

垃圾填埋场空气微生物浓度的时空分布特征

张 婧, 夏立江, 杜文利, 宫小燕, 于 波

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要: 为了了解垃圾填埋场空气微生物浓度的时空分布及变动规律, 在北京市某垃圾卫生填埋场填埋区、渗滤液处理区、生活区分别选定监测点, 利用安德森六级微生物采样器, 对填埋场空气微生物进行了系统的定点取样和分析。结果表明, 垃圾填埋场空气微生物浓度分布填埋区>渗滤液处理区>生活区。填埋区空气微生物浓度达到 $6\ 000\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上, 生活区约为 $3\ 500\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$, 填埋区空气微生物浓度显著高于生活区 ($P<0.05$)。填埋区不同时段空气微生物浓度不相同, 呈 4—7 月份 9:00—11:00 浓度低于 15:00—16:00, 而 8、9 月份以后 9:00—11:00 浓度高于 15:00—16:00 的趋势, 但没有统计学差异 ($P>0.05$)。2006 年 4 月—2007 年 1 月空气微生物总浓度变化曲线呈双峰型, 两个高峰分别出现在 5 月和 9—11 月。填埋场环境温度对空气微生物浓度的影响大于湿度。

关键词: 垃圾填埋场; 空气微生物; 时间分布; 空间分布

中图分类号: X172 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)06-1332-05

Time-space Distribution Characteristics of Airborne Microbes' Concentration in a Municipal Landfill Site

ZHANG Jing, XIA Li-jiang, DU Wen-li, GONG Xiao-yan, YU Bo

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to determine the time-space distribution characteristics and the changes of airborne microbes' concentration in waste land-fill sites, supervisory point was set at sanitary landfill area, leachate treatment area and living area in a waste sanitary landfill site in Beijing. Airborne microbes were collected by Andersen six stages sampler, and their concentration distribution and dynamics were studied systematically. The results showed that the concentration of airborne microbes was in sequence of sanitary landfill area>leachate treatment area> living area. Airborne microbe's concentration in sanitary landfill area was over $6\ 000\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$, while it was $3\ 500\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ in living area, which was statistically significant ($P<0.05$). There were also differences of airborne microbes' concentration in different sampling periods. It indicated a trend that the concentration was higher at 9:00—11:00 than at 15:00—16:00 from April to July, and it performed reverse trend from August or September, but there showed no statistical difference ($P>0.05$). Monthly change curve of the concentration showed double peak type, and the two peaks appeared at May and September to November. Air temperature had much more effect on the airborne microbes' concentration than humidity in municipal landfill sites.

Keywords: landfill site; airborne microbes; temporal distribution; spatial distribution

垃圾卫生填埋场是固体废弃物稳定化、无害化的处理处置场所。目前, 填埋是我国大多数城市解决生活垃圾出路的最主要方法, 约占处理量的 85%; 垃圾的混合收集仍是大城市普遍采用的垃圾收运方式。近年来, 垃圾填埋场旁边出现了高发病村落, 半数以上的人患有肺气肿、哮喘等疾病, 90% 的年轻人都有呼吸道问题。垃圾填埋场的空气微生物问题逐渐受到关注^[1]。

过去有学者从不同城市、区域等大尺度上对空气微生物作了调查研究。近年来, 研究范围转向畜禽舍、污水处理厂、生物垃圾加工厂、堆肥厂等微生物集中的场所^[2-6]。但到目前为止, 对我国大型垃圾填埋场空气微生物进行的研究比较少。因此, 系统、全面地了解垃圾填埋场空气微生物的时空分布与动态变化规律十分必要, 这对控制生活垃圾填埋场及周边地区的空气污染、改善环境质量具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究时间和地点

在北京市某垃圾填埋场填埋区、渗滤液处理区和

收稿日期: 2008-10-05

基金项目: 国家自然科学基金(30670397)

作者简介: 张 婧(1983—), 女, 山西晋城人, 硕士, 主要从事垃圾场空气微生物的研究。E-mail: cauzhj@126.com.

通讯联系人: 夏立江 E-mail: xialj@cau.edu.cn.

