测环境空气温度、相对湿度、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>等环境因子。

表1 PSW-6型空气微生物采样器各级特征

级数	孔直径 <i>d</i> /mm	空气流速 <i>v</i> /(m·s <sup>-1</sup> )	捕集粒径范围 <i>d</i> /μm	有效截留粒径 ECD/μm
第一级	1.18	1.08	>7.00	7.00
第二级	0.91	1.79	4.70~7.00	4.70
第三级	0.71	2.97	3.30~4.70	3.30
第四级	0.53	5.28	2.10~3.30	2.10
第五级	0.34	12.77	1.10~2.10	1.10
第六级	0.25	23.29	0.65~1.10	0.65

### 1.3 培养方法

细菌采用普通营养琼脂培养基,真菌用沙氏培养基,放线菌用高氏一号培养基。在无菌的条件下向9 cm玻璃平皿中加入25 mL的培养基,使采样器各层孔眼至采样面距离(即撞击距离)为2 mm~3 mm。采集的细菌37℃培养48 h,真菌27℃培养72 h~120 h,放线菌培养箱内27℃培养120 h,分别在各级采样皿上进行菌落计数。

### 1.4 数据处理

#### 1.4.1 微生物气溶胶浓度

对各级采样器培养皿作菌落计数,根据各级空气微生物菌落数量,先利用公式(1)校正,再利用公式(2)计算出大气微生物气溶胶浓度<sup>[14]</sup>。

$$P_r = N \left( \frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \dots + \frac{1}{N-r_i+1} \right) \quad (1)$$

$$C_i = (N_i \times 1000) / (t \times Q) \quad (2)$$

式中: $P_r$ 为每级采样器上获得的有效菌落数(即经过校正的菌落数),CFU; $N$ 为每级采样器的采样孔数,个; $r_i$ 为每级采样器上获得的实际菌落数,CFU; $C_i$ 为大气微生物气溶胶浓度,CFU/m<sup>3</sup>; $N_i$ 为6级采样器上获得的有效菌落数之和,CFU; $t$ 为采样时间,min; $Q$ 为采样时气体流量,L/min。

#### 1.4.2 各级微生物粒径分布

各级微生物粒径分布以各级菌落数占6级总菌落数的百分比表示,见公式(3)。

$$P_i = r_i / \left( \sum r_i \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: $P_i$ 为第*i*级所对应粒径大小的微生物粒子所占百分比,%; $r_i$ 为每级采样器上获得的实际

菌落数, CFU;  $\Sigma r_i$  为 6 级采样器上获得的实际菌落数总和, CFU。

## 2 结果与分析

### 2.1 微生物气溶胶浓度分布

图 2(a)(b) 分别为中心花园和正门的微生物气溶胶日变化。数据为 3 d 平均值。由图 2(a) 可见, 微生物气溶胶变化呈现早晚高、中午低的分布趋势, 主要原因是中午太阳辐射较强, 抑制了微生物生长繁殖<sup>[15]</sup>。中心花园为背景参考点, 7:30 的总微生物平均浓度为  $(1\ 392 \pm 119)$  CFU/m<sup>3</sup>, 不同微生物气溶胶平均浓度由高到低为异养细菌 (732 CFU/m<sup>3</sup>) > 真菌 (561 CFU/m<sup>3</sup>) > 放线菌 (99 CFU/m<sup>3</sup>); 随着日光辐射的增强浓度逐渐降低, 12:00 总微生物平均浓度为  $(656 \pm 97)$  CFU/m<sup>3</sup>, 不同微生物气溶胶平均浓度由高到低为异养细菌 (365 CFU/m<sup>3</sup>) > 真菌 (244 CFU/m<sup>3</sup>) > 放线菌 (47 CFU/m<sup>3</sup>); 18:00 的总微生物平均浓度为  $(747 \pm 61)$  CFU/m<sup>3</sup>, 不同微生物气溶胶平均浓度由高到低为异养细菌 (450 CFU/m<sup>3</sup>) > 真菌 (231 CFU/m<sup>3</sup>) > 放线菌 (66 CFU/m<sup>3</sup>)。

