

北京市室外空气真菌分布特征

胡利锋^{1,2}, 方治国², 欧阳志云^{2*}, 廖晓兰¹, 林学强², 王效科²

(1. 湖南农业大学生物安全与科技学院, 长沙 410128; 2. 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)

摘要:通过定点取样研究北京市空气真菌的种类组成、浓度特征及其动态变化规律。监测结果表明,北京市空气真菌平均浓度为 (1164.8 ± 73.2) CFU·m⁻³,浓度变异很大,变化范围为 23.6 ~ 13 959.5 CFU·m⁻³。空气中优势真菌为枝孢属(*Cladosporium*)、青霉属(*Penicillium*)、链格孢属(*Alternaria*)、曲霉属(*Aspergillus*)和无孢菌(non-sporing),其中枝孢属是绝对优势真菌,浓度约占真菌总浓度的 1/3 以上。文教区和公园绿地空气真菌浓度夏季和秋季较高,春季和秋季较低,而交通干线空气真菌浓度 4 季变化趋势不明显。文教区和公园绿地空气真菌浓度明显高于交通干线($p < 0.05$),文教区和公园绿地之间则没有显著差异。

关键词:空气真菌;粒径分布;优势菌属;枝孢属

中图分类号:X513 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2005)05-0022-06

Ecological Distributions of Airborne Fungi in Outdoor Environments in Beijing, China

HU Li-feng^{1,2}, FANG Zhi-guo², OUYANG Zhi-yun², LIAO Xiao-lan¹, LIN Xue-qiang², WANG Xiao-ke²

(1. College of Bio-Safety Science and Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China; 2. Key Laboratory of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: An investigation on fungal types, concentrations, and their dynamic variation in outdoor environments was carried out in three different functional areas around one year in Beijing. Results show that the fungal concentrations varied widely and the average was (1164.8 ± 73.2) CFU·m⁻³, ranging from 23.6 CFU·m⁻³ to 13 959.5 CFU·m⁻³. The most common culturable airborne fungi in all seasons and all functional areas were *Cladosporium*, nonsporulating fungi, *Alternaria*, *Penicillium* and *Aspergillus*. The most dominant fungus was *Cladosporium*, which contributed to more than 1/3 of the total. The fungal levels in culture and education region (CER) and garden green region (GGR) were highest in the fall and summer, and lowest in the winter and spring, while the seasonal variation in main traffic line (MTL) was not significant. The fungal concentrations in CER and GGR were significantly higher than in MTL ($p < 0.05$). No statistically significant difference exists between CER and GGR.

Key words: airborne fungi; size distribution; dominant fungi; *Cladosporium*

空气真菌是生物气溶胶的重要组成部分,是重要的空气污染因子之一。真菌接触可增加各种过敏性疾病(如过敏性鼻炎、哮喘)、毒素中毒(如黄曲霉毒素中毒、麦角中毒)及各种炎症(如皮炎)等的患病风险,严重影响着人们的健康^[1-4]。同时 80% 的空气真菌都能够引起植物病害,腐蚀用于基础建设的金属材料及用于科研生产的精密仪器,造成重大的经济损失。研究表明,呼吸症状的出现与某些特异性真菌如枝孢属浓度的增加有关,人类气喘病的发生与链格孢霉密切相关^[5]。空气真菌对人们健康影响不仅与其物种组成有关,还与其浓度和粒子径密切相关。粒径大于 10 μm 的气溶胶粒子难以通过鼻咽区,5 ~ 10 μm 的气溶胶粒子主要停留在呼吸系统上层而导致如哮喘等疾病,小于 5 μm 的气溶胶粒子可以穿透肺泡引起肺泡炎和其他疾病^[6-9],而直径小于 2.5 μm 细小粒子与人们的健康状况更加密

