

# 北京市三个功能区空气微生物中值直径及粒径分布特征

方治国<sup>1</sup>, 欧阳志云<sup>1\*</sup>, 胡利锋<sup>1, 2</sup>, 王效科<sup>1</sup>, 林学强<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085; 2. 湖南农业大学生物安全与科技学院, 长沙 410128)

**摘要:** 空气中微生物对人类健康的危害除了与微生物的种类和浓度有关外, 还与微生物粒子的大小密切相关, 并且不同粒径的空气微生物对人们健康影响的作用机理不同。通过定点试验调查, 运用国产安德森生物粒子取样器着重研究北京市 3 个功能区(文教区-中国科学院生态环境研究中心所在区域、交通干线-西直门和公园绿地-北京植物园)空气微生物的中值直径和粒径分布。结果表明, 不同功能区空气微生物的粒径分布相同, 空气细菌、真菌与放线菌的粒径分布各不相同。空气细菌粒径呈偏态分布, 空气真菌呈对数正态分布, 空气放线菌的分布特征与空气真菌相反, 主要分布在  $> 8.2 \mu\text{m}$  和  $< 2.0 \mu\text{m}$  级中。不同属真菌的粒径分布也不相同, 枝孢属、青霉属和曲霉属呈对数正态分布, 链格孢属和无孢菌为偏态分布。空气细菌的中值直径明显大于空气真菌和放线菌。交通干线和公园绿地空气细菌和真菌粒子中值直径明显大于文教区, 放线菌粒子中值直径交通干线明显高于文教区和公园绿地。空气微生物中值直径在一年各月中没有明显的变化规律。

**关键词:** 空气微生物; 中值直径; 粒径分布; 偏态分布; 对数正态分布

文章编号: 1000-0933(2005)12-3220-05 中图分类号: Q 938.14 文献标识码: A

## Study on median diameters and size distributions of airborne microbes in three functional regions in Beijing

FANG Zhi-Guo<sup>1</sup>, OU YANG Zhi-Yun<sup>1\*</sup>, HU Li-Feng<sup>1, 2</sup>, WANG Xiao-Ke<sup>1</sup>, LIN Xue-Qiang<sup>1</sup> (1. Key Laboratory of System Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. College of Biosafety Science and Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3220~ 3224

**Abstract** The effect of airborne microbes on human health not only depended on their compositions (genera and species), but also on their concentrations and sizes. Moreover, there are different mechanisms of airborne microbes of different sizes with different effects on human health. The size distributions and median diameters were carried out in detail with Andersen sampler in three different functional regions in Beijing. Results showed that there were similar distribution characteristics of airborne microbes in different functional regions, and different distribution characteristics among airborne bacteria, fungi, and actinomycetes. Airborne bacteria were plotted with skew distribution, and airborne fungi with normal logarithmic distribution. The distributions of airborne actinomycetes were completely opposite to the fungal spore. The size distributions of dominant fungi were consistent in different functional regions. *Cladosporium*, *Penicillium* and *Aspergillus* were recorded with normal logarithmic distribution, the former was most collected in stage3, stage4 and stage5 ( $1.0 \sim 6.0 \mu\text{m}$ ), and the later were most in stage4 and stage5 ( $1.0 \sim 3.5 \mu\text{m}$ ). *Alternaria* and nonsporing were presented with skew distribution, the former was most found in the former three stages ( $> 3.0 \mu\text{m}$ ), and the later in the former five stages ( $> 1.0 \mu\text{m}$ ). The median diameters of airborne bacteria were larger than airborne fungi and actinomycetes. In three functional regions, the largest bacterial diameter was founded in main traffic lines, and airborne fungi in garden green areas. There were no significant variations of microbial

基金项目: 中国科学院知识创新工程方向性资助项目 (KZCX3-SW-424)

收稿日期: 2005-04-22; 修订日期: 2005-08-29

作者简介: 方治国(1977~), 男, 安徽黄山人, 博士生, 从事生物多样性和微生物生态研究。

\* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: zyouyang@mail.rcees.ac.cn

Foundation item: The Project of Knowledge Innovation of CAS (No. KZCX3-SW-424)

Received date: 2005-04-22; Accepted date: 2005-08-29

Biography: FANG Zhi-Guo, Ph. D. candidate, mainly engaged in biodiversity and microbial ecology.

median diameters within the one-year of the study.