生活区选定监测点。该填埋场 1999 年 10 月正式投入运行,设计日填埋垃圾 1 500 t,设计使用年限 18 a。垃圾填埋场总占地面积为 46.53 hm²,其中填埋区占地 34.53 hm²,分为一期和二期两部分,一期占地 14.15 hm²,二期占地 20.38 hm²。设计采用卫生填埋垃圾处理工艺,单元填埋当日覆盖,设有垃圾气导排系统。渗滤液采用厌氧、氧化沟处理工艺。

2006 年 4 月—2007 年 1 月,在垃圾填埋场内设 3 个采样点,代表不同功能区(图 1)。填埋区是垃圾卫生填埋场的主要区域,实际日填埋量 1 800 t,上午填埋 1 200 t,下午 600 t。填埋区除了有大量垃圾暴露,还有频繁来往的垃圾运输车辆行驶带起的尘土、作业机器推平压实过程中对垃圾的翻动,都可使其中的微生物向空气散布。氧化沟工艺利用活性污泥中的生物对有机物进行生物降解,曝气转盘使污水不断得到足够的氧气供应,搅拌时污水中的气泡破裂形成气溶胶,污水中的微生物随气溶胶离开渗滤液进入大气环境。氧化沟处理区地面硬化处理,地面灰尘少,几乎没有人员来往。生活区绿化率较高,人员走动、车辆来往较少,环境相对清洁。

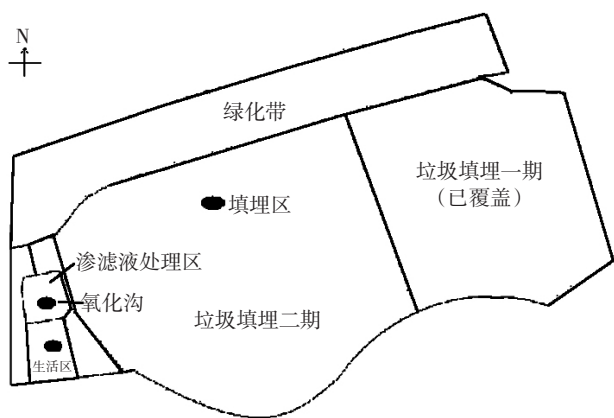


图 1 采样布点示意图

Figure 1 Sketch map of sampling sites

每月取样 3 d,在上午 9:00—11:00 之间采集样品,每次设 2 个平行。填埋区在下午 15:00—16:00 再次取样。采样高度为人呼吸带,距离地面 1.2~1.5 m 处。采样器流量 28.3 L·min⁻¹,空气细菌和真菌的采样时间为 3 min,空气放线菌的采样时间为 5 min。

采样前 2 d 及当日无雨、雾、雪,尽可能消除由于气温与含水量变化引起的误差。在采样时设同等条件下不采样空白对照,以检查采样过程中有无其他染菌因素存在。

1.2 采样介质

培养基:采样平皿用 9 cm 的玻璃平皿,灭菌后在无菌的条件下加入约 27 mL 的培养基^[7],采样器各层的孔眼至采样面的距离(即撞击距离)为 2.5 mm。空气细菌用营养琼脂培养基,空气真菌用沙氏培养基,放线菌用高氏一号培养基。

1.3 采样方法和培养方法

用国际通用的 Andersen 生物粒子取样器(FA-I 型)进行采样,该采样器是模拟人呼吸道的解剖结构和空气动力学特征,利用惯性撞击原理设计的。分为 6 级,每级 400 个孔,从上至下孔的直径逐级缩小,空气流量一定,流速逐级增大,从而将空气中的带菌粒子按粒径不同分别收集在采样器各级培养皿上。

空气细菌样品在 37 ℃培养箱内培养 48 h,空气真菌样品在 28 ℃培养 72 h,空气放线菌样品在 28 ℃培养 120 h。

1.4 计算方法

微生物粒子浓度计算公式:

$$C = \frac{T \cdot 1000}{t \cdot F}$$

式中: C 为空气微生物浓度,CFU·m⁻³; T 为 6 级总菌落数; t 为采样时间,min; F 为空气流量,L·min⁻¹。

1.5 数据统计分析

对空气微生物总数进行平均数差异显著性检验(t 检验),以 $P < 0.05$ 为差异有显著性。用 SPSS Version 13.0 和 Microsoft Excel 2003 进行数据分析和图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同功能区空气微生物浓度分布特征