切^[10]。有学者对北京市空气微生物的污染状况进行了调查^[11-14],但对北京市空气真菌群落结构和浓度分布特征以及其时间和空间变化规律尚缺乏深入地研究。本文拟通过定位取样,系统地研究了北京市空气真菌的污染状况及动态变化规律,为北京城乡建设、环境保护和污染治理提供科学依据。

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

收稿日期:2004-10-27;修订日期:2004-12-30

基金项目:中国科学院知识创新工程方向性项目(KZCX3-SW-424)

作者简介:胡利锋(1980~),男,汉,湖南邵阳人,硕士研究生,研究方向为生物农药和微生物生态。

* 通讯联系人: E-mail: zyouyang@mail.rcees.ac.cn Tel: 010-62849191

traffic line, MTL) 和公园绿地(green garden region, GGR), 2003-06 ~ 2004-05 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。中科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%, 人口比较密集, 人员走动较多, 车辆来往较少, 毗邻中科院半导体研究所, 清华大学, 北京林业大学, 中国农业大学等众多科研院所; 西直门立交桥是北京市交通枢纽, 附近有北京火车站, 西直门公交车站和地铁站等, 车辆来往很多, 各条道路平均每 min 共通过的车辆 150 余辆, 高峰期平均每 min 行人 15 余次, 绿地面积少于 5%, 地面灰尘较多; 植物园位于海淀区西郊, 远离市中心, 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, 绿地面积约占 95% 以上, 草本植物占有较大的比例。平时几乎没有车辆和行人通过, 大气环境质量良好。

1.2 空气微生物取样器

采用国产的 Andersen 采样器(FA-I) 进行空气真菌取样。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。采样器各级的特性如表 1。

表 1 FA-I 取样器各级特征/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 Characteristics of FA-I sampler

级数	孔径/ mm	空气流速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	捕集范围/ μm	ECD/ μm
F ₁	1.18	1.08	> 8.2	8.2
F ₂	0.91	1.79	5.0 ~ 10.4	6.0
F ₃	0.71	2.97	3.0 ~ 6.0	3.0
F ₄	0.53	5.28	2.0 ~ 3.5	2.0
F ₅	0.34	12.77	1.0 ~ 2.0	1.0
F ₆	0.25	23.29	< 1.0	0.65

1) ECD 表示有效截留粒子径, (ECD represents effective cut diameter)。

1.3 采样方法和培养方法

在这 3 个地点同时进行取样, 每月取样 1 次, 每次连续取样 3 d, 每天分别在 09:00, 13:00 和 17:00 取样 3 次, 每次 3 个重复。采样高度距离地面 1.5 m 处。采样空气流量为 $28.3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 采样器各层的孔眼至采样面的距离(即撞击距离)为 2 mm, 空气真菌的采样时间为 3 min。采样平皿用 9 cm 的玻璃平皿, 灭菌后在无菌的条件下加入 20 mL 的培养基。真菌采样用沙氏培养基, 采集的真菌样品在 25 °C 培养箱内培养 72 h, 分别在各级采样皿上进行菌

落记数。

1.4 计算方法

空气真菌浓度及各级带菌真菌粒子百分比: 由于通过 Andersen 采样器各筛孔的微生物粒子, 超过一定数量后, 会出现微生物粒子通过同一筛孔撞击在同一点上的重叠现象, 故各级采集的菌落数需经 (1) 式校正:

$$P_r = N \left| \frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \frac{1}{N-2} + \dots + \frac{1}{N-r+1} \right| \quad (1)$$

式中, P_r 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。

最后根据校正后各级空气带菌粒子的数量, 计算空气真菌的浓度和各级带菌粒子的百分比。具体计算方法如 (2) 式:

$$c(\text{CFU}/\text{m}^3) = \frac{T \times 1000}{t(\text{min}) \times F(\text{L}/\text{min})} \quad (2)$$

