

垃圾填埋场空气真菌群落结构和时空分布特征

张婧¹, 夏立江^{1*}, 杜文利¹, 王进安², 张春荣¹, 纪思思¹, 于波¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 北京市环境卫生工程集团有限公司四清分公司, 北京 100101)

摘要: 为了解垃圾填埋场空气真菌的群落结构和浓度、粒径的时空分布, 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, 对填埋场空气真菌进行了系统的定点取样和分析。结果表明, 除无孢菌外, 共出现了 15 属空气真菌。优势菌属依次为枝孢属(*Cladosporium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、青霉属(*Penicillium*)、无孢菌属(Non-sporing)。填埋区和渗滤液处理区空气真菌浓度约为 $1\,750\text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$, 明显高于生活区($p < 0.05$)。2006 年 4 月~2007 年 1 月空气真菌浓度变化曲线呈双峰型, 2 个高峰分别出现在 5 月和 9~10 月, 浓度可达 $5\,000\text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上。填埋区 4~7 月空气真菌 09:00~11:00 的浓度低于 15:00~16:00, 在 8 月~次年 1 月趋势相反。空气真菌粒子在 III~V 级约占总数的 75%。填埋区和渗滤液处理区的空气真菌中值直径均为 $2.9\text{ }\mu\text{m}$, 生活区为 $2.8\text{ }\mu\text{m}$, 3 个功能区空气真菌的中值直径没有差异($p > 0.05$)。

关键词: 垃圾填埋场; 空气真菌; 群落结构; 浓度分布; 粒径分布

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)11-3184-06

Community Structure and Time-Space Distribution Characteristic of Airborne Fungi in a Municipal Landfill Site

ZHANG Jing¹, XIA Li-jiang¹, DU Wen-li¹, WANG Jin-an², ZHANG Chun-rong¹, JI Si-si¹, YU Bo¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Beijing Environment Sanitation Engineering Group Co., LTD, Siqing Branch, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to determine the community structure and time-space distribution characteristics of airborne fungi in waste landfill sites, supervisory points were set in sanitary landfill area, leachate treatment area and living area in a Waste Sanitary Landfill Site in Beijing. Airborne fungi were collected by Andersen six stages sampler, and the study on the community structure and distribution of airborne fungi was carried out systematically. The results show that fifteen genera of culturable fungi are identified (exclusion Non-sporing), *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium* and Non-sporing are the dominant genera. The concentration of airborne fungi in sanitary landfill area and leachate treatment area are about $1\,750\text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$, which is higher than that in living area ($p < 0.05$). Monthly change curve of the airborne fungi concentration shows double peak type, the peak value appears in May and September-October, which can reach at $5\,000\text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$. It indicates a trend that the concentration is higher at 09:00-11:00 than that at 15:00-16:00 from April to July, but it performs reserved trend from August to the next January. 75% of the airborne fungi distributes in stage III-V. The counted median diameters (CMD) of airborne fungi in three functional areas are $2.9\text{ }\mu\text{m}$, $2.9\text{ }\mu\text{m}$ and $2.8\text{ }\mu\text{m}$ respectively, there are no statistical difference ($p > 0.05$).

Key words: landfill site; airborne fungi; community structure; concentration distribution; particle size distribution

空气中的真菌粒子主要来源于自然界的土壤、水体、动植物和人类。此外, 污水处理、动物饲养、发酵过程和农业活动也是空气真菌的重要来源^[1~5]。目前已知存在于空气中的真菌有 40 000 余种^[6]。空气中真菌孢子浓度的增加能降低人的肺功能, 增加上呼吸道感染、哮喘、慢性阻塞性肺疾病等急、慢性呼吸系统疾病的患病几率^[7]。近年来, 垃圾处理处置场所的空气微生物污染问题逐渐受到关注^[8~12]。

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。城市生活垃圾的产生与最终处置是微生物气溶胶的重要源与汇, 已有报道证实堆肥厂内空气微生物浓度较高, 同时建议垃圾填埋场的重新利用要考虑空气微生物的控

制^[5,10]。岳冰等^[8]对垃圾填埋场空气微生物污染状况进行了 1 个月调查研究, 共采集 6 次样品。而目前, 针对垃圾处置场所空气真菌污染状况系统研究相对缺乏。本研究在垃圾填埋场填埋区、渗滤液处理区和生活区进行了长期定位研究, 系统、全面地了解垃圾填埋场空气真菌的群落结构、浓度分布、粒径分布及动态变化规律。对于控制生活垃圾填埋场及周边地区的空气污染、预防疾病和改善环境质量具有重要的意义。

收稿日期: 2008-12-08; 修订日期: 2009-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(30670397)

作者简介: 张婧(1983~), 女, 硕士, 主要研究方向为环境微生物, E-mail: cauzhj@126.com

* 通讯联系人, E-mail: xialj@cau.edu.cn

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.