**Key words:** airborne microbes; median diameter; size distribution; skew distribution; logarithmic normal distribution

自然界中空气微生物是以气溶胶的形式存在于环境中的。细菌吸附在尘埃粒子表面,真菌则以孢子的形态在空气中。特定的空气微生物具有特定的动力学粒径<sup>[1-3]</sup>。风媒传粉的植物花粉为 17~58 $\mu\text{m}$ ,真菌孢子为 1~30 $\mu\text{m}$ ,细菌为 0.25~8 $\mu\text{m}$ ,病毒的直径则小于 0.3 $\mu\text{m}$ <sup>[4-7]</sup>。然而,空气中各种微生物的来源不同,不同环境中微生物的种类和结构也不相同。微生物气溶胶的粒径会随着各种环境条件和培养条件的变化而变化。研究表明,空气真菌的直径可能与孢子菌龄和生长基质营养成分密切相关,还与空气湿度和温度有关<sup>[1]</sup>。空气微生物粒径的变化还可能是由于孢子的聚合率不同,孢子聚合率受到微生物粒子的来源和粒子的释放机理的影响<sup>[2,8]</sup>。

空气中病原菌可以在空气中进行繁殖并且能够向周围的环境中扩散,导致人类过敏反应,对免疫力低下的人们造成严重的健康危害<sup>[9]</sup>,例如哮喘和多种呼吸性疾病等。空气中微生物对人类健康的危害除了与微生物的种类和浓度有关外,还与微生物粒子的大小密切相关<sup>[2]</sup>。并且不同粒径的空气微生物对人们健康影响的作用机理不同。较大的孢子(>10 $\mu\text{m}$ )沉积在上支气管(鼻,咽喉),能够引起干热发烧症状;较小的孢子(<10 $\mu\text{m}$ ,特别<5 $\mu\text{m}$ )可以渗透到下支气管,可以导致过敏和哮喘;那些更小的孢子(<0.1 $\mu\text{m}$ )则能够渗透到呼吸道或更深的部分,不同程度地影响人们身体的健康<sup>[10]</sup>。此外,微生物粒子在空气中的行为与它们的粒径、密度和形态密切相关<sup>[11]</sup>,而空气微生物的中值直径是衡量其粒径大小的重要标准,所以空气中微生物的粒径分布及其中值直径是衡量它对人们健康危害的重要指标。了解不同环境中空气微生物中值直径、粒径分布特征及其动态变化规律对人们疾病的预防具有重要的理论和现实的意义。

## 1 研究材料和方法

### 1.1 研究时间和地点

在北京市选取 3 个不同的功能区,文教区(Culture and education region, CER)、交通干线(Main traffic line, MTL)和公园绿地(Garden green region, GGR),2003 年 6 月~2004 年 5 月取样。3 个地点分别选取在中国科学院生态环境研究中心、西直门立交桥和植物园。中国科学院生态环境研究中心是研究机构,院内有实验楼、办公楼与道路。绿地面积约占 50%,车辆流动较少,而人员走动和人们活动较多;西直门立交桥是北京市交通枢纽,车辆流动很多,各条道路平均每分钟共通过的车辆约 150 余辆,交通污染比较严重,绿地面积很少,地面灰尘较多,容易飘在近地面的空气中造成空气污染;植物园内有大量不同类型的树木和花草,如半乔木、灌木和草本植物,绿地面积占 95% 以上,草本植物占有绝大的比例。平时几乎没有车辆和行人通过,是环境质量非常良好,非常洁净的地方。

### 1.2 空气微生物取样器

采用国产的 Andersen 生物粒子取样器(FA-1 撞击式空气微生物采样器)进行测定。它是模拟人呼吸道的解剖结构和空气动力学特征,采用惯性撞击原理设计制造的。该取样器分为 6 级,每级 400 个孔,从 I~VI 级孔的直径逐渐缩小,每一级的空气流速逐次增大,从而把空气中的带菌粒子按大小不同分别捕获在各级的培养皿上。采样器各级的特性见表 1。