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

式中, c 为空气真菌浓度; T 为 6 级总菌落数; t 为采样时间; F 为空气流量; P 为各级带菌粒子百分比; n 为各级菌落数。

1.5 真菌鉴定方法

根据真菌菌落形态和显微镜下真菌的孢子特征把空气真菌鉴定到属^[15-17]。借鉴国外学者经验, 对在原培养基上培养 3 d 未产生孢子的菌落如转种培养 2 周后仍未见孢子生成, 则列入无孢菌群, 简称为无孢菌^[18,19]。

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 结果分析

2.1 空气真菌群落特征及种类组成

从表 2 可以得出, 北京市 3 个功能区共鉴定出 12 属或群空气真菌, 其中枝孢属(*Cladosporium*)、链格孢属(*Alternaria*)、青霉属(*Penicillium*)、曲霉属(*Aspergillus*) 和无孢菌是北京市空气中的优势真菌。

从出现频率来看, 枝孢属、链格孢属、青霉属、曲霉属和无孢菌是出现频率较高的空气真菌。它们的出现频率都在 75% 以上, 最低的为 76.1%, 最高的达到 98.8%。其中枝孢属的出现频率最高, 3 个功能区均在 95% 以上。除了这 5 类真菌外, 其它真菌的出现频率都较低, 比如根霉属、木霉属和脉孢菌属在一年中的取样过程中, 3 个功能区的出现频率都很

低.从浓度百分比来看,百分比较高的依次为枝孢属、无孢菌、链格孢属、青霉属和曲霉属,它们的浓度总和占总浓度的90%以上.其中枝孢属真菌浓度百分比最高,3个功能区都在36%以上,而曲霉属浓度

较低,在6.5%~8.8%之间.北京市空气中其它的真菌浓度占总浓度的很小一部分,在空气真菌中占的比重很小,其中未鉴定的空气真菌占总数的5%以下.

表2 各功能区空气真菌浓度百分比及出现频率/%

Table 2 Concentration percentage and frequency of airborne fungi in different functional regions/%

真菌类型	文教区		交通干线		公园绿地	
	频率	浓度百分比	频率	浓度百分比	频率	浓度百分比
枝孢属 <i>Cladosporium</i>	95.9	43.0	96.4	36.6	98.1	40.7
青霉属 <i>Penicillium</i>	92.3	11.0	95.2	15.5	91.8	11.0
链格孢属 <i>Alternaria</i>	95.9	14.0	89.9	11.7	96.9	14.5
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	81.7	6.5	82.1	8.8	76.1	7.0
无孢菌 <i>No sporing</i>	98.8	18.0	98.2	18.2	96.9	20.1
木霉属 <i>Trichoderma</i>	7.7	0.1	12.5	0.6	6.9	0.2
拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	8.9	0.2	11.3	0.7	8.8	0.2
毛霉属 <i>Mucor</i>	16.0	0.6	16.7	0.6	21.4	0.6
脉孢菌属 <i>Neurospora</i>	5.9	0.1	4.2	0.1	8.8	0.1
酵母菌 <i>Yeasts</i>	42.6	2.2	36.3	2.9	8.2	2.2
根霉属 <i>Rhizopus</i>	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
镰孢属 <i>Fusarium</i>	15.4	0.4	12.5	0.3	11.3	0.3
未鉴定 <i>No identification</i>	68.0	3.9	72.6	3.8	75.5	3.2

3个功能区空气真菌的种类相似,但是它们在不同功能区的浓度百分比分布不相同.枝孢属和链格孢属真菌在交通干线的浓度百分比比较低,而青霉属和曲霉属真菌在交通干线的浓度百分比比较其它功能区高.此外,公园绿地无孢菌占的比例比文教区和交通干线高.