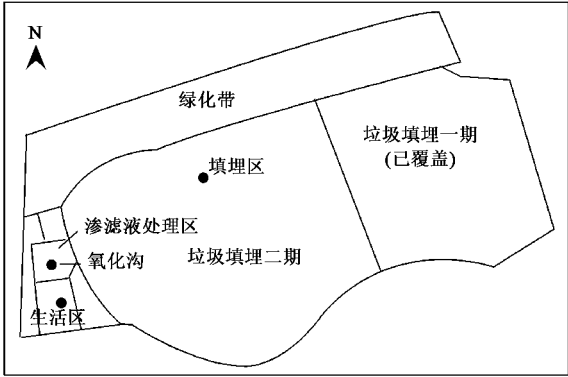


图 1 采样布点示意
Fig.1 Sketch map of sampling sites

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, 下午填埋 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处理渗滤液中的有机污染物, 曝气转盘使污水不断得到充足的氧气供应, 搅拌时污水中的气泡破裂形成气溶胶, 污水中的微生物随液滴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, 人员走动和车辆来往较少, 环境相对清洁.

每月取样 3 d, 在 09:00~11:00 之间采集样品, 每次设 2 个平行. 填埋区在 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, 采样时间为 3 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的空白对照, 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: 采样用 9 cm 的玻璃平皿, 灭菌后在无菌的条件下加入约 27 mL 沙氏培养基^[13], 采样器各层的孔眼至采样面的距离(即撞击距离)为 2.5 mm.

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, 从上至下采样器孔的直径逐级缩小, 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大小分别收集在采样器各级培养皿上, 空气真菌样品在 28℃ 培养箱内培养 72 h. 采样器各级的特性见表 1.

表 1 FA-I 型取样器各级特征
Table 1 Characteristics of FA-I sampler

级数	孔径/mm	空气流速/m·s ⁻¹	捕集范围/μm	ECD ¹⁾ /μm
I	1.18	1.08	> 8.2	8.2
II	0.91	1.79	5.0~10.4	6.0
III	0.71	2.97	3.0~6.0	3.0
IV	0.53	5.28	2.0~3.5	2.0
V	0.34	12.77	1.0~2.0	1.0
VI	0.25	23.29	< 1.0	0.65

1)ECD 表示有效截留粒子粒径

1.4 计算方法

1.4.1 活性生物粒子数校正公式

当通过各级筛孔的菌粒子数超过一定数量时, 会出现菌粒撞击在同一点的重叠现象, 各级采集的活性生物粒子数按下式校正:

$$r_p = N \cdot \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \frac{1}{N-2} + \cdots + \frac{1}{N-r+1} \right)$$

式中, r_p 为校正后的菌落数; N 为采样器各级采样孔数; r 为实际的菌落数.

1.4.2 空气真菌浓度计算公式

$$C = \frac{T \cdot 1\,000}{t \cdot F}$$

式中, c 为空气真菌浓度(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).

1.4.3 各级带菌粒子百分比计算公式

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

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

1.4.4 中值直径

样品的累积粒度分布百分数达到 50% 时所对应的粒径即为中值直径(count median diameter,

CMD). 求出安德森采样器各级的空气真菌粒子数占总粒子数的百分比,按照第Ⅵ~Ⅰ级的顺序逐级进行累加,计算出各级的累积百分比,再根据给定的安德森采样器各级有效截留粒子粒径和各级累积百分比,用直线回归方程求出空气真菌粒子的中值直径^[14].

1.5 鉴定方法

根据真菌菌落的培养特征和显微镜下真菌孢子的形态特征,鉴定到属.对在原培养基上培养 7d 未产生孢子的菌落,再分离培养 2 周仍未见孢子生成,则确定为无孢菌群.