### 1.3 取样方法和培养方法

在这 3 个地点同时进行取样,每月取样 1 次,每次连续取样 3d,每天分别在 9:00,13:00 和 17:00 取样 3 次,每次 3 个重复。采样高度为人呼吸带,距离地面 1.5m 处。采样空气流量为 28.3L/min,采样器各层的孔眼至采样面的距离(即撞击距离)为 2mm。空气细菌和真菌的采样时间为 3min,空气放线菌的采样时间为 5min。

采样用 9cm 的玻璃平皿,灭菌后在无菌的条件下加入 20ml 的培养基。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,采集的样品在 37 培养箱内培养 48h;真菌采样用沙氏培养基,采集的真菌样品在 25 培养箱内培养 72h;放线菌采用高氏一号培养基,

每 300ml 培养基中外加 1ml 3% 的重铬酸钾溶液,采集的样品在 25 培养 120h,分别在各级采样皿上进行菌落计数。

### 1.4 计算方法

#### 1.4.1 各级带菌粒子百分比:

$$P = \frac{n}{T} \times 100\%$$

表 1 FA-1 取样器各级特征

级数 Series	孔径(mm) Aperture	空气流速(m/s) Velocity of air flow	捕集范围( $\mu\text{m}$ ) Range of trapping	ECD ( $\mu\text{m}$ )
Stage 1	1.18	1.08	> 8.2	8.2
Stage 2	0.91	1.79	5.0~10.4	6.0
Stage 3	0.71	2.97	3.0~6.0	3.0
Stage 4	0.53	5.28	2.0~3.5	2.0
Stage 5	0.34	12.77	1.0~2.0	1.0
Stage 6	0.25	23.29	< 1.0	0.65

\* ECD 有效截留粒子径 Represents effective cut diameter

式中,  $P$  为各级带菌粒子百分比;  $T$  为 6 级总菌落数;  $n$  为各级菌落数。

**1.4.2 带菌粒子中值直径** 根据试验数据算出采样器各级的空气带菌粒子数占总数的百分比, 然后按照 Stage6~ Stage1 的顺序进行累加, 算出各级的累计百分比, 再根据给定的采样器各级 ECD 和各级累计百分比, 求得对数回归方程, 累计百分比为 50% 时相对应的 ECD 值即为中值直径。

### 1.5 空气真菌鉴定方法

根据真菌菌落的培养特性和显微镜下真菌孢子的形态特征把空气真菌鉴定到属<sup>[12-15]</sup>。对在原培养基上培养 7d 未产生孢子的菌落, 接种培养 2 周后, 仍未见孢子生成, 则被认为是无孢菌群<sup>[18,19]</sup>。

### 1.6 统计分析

本研究数据分析和图表绘制用 SPSS Version 10.0 和 Microsoft Excel 2000 进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 空气微生物粒径分布

#### 2.1.1 不同功能区空气微生物粒径分布

(1) 空气细菌粒径分布 3 个功能区空气细菌的粒径分布趋势相同。细菌粒子粒数百分比从 Stage1 到 Stage6 逐渐减少, 但在 Stage2 有明显下降趋势, 呈偏态分布。文教区, 交通干线和公园绿地的细菌粒子主要分布在前 4 级 ( $> 2.0\mu\text{m}$ ) 中, 分别占总数的 78.6%, 84.0% 和 81.5%。高峰分布在 Stage1 ( $> 8.2\mu\text{m}$ ) 中, 分别占 23.5%, 27.0% 和 25.3%; 最低值分布在 Stage6 ( $< 1.0\mu\text{m}$ ) 中, 分别占 6.1%, 6.9% 和 7.2% (图 1)。在前 4 级和 Stage1 中, 均为交通干线空气细菌所占的百分比最大。空气细菌大多是吸附于尘埃粒子表面, 由于重力的作用, 较大的粒子沉降于近地面, 而较小的粒子则漂浮在高空, 所以人工呼吸带较大的细菌粒子明显多于较小的粒子。交通干线汽车来往频繁, 地面的土壤细粒和灰尘粒子漂浮于近地面, 这些灰尘和细粒是交通干线空气细菌的主要来源, 这可能是交通干线前 4 级中细菌粒子占的比例大于其它功能区的主要原因。这与胡庆轩等在北京西单、丰台、天津塘沽和沈阳的研究结果相似, 只是他们的结果表明, 空气细菌粒子粒数百分比从 Stage1 到 Stage6 逐渐减少, 在 Stage2 没有下降趋势, 并且有树林的取样点  $> 6.0\mu\text{m}$  的细菌粒数百分比高于其它的取样点<sup>[16-18]</sup>。