正门为小区主要交通路段, 早中晚上下班高峰期人流较多, 同时正门前为交通主干道, 车辆流动较多, 正门微生物气溶胶水平对小区居民健康有直接影响。由图 2(b) 可见, 正门 7:30 的总微生物平均浓度为  $(1\ 396 \pm 161)$  CFU/m<sup>3</sup>, 不同微生物气溶胶平均浓度由高到低为异养细菌 (861 CFU/m<sup>3</sup>) > 真菌 (464 CFU/m<sup>3</sup>) > 放线菌 (71 CFU/m<sup>3</sup>); 随着日光辐射的增强浓度逐渐降低, 12:00 的总微生物平均浓度为  $(876 \pm 99)$  CFU/m<sup>3</sup>, 不同微生物气溶胶平均浓度由高到低为异养细菌 (527 CFU/m<sup>3</sup>) > 真菌 (292 CFU/m<sup>3</sup>) > 放线菌 (57 CFU/m<sup>3</sup>); 18:00 的总微生物平均浓度为  $(1\ 053 \pm 107)$  CFU/m<sup>3</sup>, 不同微生物气溶胶平均浓度由高到低为异养细菌 (683 CFU/m<sup>3</sup>) > 真菌 (317 CFU/m<sup>3</sup>) > 放线菌 (53 CFU/m<sup>3</sup>)。

垃圾房靠近医院, 微生物气溶胶中致病细菌可能较多, 作为重点污染源对其在关闭和开放状态下进行微生物气溶胶对比检测, 结果见图 3。由图 3 可见, 第一天, 垃圾房在关闭和开放状态下的总微生物气溶胶浓度分别为  $2\ 756$  CFU/m<sup>3</sup> 和  $11\ 553$  CFU/m<sup>3</sup>, 开放状态下的总微生物气溶胶浓度是关闭时的 4.2 倍, 是同时间中心花园的 8.3

倍。第二天, 垃圾房在关闭和开放状态下的总微生物气溶胶浓度分别为  $2\ 124$  CFU/m<sup>3</sup> 和  $7\ 198$  CFU/m<sup>3</sup>, 开放是关闭的 3.4 倍。第三天, 垃圾房在关闭和开放状态下的总微生物气溶胶浓度分别为  $2\ 327$  CFU/m<sup>3</sup> 和  $7\ 526$  CFU/m<sup>3</sup>, 开放是关闭的 3.2 倍。说明垃圾房封闭管理对微生物气溶胶在空气中的传播有很好的抑制作用。

主跑道是小区居民晨练主要场所, 晨练居民常穿过该区域, 现将厨房油烟排放口 (跑道油烟段) 与主跑道 (跑道无油烟段) 进行微生物气溶胶浓度对比检测, 结果见图 4。由图 4 可见, 第一天, 主跑道和厨房油烟排放口的总微生物气溶胶的浓度分别为  $2\ 930$  CFU/m<sup>3</sup> 和  $743$  CFU/m<sup>3</sup>, 跑道油烟段比无油烟段微生物气溶胶浓度下降了 74.6%。第二天, 主跑道和厨房油烟排放口的总微生物气溶胶的浓度分别为  $2\ 373$  CFU/m<sup>3</sup> 和  $528$  CFU/m<sup>3</sup>, 跑道油烟段比无油烟段下降了 77.7%。第三天, 主跑道

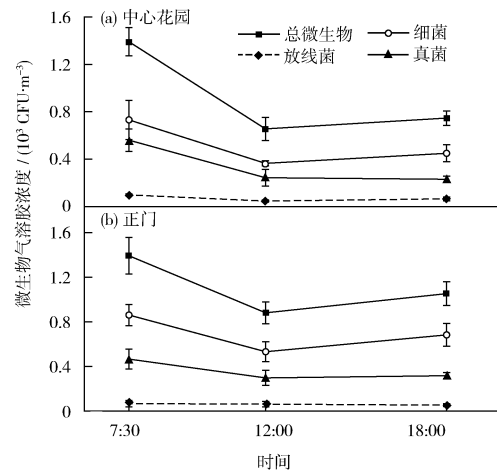


图 2 中心花园和正门的微生物气溶胶日变化  
Fig. 2 Diurnal variation of microbial aerosol in the central garden and at the main entrance