垃圾卫生填埋场填埋区、渗滤液处理区和生活区环境条件差异较大,空气微生物的浓度不相同(图 2)。

空气微生物总浓度填埋区最高,达到 6 000 CFU·m⁻³ 以上,其次是渗滤液处理区,浓度为 5 000~6 000 CFU·m⁻³,生活区浓度约为 3 500 CFU·m⁻³。空气细菌在填埋区和渗滤液处理区浓度大于 2 000 CFU·m⁻³;空气真菌在 3 个功能区的浓度分布没有显著差异;3 个功能区中,填埋区空气放线菌的浓度最高;生活区空气微生物中,放线菌所占的比例最大。北京植物园空气微生物总浓度、空气细菌、真菌、放线菌浓度分别为 3 259、1 484、1 332 和 158 CFU·m⁻³^[8],均低于填埋场 3 个功能区空气微生物浓度。

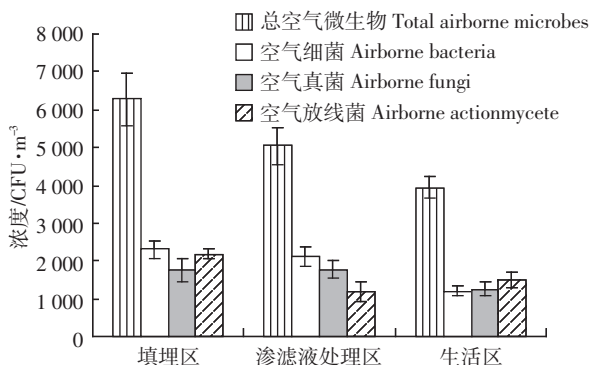


图2 垃圾填埋场不同功能区空气微生物浓度

Figure 2 Concentrations of airborne microbes in different function areas

空气微生物总浓度分布为: 填埋区>渗滤液处理区>生活区, 3个功能区中仅填埋区与生活区空气微生物总数有显著性差异($P<0.05$)。这可能是由于填埋区基本无植被覆盖, 运送垃圾的车辆来往频繁, 垃圾暴露面积很大, 且倾倒、推平垃圾时翻动较大。渗滤液处理区氧化沟高于地面 2 m 左右, 周围硬化较好, 树木绿地较多, 氧化沟上有覆盖物, 只在曝气转盘处留有通风口, 转盘将高浓度渗滤液中的微生物以气溶胶的形式带入空气中。生活区绿地覆盖率高, 人员走动和车辆来往较少, 环境相对清洁, 而且植物挥发性分泌物有杀菌效果^[9-10]。

方治国等^[8]在北京市研究空气微生物的生态分布特征, 发现空气放线菌只占 5%。而本研究表明, 垃圾填埋场 3 个功能区放线菌的比例都很大, 在填埋区、渗滤液处理区和生活区分别为 2 200、1 200、1 500 CFU·m⁻³, 分别占需氧菌总数浓度的 35%、23%、38%。放线菌分布很广, 绝大多数为腐生, 常以孢子或菌丝状态存在于自然界, 且放线菌耐干燥, 易随尘埃、水滴, 借助风力进入大气。填埋场垃圾是混合原生垃圾, 其中厨余和餐饮等有机废物比例大, 为 45%~55%^[11], 比起城市生态环境, 填埋场更适合腐生微生物的生长繁殖, 而干燥的环境又导致放线菌向外扩散。只有极少数放线菌对人类构成危害, 某些菌种引起动物放线菌病(皮肤、脑、肺和足部感染), 某些菌种引起人和动物的诺卡氏菌病; 还有少数放线菌能引起植物病害。

3 个功能区空气细菌、空气真菌、空气放线菌所占的比例有所差异。填埋区细菌和放线菌占的比例相当, 渗滤液处理区细菌占的比例最大, 生活区放线菌所占比例最大。垃圾填埋场空气细菌和真菌含量约为 1 200~2 300 CFU·m⁻³。而北京城市中细菌含量约为 3 500 CFU·m⁻³^[12], 真菌含量与细菌相差不大。可见, 垃

圾填埋场空气细菌和真菌浓度低于城市生态环境, 而放线菌浓度远远高于城市生态环境。

2.2 填埋区不同时段空气微生物浓度分布特征

研究表明, 填埋区空气微生物在一天不同时段的变化随月份不同有所不同(图 3)。空气细菌在 4—9 月, 9:00—11:00 的浓度低于 15:00—16:00, 在 9—1 月呈现相反的趋势, 其中 7 月和 1 月不同时段相差最小。空气真菌在 4—7 月, 9:00—11:00 的浓度低于 15:00—16:00, 在 8—1 月呈现相反的趋势, 其中 7 月、12 月和 1 月不同时段相差很小。空气放线菌在 4 月、5 月和 10 月, 9:00—11:00 的浓度略低于 15:00—16:00; 其他月份出现相反趋势, 其中 12 月不同时段相差最小。需氧菌总数在 4—6 月、8 月, 9:00—11:00 的浓度低于 15:00—16:00; 7 月、9—1 月出现相反趋势, 其中 12 月相差最小。但统计学分析表明, 空气细菌、空气真菌、空气放线菌和空气微生物总浓度在 9:00—11:00 和 15:00—16:00 都没有显著性差异($P>0.05$)。