(2) 空气真菌粒径分布 3 个功能区空气真菌的粒径分布趋势相同, 呈对数正态分布。文教区, 交通干线和公园绿地的真菌粒子主要分布在 Stage3, Stage4 和 Stage5 ( $1.0\sim 6.0\mu\text{m}$ ) 中, 分别占总数的 71.6%, 74.2% 和 68.3%。高峰分布在 Stage4 ( $2.0\sim 3.5\mu\text{m}$ ), 分别占 28.0%, 36.2% 和 29.5%; 最低值与空气细菌一样, 也是分布在 Stage6 ( $< 1.0\mu\text{m}$ ) 中, 分别占 5.0%, 4.5%, 5.6% (图 1)。胡庆轩等在 20 世纪 90 年代初期研究北京西单和丰台空气微生物粒径分布时也发现, 空气真菌呈对数正态分布, 但是高峰分布在 Stage3 中<sup>[16-18]</sup>。这可能与取样的环境有关, 而且随着城市化进程的加速, 各种环境因素的变化也可能是引起空气真菌粒径高峰变化的原因。

(3) 空气放线菌粒径分布 3 个功能区空气放线菌的粒径分布趋势相同, 它们的分布特征与空气真菌恰好相反。文教区, 交通干线和公园绿地的放线菌主要分布在 Stage1, Stage5 和 Stage6 中, 3 级总和分别占总数的 61.1%, 60.7% 和 64.8%。Stage2, Stage3 和 Stage4 中空气放线菌分布比较均匀, 均约占总数的 10%~14% 之间 (图 1)。

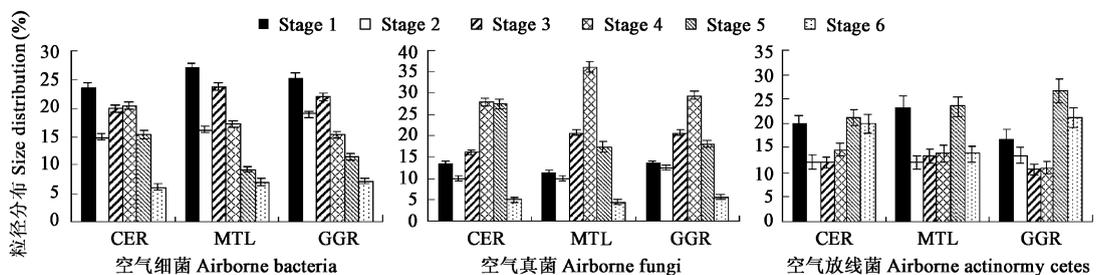


图 1 不同功能区空气微生物粒径分布

Fig. 1 Size distributions of airborne microbes in different functional regions

CER 文教区 Culture and education region; MTL 交通干线 Main traffic line; GGR 公园绿地 Garden green region; 下同 the same below

**2.1.2 不同功能区优势真菌粒径分布** 不同真菌在空气中粒径分布特征如图 2。枝孢属、青霉属和曲霉属呈对数正态分布。枝孢属主要分布在 Stage3, Stage4 和 Stage5 中, 文教区、交通干线和公园绿地 3 级总和分别占总数的 80.0%, 81.1% 和 81.2%, 高峰都出现在 Stage4 中, 分别占 36.1%, 46.2% 和 43.6%。最低值出现在 Stage6 中, 分别占 3.6%, 3.9% 和 4.2%。青霉属主要分布在 Stage4 和 Stage5 中, 3 个功能区 2 级总和分别占 80.5%, 73.1% 和 76.4%。曲霉属也是主要分布在 Stage4 和 Stage5