1.6 数据统计分析

对空气真菌浓度和粒径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 夏季垃圾填埋场空气真菌种类结构

对夏季垃圾填埋场 3 个功能区的真菌进行全面鉴定,除无孢菌外,共出现了 15 属空气真菌,含量较高的菌属依次为枝孢属(*Cladosporium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、青霉属(*Penicillium*)、无孢菌群(*Non-sporing*).其中,枝孢属(*Cladosporium*)占绝对优势(表 2),在 3 个功能区约占可培养真菌的 40%左右,这与国内外其他垃圾处理处置场所的研究结果有差异.上海市垃圾中转站^[15]优势菌属依次为酵母菌、枝孢菌属、青霉属,枝孢菌属约占 14%;台湾南部垃圾填埋区^[10]优势菌属为枝孢属、无孢菌群和酵母菌,枝孢属的比例约占 20%~65%;芬兰处理餐饮垃圾的滚筒堆肥厂^[5]空气中比例较大的真菌是青霉属和曲霉属,枝孢属只占 0.8%~6.4%;波兰污水处理厂^[4]空气真菌中地霉属含量占 32.2%,枝孢属占 12.2%.这可能是由于采样地区垃圾组分和结构、环境、气候存在差异,从而导致结果不同.

填埋区真菌种类最多,青霉属在填埋区的比例高于渗滤液处理区和生活区;生活区枝孢属和无孢菌群分别占 43.5%和 19.0%,高于填埋区和渗滤液处理区,曲霉属占 20.1%,而台湾南部垃圾场办公区^[10]枝孢属的比例约占 10%~70%,无孢菌群占 12%~46.8%,曲霉属只占 0.5%~4.1%;在渗滤液处理区曲霉属占 26.4%,高于填埋区和生活区.填埋场不同功能区空气真菌各种属的比例不同,与采样环境有关.填埋区干燥、地表裸露面积大,垃圾暴

露、腐烂的气味较重;渗滤液处理区采用半封闭的氧化沟处理系统、周围植被较多;生活区地面硬化、植被覆盖率高.垃圾填埋场空气中曲霉属含量占 17.2%~26.4%,芬兰垃圾堆肥厂^[5]空气中曲霉属占 19.3%~27.9%,奥地利的堆肥厂^[16]空气中曲霉属高达 64%,而北京城市环境^[17]曲霉属的比例在 6.5%~8.8%,说明垃圾处理处置场所曲霉属含量高于城市环境.曲霉属产生的毒素是危险的致癌物质^[18],需引起关注.

表 2 垃圾填埋场不同功能区空气真菌群落结构

种类	浓度百分数/%		
	填埋区	渗滤液处理区	生活区
枝孢属 <i>Cladosporium</i>	38.3	42.0	43.5
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	17.2	26.4	20.1
青霉属 <i>Penicillium</i>	9.8	6.3	1.7
交链孢属 <i>Alternaria</i>	6.3	2.5	5.0
尾孢菌 <i>Cerospora</i>	5.5	0	1.7
腐霉属 <i>Pythium</i>	0.8	0	0
红酵母属 <i>Rhodotorula</i>	0.8	0	0
头孢霉属 <i>Cephalosporium</i>	2.2	2.5	2.5
毛霉属 <i>Mucor</i>	0	1.3	0
根霉属 <i>Rhizopus</i>	0.2	0	0
球拟酵母属 <i>Torulopsis</i>	0.2	0	0
地霉属 <i>Geotrichum</i>	0.2	0	0
木霉属 <i>Trichoderma</i>	0.2	0	0
镰刀菌属 <i>Fusarium</i>	0.4	0	0
串珠菌属 <i>Monilia</i>	0.2	0	0.8
无孢菌群 <i>Non-sporing</i>	13.8	15.2	19.0
未鉴定	3.9	3.8	5.8

2.2 垃圾填埋场空气真菌浓度时空分布

2.2.1 不同功能区空气真菌浓度分布

3 个功能区空气真菌浓度不同(图 2).填埋区和渗滤液处理区没有明显差异($p > 0.05$),平均浓度约为 $1\,750\text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$.生活区空气真菌浓度约为 $1\,250\text{ CFU}\cdot\text{m}^{-3}$,明显低于填埋区和渗滤液处理区($p < 0.05$).