空气微生物一般在 8:00—10:00 出现高峰, 2:00—4:00 和 12:00—14:00 出现低峰^[12]。方治国等^[13]对北京市空气细菌研究发现, 空气细菌浓度日变化, 13:00 和 15:00 是细菌浓度明显低于 9:00 时的浓度。本研究表明垃圾填埋区空气微生物浓度在 9:00—11:00 和 15:00—16:00 没有明显的差异。虽然下午填埋量仅为上午的 1/2, 且下午气温升高、太阳辐射增强, 对微生物的存活不利, 但空气的微生物数量上午和下午无统计学差异($P>0.05$)。可能是由于垃圾填埋场所不同于一般的环境, 垃圾是填埋场空气微生物最主要的源, 垃圾中的微生物持续不断进入空气中, 形成较为稳定的微生物群落, 而不是随着垃圾增多即时释放到空气环境中。

2.3 空气微生物浓度随时间的变化特征

逐月分别统计细菌、真菌和放线菌菌落总粒数, 结果表明空气微生物总浓度变化曲线呈双峰型(图 4), 两个高峰分别出现在 5 月和 9—11 月, 同尹蓉^[14]、宋凌浩等^[15]的研究结果基本相符。高峰期空气微生物浓度可达 10 000 CFU·m⁻³ 以上; 8 月和 1 月 3 个功能区的空气微生物浓度均较低, 约为 2 000 CFU·m⁻³。而北京植物园空气微生物总浓度最高值出现在 7、8 月份, 文教区和交通干线最高值出现在 10 月份。