中, 3 个功能区 2 级总和分别占 73.3%, 73.1% 和 75.4%。链格孢属和无孢菌呈偏态分布。链格孢属主要分布在前 3 级中, 文教区、交通干线和公园绿地 3 级总和分别占 75.3%, 79.3% 和 80.3%, 高峰都出现在 Stage1 中, 分别占 34.1%, 32.0% 和 30.7%。无孢菌主要平均分布在前 5 级中, 总和分别占 94.9%, 96.0% 和 92.5%。最低值都出现在 Stage6 中, 分别占 5.1%, 4.0% 和 7.5%。

### 2.2 空气微生物中值直径

**2.2.1 不同功能区空气微生物中值直径** 不同功能区空气微生物粒子中值直径不相同(图 3)。空气细菌粒子中值直径约为 2.5 $\mu\text{m}$ , 空气真菌和放线菌粒子约为 2.0 $\mu\text{m}$ 。空气细菌的中值直径明显大于空气真菌和放线菌 ( $p < 0.01$ )。研究表明, 细菌主要吸附在尘埃粒子表面, 真菌则以单个孢子的形式存在于空气中, 这可能是细菌中值直径大于真菌和放线菌的原因。空气细菌和真菌粒子中值直径交通干线和公园绿地明显大于文教区 ( $p < 0.05$ ), 放线菌中值直径交通干线明显高于文教区和公园绿地 ( $p < 0.05$ )。

**2.2.2 不同功能区空气微生物中值直径的月变化特征** 空气微生物中值直径的月变化特征如图 4。在一年各个月中, 3 个功能区空气微生物的中值直径的变化趋势不明显, 没有显著的变化规律。空气细菌中值直径主要在约 2.5 $\mu\text{m}$  的上下范围波动, 最低值出现在中国科学院生态环境研究中心 10 月份, 为 2.12 $\mu\text{m}$ , 最高值出现在植物园 5 月份, 为 2.87 $\mu\text{m}$ 。空气真菌和放线菌主要在 2.0 $\mu\text{m}$  的上下范围波动。

空气微生物的中值直径和粒径分布还受到各种环境条件的影响, 如沙尘暴天气能够增加大粒子的浓度, 而降雨和降雪则对大粒子有冲刷作用, 降低它们的比例, 从而改变空气微生物的粒径分布特征和中值直径<sup>[19]</sup>。

### 3 结论

#### 3.1 不同功能区空气微生物粒径分布相同

空气细菌粒子主要分布在前 4 级 (> 2.0 $\mu\text{m}$ ) 中, 粒数百分比从 Stage 1 到 Stage 6 逐渐减少, 在 Stage 2 有明显下降趋势, 呈偏态分布。空气真菌主要分布在 Stage 3, Stage 4 和 Stage 5 (1.0 ~ 6.0 $\mu\text{m}$ ) 中, 高峰出现在 Stage 4 中, 呈对数正态分布。空气放线菌粒径分布与空气真菌恰好相反, 主要分布在 Stage 1, Stage 5 和 Stage 6 中。