逐月分别统计 3 个功能区空气真菌的浓度,结

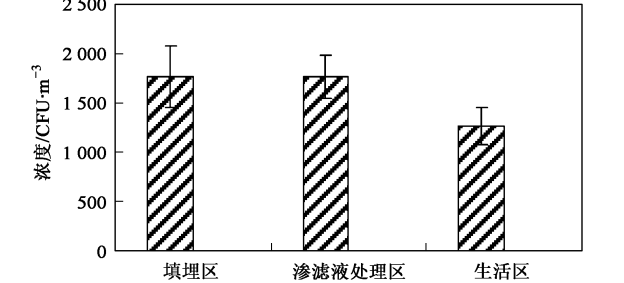


图 2 不同功能区空气真菌浓度

Fig.2 Concentrations of airborne fungi in different functional areas

果表明空气真菌浓度变化曲线呈双峰型(图 3),2 个高峰分别出现在 5 月和 9~10 月,同尹蓉等^[19]的研究结果基本相符.高峰期空气真菌浓度可达 5 000 CFU·m⁻³;3 个功能区在 4 月、6~7 月和 1 月的空气真菌的浓度较低,约为 300 CFU·m⁻³.

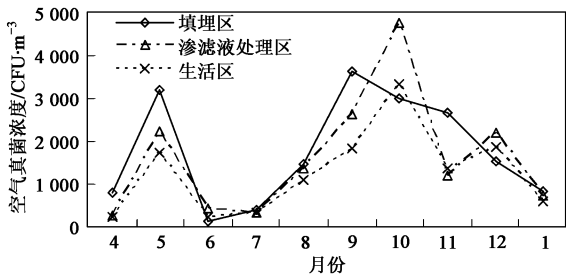


图 3 3 个功能区空气真菌浓度月变化

Fig.3 Monthly variation of airborne fungi in three functional areas of landfill site

填埋区、渗滤液处理区和生活区空气真菌浓度随时间的变化趋势相近,在 4~5 月和 8~10 月有明显的上升趋势.10 月渗滤液处理区的空气真菌浓度最高,达到 5 000 CFU·m⁻³.填埋区垃圾裸露面积大,垃圾内的微生物易随气流进入空气中;氧化沟的污水向空气释放真菌不会随时间发生很大的变化,影响该功能区空气真菌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,有利于空气真菌的存活;生活区空气真菌浓度随时间变化幅度没有填埋区和渗滤液处理区大.

在 4~5 月和 9~10 月,采样环境湿度为 15%~40%,气温较低,不利于真菌存活,但空气真菌浓度相对较高,可能是由于气候干燥,垃圾中的真菌易随气流进入空气中.虽然 6~8 月采样的环境湿度为 50%~60%,有利于真菌存活和繁殖,但空气真菌浓度相对较低.可能是由于夏季垃圾的湿度大,不利于其中的真菌向空气扩散,从而影响了空气真菌的分布.

2.2.2 填埋区不同时段空气真菌浓度分布特征

2006 年 4 月~2007 年 1 月,填埋区空气真菌在不同作业时段的浓度分布随时间而变化(图 4).4~7 月,空气真菌在 09:00~11:00 的浓度低于 15:00~16:00,而 8 月~次年 1 月趋势相反,与垃圾填埋量的多少没有明显的相关性.不同作业时段采样时的环境湿度变化,呈现 4~7 月 09:00~11:00 的环境湿度大于 15:00~16:00,8 月~次年 1 月趋势相反(图 5).

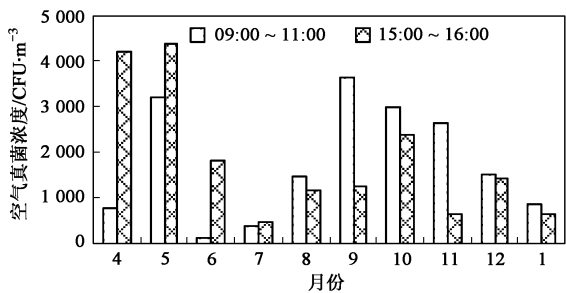


图 4 填埋区不同时段空气真菌浓度的月变化

Fig.4 Monthly variation of airborne fungi in the landfill area

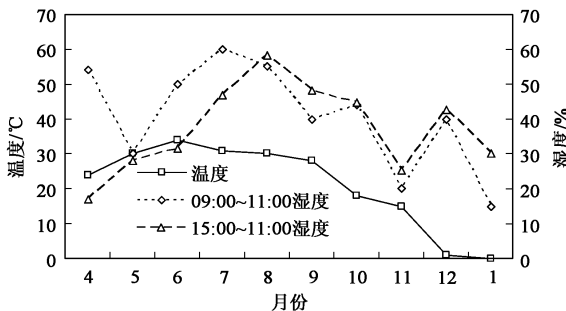


图 5 填埋区采样时的环境温度和湿度

Fig.5 Ambient temperature and humidity of sampling time in the sanitary landfill area

可以推断,在相同的环境温度下,湿度较高则空气真菌的浓度较低.而在室内,空气真菌的数量与相对湿度呈正相关^[20].这是由于在开放的环境中,湿度高不利于真菌向空气中扩散.