填埋区地表裸露, 炎热的夏季和寒冷的冬季都不利于空气微生物的存活。氧化沟的污水向空气释放微生物不会随时间发生很大的变化, 影响该功能区空气

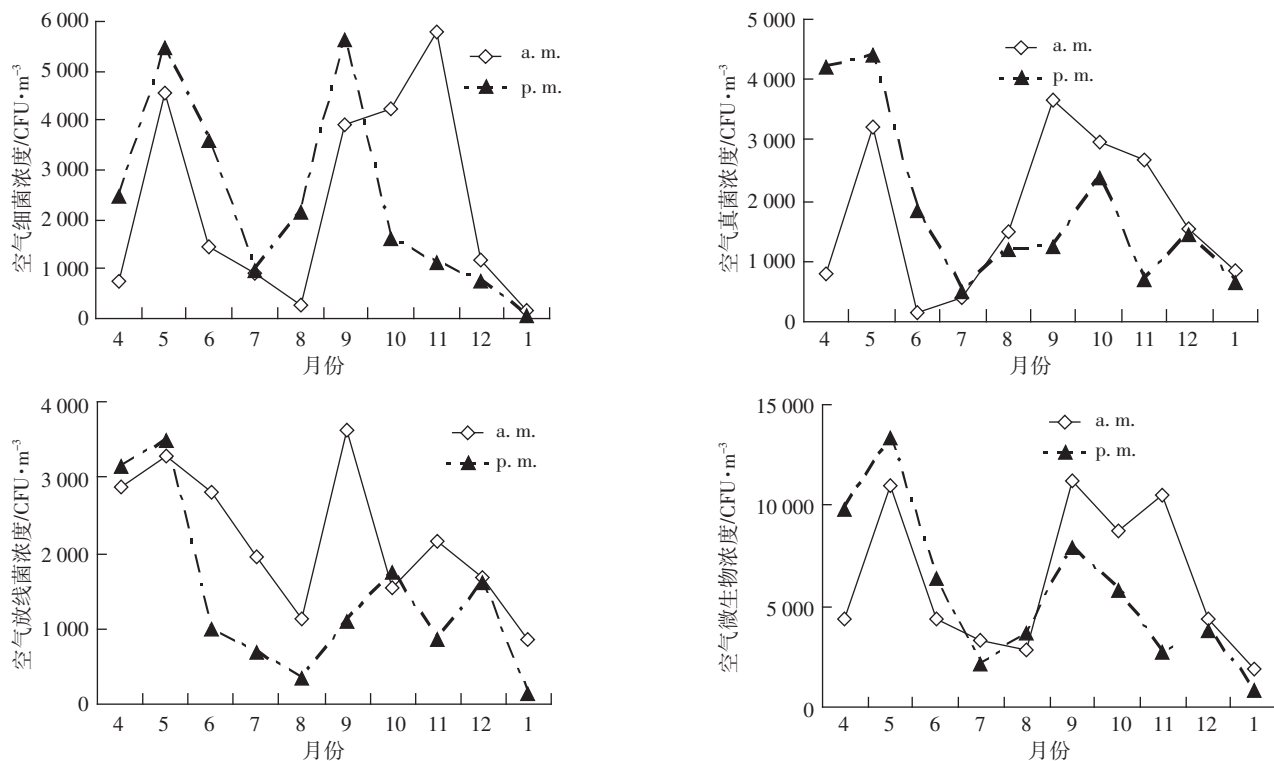


图3 填埋区空气微生物在不同时段的浓度月变化

Figure 3 Monthly variation of airborne microbes in the landfill area

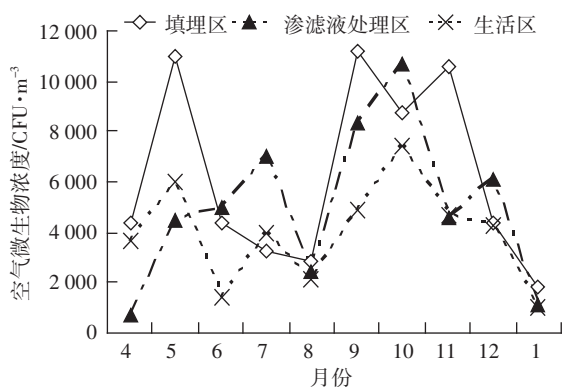


图4 垃圾填埋场3个功能区空气微生物月变化

Figure 4 Monthly variation of airborne microbes in different function areas

微生物分布的主要是外部环境因素,如气温、空气湿度和紫外线辐射强度等,春季和秋季的外部环境相对于其他季节,有利于空气微生物的存活。生活区空气微生物浓度随时间变化幅度没有填埋区和渗滤液处理区大。

4、5月和9、10月份气候温和,相对湿度较高,有利于微生物的存活。春季风大,容易将垃圾中的微生物带入空气中,导致空气微生物浓度增高。秋季太阳

辐射相对减少,利于微生物存活。而在6、7、8月份,气温较高、紫外线强烈,北方进入暴雨季节,对空气中真菌孢子有一定冲刷作用,也不利于孢子的扩散,此时空气中孢子浓度呈现低谷。1月和12月气温较低,对微生物的生长也不利。

春秋两季3个功能区气温在19~25℃,湿度为20%~40%,夏季为31℃左右,湿度为40%~50%,冬季为1℃左右,湿度为35%~45%(表1)。季节温度差异较大,但空气湿度变化差异不大,所以我们推测温度对空气微生物存活的影响要大于湿度。

表1 垃圾填埋场3个功能区气象条件

Table 1 Meteorological conditions of different function areas

季节	填埋区		渗滤液处理区		生活区	
	平均气温/℃	相对湿度/%	平均气温/℃	相对湿度/%	平均气温/℃	相对湿度/%
春季	22.6	22.3	24.0	19.0	22.0	36.0
夏季	30.8	45.6	30.3	50.0	32.7	40.0
秋季	18.8	39.4	19.7	29.7	21.0	27.3
冬季	0.3	38.3	1.5	37.5	1.0	47.5

此外,影响微生物在空气传播扩散的因素,还应考虑风向、风速和降雨量等多种气候因素的综合作用^[6]。

3 结论

(1)垃圾卫生填埋场填埋区、渗滤液处理区和生活区环境条件差异较大,空气微生物的浓度不相同。空气微生物浓度的空间分布为:填埋区>渗滤液处理区>生活区。填埋区与生活区空气微生物浓度有显著性差异($P<0.05$)。

(2)填埋区不同时段空气微生物浓度不相同,呈现4—7月份9:00—11:00浓度低于15:00—16:00,而8、9月份以后9:00—11:00浓度高于15:00—16:00的趋势,但填埋区不同时段空气微生物浓度没有显著性差异($P>0.05$)。

(3)2006年4月—2007年1月,空气微生物浓度月变化曲线呈双峰型,两个高峰分别出现在5月和9—11月。填埋场空气温度对空气微生物存活的影响大于湿度。

参考文献:

- [1] 岳冰,夏立江,杜文利,等.北京某垃圾填埋场空气微生物污染状况[J].中国环境科学,2006,26(Supplement):102-105.
YUE Bing, XIA Li-jiang, DU Wen-li, et al. Airborne microorganism pollution in certain municipal landfill in Beijing[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(Supplement): 102-105.
- [2] 凌琪,王晏平,张虎,等.合肥市2003~2005年空气微生物污染状况调查[J].现代预防医学,2006,33(12):2358-2360.
LING Qi, WANG Yan-ping, ZHANG Hu, et al. An investigation into air pollution of microorganisms from 2003 to 2005 in the Hefei city[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2006, 33(12): 2358-2360.
- [3] Franz F Reinthaler, Egon Marth, Ute Eibel, et al. The assessment of airborne microorganisms in large-scale composting facilities and their immediate surroundings[J]. *Aerobiologia*, 1997, 13: 167-175.
- [4] 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.
- [5] Jougen Thorn, Lena Beijer, Titti Jossan, et al. Measurement strategies for the determination of airborne bacterial endotoxin in sewage treatment plants[J]. *Annals of Occupational Hygiene*, 2002, 46(6): 549-554.
- [6] Huang Chu-yun, Lee Ching-chang, Li Fang-chun, et al. The seasonal distribution of bioaerosols in municipal landfill sites: a 3-yr study[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36: 4385-4395.
- [7] 于玺华.现代空气微生物学[M].北京:人民军医出版社,2002.
YU Xi-hua. *Air microbiology*[M]. Beijing: People's Military Medical Press, 2002.
- [8] 方治国.北京城市生态系统空气微生物群落结构与动态变化特征[D].博士学位论文,2005.
FANG Zhi-guo. Airborne microbial community composition and dynamics in the Beijing urban ecosystem[D]. *Doctoral Dissertation*, 2005.
- [9] 谢慧玲,李树人,袁秀云,等.植物挥发性分泌物对空气微生物杀灭作用的研究[J].河南农业大学学报,1999,33(2):127-133.
XIE Hui-ling, LI Shu-ren, YUAN Xiu-yun, et al. Study on the disinfection of plant volatile secretion to the microorganism content in the air[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1999, 33(2): 127-133.
- [10] 褚泓阳.园林树木杀菌作用的研究[J].西北林学院学报,1995,10(4):64-67.
CHU Hong-yang. On the disinfection of ornamental trees[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 1995, 10(4): 64-67.
- [11] 张悦.城市生活垃圾处理新思路[J].环境卫生工程,2004,12(4):193-195.
ZHANG Yue. New concept on urban domestic waste treatment[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2004, 12(4): 193-195.
- [12] 方治国,欧阳志云,胡利锋,等.城市生态系统空气微生物群落研究进展[J].生态学报,2004,24(2):315-322.
FANG Zhi-Guo, OUYANG Zhi-Yun, HU Li-Feng, et al. Progresses of airborne microbial communities in urban ecosystem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 315-322.
- [13] 方治国,欧阳志云,赵景柱,等.北京城市空气细菌群落结构与动态变化特征[J].微生物学报,2006,46(4):618-623.
FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, ZHAO Jing-zhu, et al. Community composition and dynamics of airborne bacteria in Beijing[J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2006, 46(4): 618-623.
- [14] 尹蓉,梁传余,洪苏玲,等.成渝两地空气中致敏真菌调查比较[J].重庆医学,2002,31(3):222.
YIN Rong, LIANG Chuan-yu, HONG Su-ling, et al. Investigation on the atmosphere propagating sensitizing fungi between Chengdu and Chongqing[J]. *Chongqing Medical Journal*, 2002, 31(3): 222.
- [15] 宋凌浩,宋伟民,施伟.上海市大气细菌污染研究[J].上海环境科学,1999,18(6):258-260.
SONG Ling-hao, SONG Wei-min, SHI Wei. Study on airborne bacteria pollution in Shanghai[J]. *Shanghai Environmental Science*, 1999, 18(6): 258-260.
- [16] 杨建平,殷强仲,叶梅君,等.成都市三个功能区气传真菌的定量研究[J].华西医学报,1989,20(4):448-451.
YANG Jian-ping, YIN Qiang-zhong, YE Mei-jun, et al. Quantitative study of airborne fungi at three functional sections of Chendu city[J]. *Journal of West China University of Medical Sciences*, 1989, 20(4): 448-451.