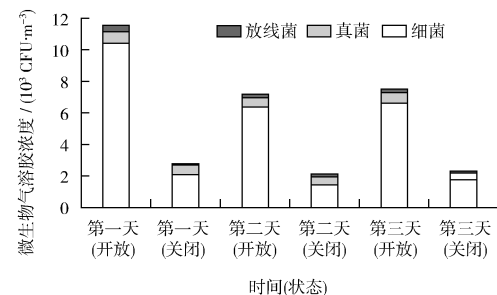


图 3 垃圾房关闭与开放下微生物气溶胶浓度对比  
Fig. 3 Comparison of microbial aerosol concentrations with closed and open garbage room

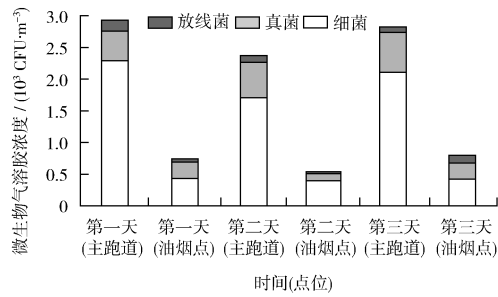


图 4 主跑道与厨房油烟排放口微生物气溶胶浓度对比  
Fig. 4 Comparison of microbial aerosol concentrations in the main runway and at the kitchen fume outlet

和厨房油烟排放口的总微生物气溶胶的浓度分别为 2 825 CFU/m<sup>3</sup>和 799 CFU/m<sup>3</sup>,跑道油烟段比无油烟段下降了 71.7%。可见,厨房油烟对微生物气溶胶浓度有一定的抑制作用。

2.2 微生物气溶胶粒径分布

图 5 为各采样点微生物气溶胶粒径分布。由图 5 可见,中心花园微生物气溶胶粒径主要集中在 2.1 μm~4.7 μm 之间,峰值出现在 2.1 μm~3.3 μm 之间,在 2.1 μm~3.3 μm 之间的微生物气溶胶占 38.6%,在微生物气溶胶组成中细菌占 52.6%,真菌占 40.3%,放线菌占 7.1%。正门微生物气溶胶

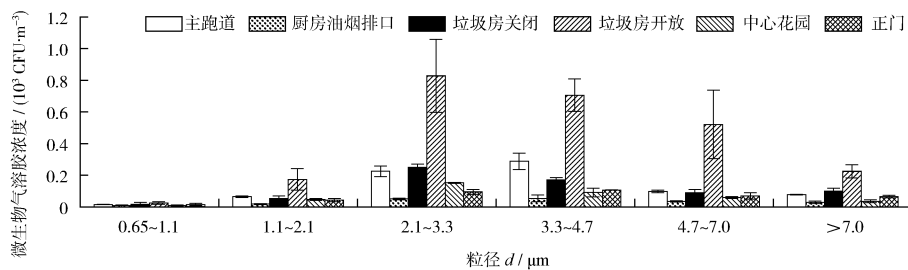


图 5 各采样点微生物气溶胶粒径分布  
Fig. 5 Distribution of microbial aerosol particle size at each sampling site

2.3 讨论

居民小区内总微生物气溶胶浓度变化范围为 528 CFU/m<sup>3</sup>~11 553 CFU/m<sup>3</sup>,根据中国科学院生态研究中心制定的大气微生物六级标准<sup>[16]</sup>,该居民区内的 5 个采样点总微生物气溶胶浓度平均值均处于清洁级范围(垃圾房开放时平均值属于较清洁,最高值为污染级)。孙荣高<sup>[17]</sup>对兰州大气微生物检测发现,各功能区微生物气溶胶浓度变化范围为 2 040 CFU/m<sup>3</sup>~24 997 CFU/m<sup>3</sup>,说明居民区内的微生物气溶胶浓度优于兰州各功能区。宋

粒径主要集中在 2.1 μm~4.7 μm 之间,峰值出现在 3.3 μm~4.7 μm 之间,在 3.3~4.7 μm 之间的微生物气溶胶占 27.1%,在微生物气溶胶组成中细菌占 64.8%,真菌占 33.6%,放线菌占 1.6%。