2.3 垃圾填埋场空气真菌粒径分布

2.3.1 不同功能区空气真菌粒径分布

空气真菌粒子在Ⅲ~Ⅴ级(1.0~6.0 μm)约占总数的 75%,与夏季公园绿地的真菌粒度分布相似^[21];在第Ⅳ级(2.0~3.0 μm)出现峰值.可吸入的真菌微粒(<8.2 μm)约占 90%,而北京丰台大气环境中可吸入的真菌粒子约占 70%^[22].不同功能区空气真菌中值直径相差很小,填埋区和渗滤液处理区的空气真菌中值直径为 2.9 μm,生活区为 2.8 μm(图 6).北京城市环境空气真菌的中值直径为 2.04~2.50 μm^[23];室外真菌气溶胶中值直径为 3.7~4.4 μm^[24];沈阳市真菌气溶胶的中值直径为 3.9 μm^[25],公园绿地空气中值直径为 2.5 μm^[23].垃圾填埋场空气真菌的中值粒径与其他地区有较大差异,说明空气真菌粒径的分布与采样环境有密切关系,中值粒径越小即可吸入的真菌粒子比例越大,对人体的危害就越大.

2.3.2 填埋区不同作业时段空气真菌粒径分布

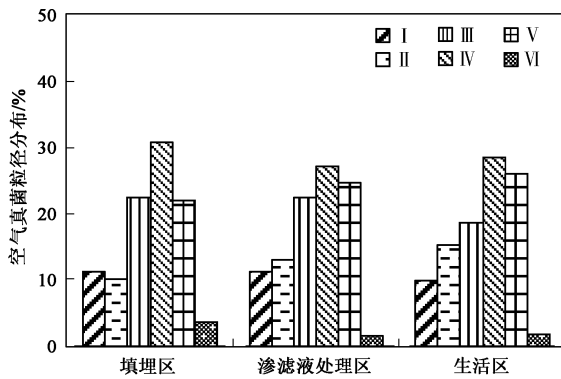


图 6 垃圾填埋场不同功能区真菌气溶胶粒径分布

Fig.6 Size distribution of airborne fungi in different functional areas

填埋区不同作业时段空气真菌粒径分布趋势基本一致(图 7).虽然上午填埋量为下午的 2 倍,但粒径在 I ~ VI 级的分布无统计学差异($p > 0.05$).填埋区空气真菌已在近地面形成了较稳定的粒径结构,且粒径分布不随垃圾的填埋量而变化.

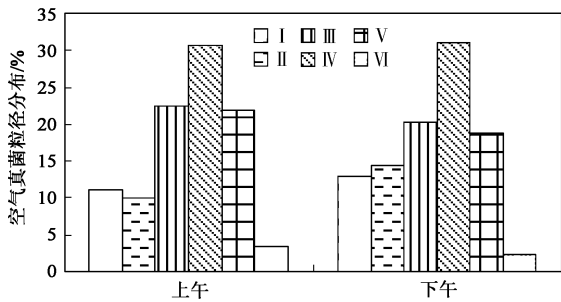


图 7 填埋区不同时段空气真菌的粒径分布

Fig.7 Size distribution of airborne fungi in different periods in the landfill area

3 结论

(1)垃圾填埋场 3 个功能区除无孢菌外,共出现了 15 属空气真菌.优势菌属依次为枝孢属(*Cladosporium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、青霉属(*Penicillium*)、无孢菌群(Non-sporing),其中枝孢属在 3 个功能区浓度分别占 38.3%、42.0%和 43.5%.填埋区空气真菌种类最多.

(2)生活区空气真菌浓度明显低于填埋区和渗滤液处理区($p < 0.05$),2006 年 4 月~2007 年 1 月空气真菌浓度变化曲线呈双峰型,高峰分别出现在 5 月和 9~10 月.填埋区不同时段空气真菌浓度不相同,4~7 月 09:00~11:00 的浓度低于 15:00~16:00,在 8 月~次年 1 月呈现相反的趋势.在开放

的环境中,湿度高不利于真菌向空气中扩散,与垃圾填埋量没有明显的关系.