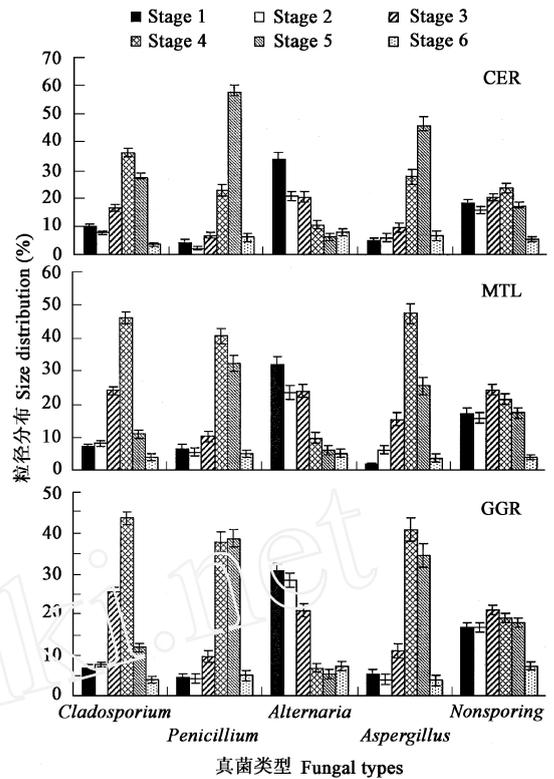


图 2 不同功能区优势真菌粒径分布

Fig. 2 Size distributions of dominant fungi in different functional regions

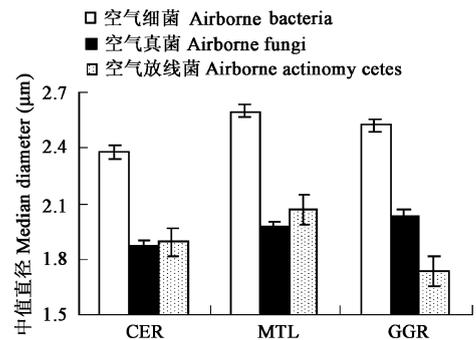


图 3 不同功能区空气微生物中值直径

Fig. 3 Median diameter of airborne microbes in different functional regions

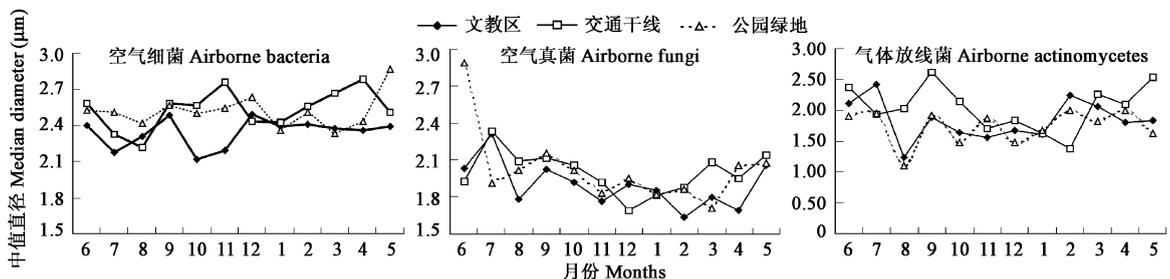


图 4 不同功能区空气微生物中值直径月变化

Fig. 4 Monthly variations of median diameter in different functional regions

### 3.2 不同属的空气真菌粒径分布不同

枝孢属主要分布在 Stage 3, Stage 4 和 Stage 5 级(1.0~ 6.0 $\mu\text{m}$ )中,青霉属和曲霉属主要分布在 Stage 4 和 Stage 5 中,呈对数正态分布;交链孢属主要分布在前 3 级(> 3.0 $\mu\text{m}$ ),无孢菌主要分布在前 5 级(> 1.0 $\mu\text{m}$ ),呈偏态分布。

### 3.3 北京市空气细菌的中值直径

空气中的细菌中值直径约为 2.5 $\mu\text{m}$ ,空气真菌和放线菌约为 2.0 $\mu\text{m}$ 。空气细菌的中值直径明显大于空气真菌和放线菌。交通干线和公园绿地空气细菌和真菌粒子中值直径明显大于文教区,交通干线空气放线菌中值直径明显大于文教区和公园绿地。

3.4 在一年中,不同功能区空气微生物中值直径没有显著的变化规律。空气细菌中值直径主要在约 2.5 $\mu\text{m}$  的上下范围波动,而空气真菌和放线菌主要在 2.0 $\mu\text{m}$  的上下范围波动。