垃圾房关闭与开放时微生物气溶胶的粒径都主要集中在 2.1 μm~4.7 μm 之间,峰值出现在 2.1 μm~3.3 μm 之间。垃圾房关闭时 2.1 μm~3.3 μm 之间的微生物气溶胶占 36.7%,在微生物气溶胶组成中细菌占 73.3%,真菌占 21.3%,放线菌占 5.4%;垃圾房开放时 2.1 μm~3.3 μm 之间的微生物气溶胶占 33.4%,在微生物气溶胶组成中细菌占 89.0%,真菌占 7.6%,放线菌占 3.4%。

主跑道微生物气溶胶的粒径主要集中在 2.1 μm~4.7 μm 之间,峰值出现在 3.3 μm~4.7 μm 之间,在 3.3 μm~4.7 μm 之间的微生物气溶胶占 37.5%,在微生物气溶胶组成中细菌占 75.3%,真菌占 20.2%,放线菌占 4.5%。厨房油烟排放口微生物气溶胶粒径主要集中在 2.1 μm~4.7 μm 之间,峰值出现在 3.3 μm~4.7 μm 之间,在 3.3 μm~4.7 μm 之间的微生物气溶胶占 27.8%,在微生物气溶胶组成中细菌占 60.4%,真菌占 30.2%,放线菌占 9.4%。

森<sup>[18]</sup>对兰州不同功能区及重点污染区大气微生物气溶胶分布特征研究发现,与居民区环境接近的植物园微生物气溶胶的浓度范围为 406 CFU/m<sup>3</sup>~2 611 CFU/m<sup>3</sup>,说明受到人流、污染物的影响,居民区微生物气溶胶劣于兰州植物园。小区内微生物气溶胶浓度随着时间的变化呈现一定的规律性,早晨浓度最高,早晨至中午随着太阳辐射的增强浓度逐渐降低,中午至下午随着太阳辐射的减弱浓度逐渐升高。这与宋森<sup>[18]</sup>对兰州市不同功能区微生物日变化研究结果相近。正门微生物气溶胶浓度高

于中心花园,主要原因是:正门的人流量远高于中心花园,人群是微生物气溶胶的重要产生源之一;中心花园周围植物较多,植物对微生物气溶胶的传播有阻断作用;正门车辆较多,车辆排出的烟气、空气悬浮物积累较多。垃圾房开放与关闭时微生物气溶胶浓度关系显著( $P=0.023$ ),其粒径关系也极为显著( $P=0.034, R^2=0.8581$ ),说明虽然垃圾房封闭管理对微生物气溶胶在空气中的传播有很好的抑制作用,但开放与关闭时微生物气溶胶的变化趋势相似。通过对主跑道与厨房油烟排放口的微生物气溶胶浓度的显著性分析,发现 $P=0.0008$ 。同时,两者微生物气溶胶粒径之间关系差异性显著( $P=0.040, R^2=0.9148$ )。

小区内微生物气溶胶的粒径都主要集中在 $2.1\ \mu\text{m} \sim 4.7\ \mu\text{m}$ 之间,峰值主要在 $2.1\ \mu\text{m} \sim 3.3\ \mu\text{m}$ 之间。峰值内微生物主要影响人体支气管等器官。许鹏程等<sup>[19]</sup>对西安市不同场所微生物气溶胶粒径分布研究发现,细菌和真菌分别主要分布在前4级( $>2.1\ \mu\text{m}$ )和第3、4、5级( $1.1\ \mu\text{m} \sim 4.7\ \mu\text{m}$ ),与文中研究结果相近。马嘉伟等<sup>[20]</sup>对生活垃圾填埋场研究发现,作业区和覆盖区空气细菌粒径分布高峰分别为 $2.1\ \mu\text{m} \sim 4.7\ \mu\text{m}$ 和 $0.65\ \mu\text{m} \sim 2.1\ \mu\text{m}$ ,渗滤液处理逸散的细菌粒径大部分 $>4.7\ \mu\text{m}$ ,与文中研究略有差异。

### 3 结论

(1) 居民小区内各采样点均检测出细菌、真菌和放线菌,总微生物气溶胶的浓度变化范围为 $528\ \text{CFU}/\text{m}^3 \sim 11\ 553\ \text{CFU}/\text{m}^3$ 。