(3)空气真菌粒子的分布主要集中在 III~V 级,约占总数的 75%.3 个功能区均在第 IV 级出现峰值.填埋区和渗滤液处理区的空气真菌中值直径为 2.9 μm ,生活区为 2.8 μm ,3 个功能区空气真菌的中值直径没有差异($p > 0.05$).

参考文献:

- [1] Giorgio C D, Krempff A, Guiraud H, *et al.* Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles [J]. *Atmos Environ*, 1996, **30**(1):155-160.
- [2] Bovallius A, Bucht B, Roffey R, *et al.* Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1978, **35**(5):847-852.
- [3] Blomquist G. Sampling of biological particles [J]. *Analyst*, 1994, **119**:53-56.
- [4] Prazmo Z, Kryszyska-Traczyk E, Skorska C, *et al.* Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant [J]. *Ann Agric Environ Med*, 2003, **10**:241-248.
- [5] Tolcanen O, Nykänen J, Nivukoski U, *et al.* Occupational hygiene in a Finnish drum composting plant [J]. *Waste Manage*, 2005, **25**(4):427-433.
- [6] 宋凌浩,宋伟民,施玮,等.上海市大气微生物污染对儿童呼吸系统健康影响的研究[J]. *环境与健康杂志*, 2000, **17**(3):135-138.
- [7] Lee J, Jo W. Exposure to airborne fungi and bacteria while commuting in passenger cars and public buses [J]. *Atmos Environ*, 2005, **39**(38):7342-7350.
- [8] 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**(增刊):102-105.
- [9] 柴同杰,马瑞华,Mueller W,等.生物垃圾加工厂供料厅空气微生物菌群的研究[J]. *环境与健康杂志*, 2000, **17**(6):323-326.
- [10] Huang C Y, Lee C C, Li F C, *et al.* The seasonal distribution of bioaerosols in municipal landfill site: a 3-yr study [J]. *Atmos Environ*, 2002, **36**:4385-4395.
- [11] Fedorak P M, Rogers R E. Assessment of the Potential Health Risk Associated with the Dissemination of Micro-organisms from a Landfill Site [J]. *Waste Manage Res*, 1991, **9**:537-563.
- [12] Deportes I, Benoit-Guyod J L, Larsson L. Hazard to man and the environment posted by the use of urban waste compost: a review [J]. *Sci Total Environ*, 1995, **172**:197-222.
- [13] 于玺华.现代空气微生物学[M].北京:人民军医出版社,2002.107.
- [14] 胡庆轩,车凤翔,李军保,等.北京市大气微生物的粒子径[J]. *中国环境科学*, 1992, **12**(4):296-299.
- [15] 蒋蓉芳,宋伟民,宋凌浩,等.上海市气传真菌污染的调查研究[J]. *中国公共卫生学报*, 1999, **18**(4):240-242.
- [16] Reinthaler F F, Marth E, Eibel U, *et al.* The assessment of airborne microorganisms in large-scale composting facilities and their immediate [J]. *Aerobiologia*, 1997, **13**:167-175.

- [17] 胡利锋,方治国,欧阳志云,等.北京市室外空气真菌分布特征[J].环境科学,2005,26(5):22-27.
- [18] 何国庆,贾英民.食品微生物学[M].北京:中国农业大学出版社,2002.52-67.
- [19] 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.
- [20] Solomon W R. A volumetric study of winter fungus prevalence in the air of Midwestern homes [J]. J Allergy Clin Immunol, 1976, 57(1):46-55.
- [21] 方治国,欧阳志云,胡利锋,等.北京市夏季空气微生物粒度分布特征[J].环境科学,2004,25(6):1-5.
- [22] 胡庆轩,车凤翔,张松乐,等.京、津地区大气微生物的浓度[J].环境科学,1989,10(5):30-35.
- [23] 方治国,欧阳志云,胡利锋,等.北京市夏季空气真菌生态分布特征[J].环境科学学报,2005,25(2):160-165.
- [24] 胡庆轩,蔡增林,鲁志新.室内外空气真菌污染状况初探[J].上海环境科学,1999,18(10):454-456.
- [25] 胡庆轩,徐秀芝,童咏仪,等.沈阳市大气微生物的研究Ⅳ.大气真菌粒数中值直径及粒度分布[J].微生物学通报,1994,21(6):353-356.