## References

- [ 1 ] Pasanen A, Pasanen P, Jantunen M, *et al*. Significance of air humidity and air velocity for fungal spore release into the air. *Atmospheric Environment*, 1991, **25A** (2): 459~ 462
- [ 2 ] Reponen T, Willeke K, Ulevicius V, *et al*. Effect of relative humidity on the aerodynamic diameter and respiratory deposition of fungal spores. *Atmospheric Environment*, 1996, **30** (23): 3967~ 3974
- [ 3 ] Reponen T, Gazenko S, Grinshpun S, *et al*. Characteristics of airborne actinomycete spores. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, **64** (10): 3807~ 3812
- [ 4 ] Stanley R, Linskins H. *Pollen: Biology, chemistry and management*. Berlin: Springer-Verlag, 1974
- [ 5 ] Gregory P. *The microbiology of the atmosphere*. 2nd ed. Leonard Hall, 1973
- [ 6 ] Thompson W, editor. *Black's medical dictionary*, 33 ed. Adam and Charles Black, 1981.
- [ 7 ] Taylor E, ed. *Dorland's medical dictionary*. Philadelphia: W. B. Saunders Co, 1988
- [ 8 ] Lehtonen M, Reponen T, Nevalainen A. Everyday activities and variation of fungal spore concentrations in indoor air. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1993, **31**: 25~ 39.
- [ 9 ] Shelton B, Kirkland K, Flanders W, *et al*. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, **68** (4): 1743~ 1753
- [ 10 ] Horner W, Helbling A, Salvaggio J, *et al*. Fungal allergens. *Clinical Microbiology Review*, 1995, **8**: 161~ 179.
- [ 11 ] Jones A, Harrison R. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations—a review. *Science of the Total Environment*, 2004, **326**: 151~ 180
- [ 12 ] Wei J C. *Fungal identification handbook*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979.
- [ 13 ] Lu J Y. *Plant pathogenic fungi*. Beijing: China Agricultural Press, 2001. 392~ 397.
- [ 14 ] Dai F L. *Fungal morphology and Taxonomy*. Beijing: Science Press, 1987. 1~ 352
- [ 15 ] Barnett H L, Hunter B B (composing), Shen C Y (translating). *Deuteromycetes illustration (third volume)*. Beijing: Science press, 1977. 1~ 240
- [ 16 ] Hu Q X, Chen Z S, Xu G Q, *et al*. Size distribution of airborne microbes in Beijing area, *Environmental Monitoring in China*, 1991, **7** (1): 9~ 11.
- [ 17 ] Hu Q X, Xu X Z, Chen M L, *et al*. Study on airborne microbes- the median diameter and size distribution of airborne bacteria. *Environmental Monitoring in China*, 1994, **19** (6): 37~ 39.
- [ 18 ] Hu Q X, Xu G Q, Xu X Z, *et al*. Size distribution of airborne microorganic particle. *Environmental Science in China*, 1990, **10** (2): 99~ 102
- [ 19 ] Hu Q X, Li J B, Ye B Y, *et al*. Effect of rain on concentration and distribution of bacterial particles in atmosphere. *Environmental Monitoring in China*, 1993, **9** (6): 21~ 22

## 参考文献:

- [ 12 ] 魏景超. 真菌鉴定手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [ 13 ] 陆家云. 植物病原真菌学. 北京: 中国农业出版社, 2001. 392~ 397.
- [ 14 ] 戴芳澜遗著. 真菌的形态和分类. 北京: 科学出版社, 1987. 1~ 352
- [ 15 ] 巴尼特 H. L., 亨特 B. B 著. 沈崇尧译. 半知菌属图解(第 3 版). 北京: 科学出版社, 1977. 1~ 240
- [ 16 ] 胡庆轩, 陈振生, 徐桂清, 等. 北京地区大气微生物粒谱研究. 中国环境监测, 1991, **7** (1): 9~ 11
- [ 17 ] 胡庆轩, 徐秀芝, 陈梅玲, 等. 大气微生物的研究——大气细菌粒数中值直径及粒度分布. 中国环境监测, 1994, **19** (6): 37~ 39.
- [ 18 ] 胡庆轩, 徐桂清, 徐秀芝, 等. 大气微生物的粒度分布. 中国环境科学, 1990, **10** (2): 99~ 102
- [ 19 ] 胡庆轩, 李军保, 叶冰炎, 等. 降雨对大气真菌粒子浓度及其分布的影响. 中国环境监测, 1993, **9** (6): 21~ 22