(2) 微生物的变化根据时间的变化呈现一定规律性。早晨至中午,微生物气溶胶浓度随着太阳辐射的增强而逐渐降低,中午至下午随着太阳辐射的减弱浓度逐渐升高,早晨浓度最高。

(3) 小区内微生物气溶胶的粒径主要集中在 $2.1\ \mu\text{m} \sim 4.7\ \mu\text{m}$ 之间,峰值在 $2.1\ \mu\text{m} \sim 3.3\ \mu\text{m}$ 之间。峰值内微生物主要影响人体支气管等器官。

#### [参考文献]

- [1] ARIYA P A, AMYOT M. New directions: the role of bioaerosols in atmospheric chemistry and physics [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(8): 1231 - 1232.
- [2] GRINSHUPUN S A, CLARK J M. Measurement and characterization of bioaerosols [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2005, 36: 553 - 555.
- [3] WEI K, ZHENG Y H, LI J, et al. Microbial aerosol characteristics in highly polluted and near-pristine environments featuring different climatic conditions [J]. *Science Bulletin*, 2015, 60(16): 1439 - 1447.
- [4] KELLOGG C A, GRIFFIN D W. Aerobiology and the global transport of desert dust [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006, 21(11): 638 - 644.
- [5] 路瑞, 李婉欣, 宋颖, 等. 西安市不同天气下可培养微生物气溶胶浓度变化特征 [J]. *环境科学研究*, 2017, 30(7): 1012 - 1019.
- [6] MOULI P C, MOHAN S V, REDDY S J. Assessment of microbial (bacteria) concentrations of ambient air at semi-arid urban region: influence of meteorological factors [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2005, 3(2): 139 - 149.
- [7] LI D W, LAMONDIA J. Airborne fungi associated with ornamental plant propagation in greenhouses [J]. *Aerobiologia*, 2010, 26(1): 15 - 28.
- [8] CHAO H J, SCHWARTZ J, MILTON D K, et al. Populations and determinants of airborne fungi in large office buildings [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002, 110(8): 777 - 782.
- [9] MANCINELLI R L, SHULL W A. Airborne bacteria in an urban environment [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1978, 35(6): 1095 - 1101.
- [10] BOVALLIUS A, BUCHT B, ROFFEY R, et al. Long-range air transmission of bacteria [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1978, 35(6): 1231 - 1232.
- [11] LEAITCH W R, ISAAC G A. Tropospheric aerosol size distributions from 1982 to 1988 over eastern North America [J]. *Atmospheric Environment*, 1991, 25(3-4): 601 - 619.
- [12] LEWIS E R, SCHWARTZ S E. Sea salt aerosol production: mechanisms, methods, measurements, and Models—a critical review [M]. Washington D. C.: American Geophysical Union, 2004.
- [13] 胡庆轩, 车凤翔, 叶斌严. 日光辐射对大气中细菌粒子的影响 [J]. *中国消毒学杂志*, 1993, 10(2): 65 - 69.
- [14] ANDERSEN A A. New sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles [J]. *Journal of Bacteriology*, 1958, 76(5): 471 - 484.
- [15] TONG Y Y, LIGHTHART B. Effect of simulated solar radiation on mixed outdoor atmospheric bacterial populations [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1998, 26(4): 311 - 316.
- [16] 余叔文. 大气污染生物监测方法 [M]. 广州: 中山大学出版社, 1993.
- [17] 孙荣高. 兰州大气微生物污染评价及防治对策研究 [J]. *新疆环境保护*, 1997, 19(3): 35 - 37.
- [18] 宋森. 兰州不同功能区及重点污染区大气微生物气溶胶分布特征研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.
- [19] 许鹏程, 张崇森, 袁琳, 等. 西安市典型场所微生物气溶胶的分布特征 [J]. *安全与环境学报*, 2017, 17(6): 2410 - 2414.
- [20] 马嘉伟, 杨凯雄, 柴风光, 等. 生活垃圾填埋场细菌气溶胶粒径分布及种群特征 [J/OL]. [2019-03-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1895.X.20190326.1524.010.html>.