2.2 空气真菌浓度分布特征

2.2.1 空气真菌浓度空间变化特征

3个功能区空气真菌总浓度及不同菌属浓度各不相同(表3).文教区和公园绿地真菌总浓度明显高于交通干线($p < 0.01$),文教区和公园绿地则没

有显著差异($p > 0.05$).从全年的数据统计来看,3个功能区枝孢属是浓度最高的菌属,最高浓度达 $5\ 830.4\ \text{CFU} \cdot \text{m}^{-3}$;其次为无孢菌,然后依次为链格孢属、青霉属、曲霉属.文教区和公园绿地枝孢属浓度显著高于交通干线($p < 0.05$);链格孢属浓度3个功能区之间差异显著,公园绿地最高,其次为文教区,交通干线最低($p < 0.01$);公园绿地无孢菌浓度明显高于文教区和交通干线($p < 0.01$);青霉属和曲霉属浓度3个功能区之间均无显著差异($p > 0.05$),而其它真菌在各功能区的浓度分布均较低.

表3 各功能区空气真菌浓度及其变化范围/ $\text{CFU} \cdot \text{m}^{-3}$

Table 3 Concentrations and ranges of airborne fungi in different functional regions/ $\text{CFU} \cdot \text{m}^{-3}$

真菌种类	文教区		交通干线		公园绿地	
	浓度	浓度范围	浓度	浓度范围	浓度	浓度范围
枝孢属 <i>Cladosporium</i>	628.0	0~5 677.3	329.8	0~2 626.6	568.2	0~5 830.4
青霉属 <i>Penicillium</i>	117.6	0~2 732.6	105.0	0~1 649.0	107.0	0~3 215.5
链格孢属 <i>Alternaria</i>	148.3	0~1 130.7	85.2	0~906.9	174.7	0~1 743.2
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	47.3	0~530.0	51.7	0~671.4	57.6	0~824.5
无孢菌 <i>No sporing</i>	149.8	0~577.1	124.0	0~1 013.0	245.9	0~2 438.2
木霉属 <i>Trichoderma</i>	1.2	0~23.6	2.7	0~164.9	1.7	0~117.8
拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	1.3	0~35.3	2.2	0~47.1	1.5	0~58.9
毛霉属 <i>Mucor</i>	3.3	0~58.9	2.7	0~58.9	6.9	0~282.9
脉孢菌属 <i>Neurospora</i>	1.1	0~35.3	0.6	0~23.6	1.6	0~70.7
酵母菌 <i>Yeasts</i>	12.7	0~223.9	12.3	0~188.5	16.3	0~612.5
链孢属 <i>Fusarium</i>	2.5	0~35.3	2.1	0~70.7	1.7	0~35.3
未鉴定 <i>No identification</i>	36.6	0~471.1	25.8	0~223.8	28.3	0~471.1
根霉属 <i>Rhizopus</i>	0.3	0~11.8	0.0		0.0	
总浓度 <i>Total concentration</i>	1 356.7	70.9~8 937.8	791.2	23.6~5 328.5	1 331.8	94.2~13 959.5

2.2.2 空气真菌浓度时间变化特征

(1) 季节变化 一年中,文教区和公园绿地空气真菌浓度 4 季变化特征显著,夏季和秋季较高,春季和冬季较低,其中夏季浓度最高(图 1). 交通干线空

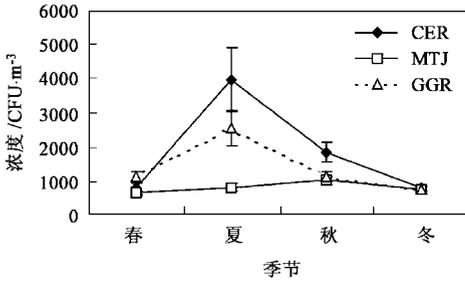


图 1 空气真菌季节变化

气真菌浓度 4 季变化趋势不明显,没有显著的差异.

(2) 月变化 文教区全年空气真菌浓度高峰值出现在 6 月(图 2),平均浓度高达(6 447.1 ± 1 587.2) CFU·m⁻³,10 月出现全年第 2 高峰.公园绿地 7 月和 8 月空气真菌浓度显著高于全年其他月份.交通干线空气真菌浓度全年变化趋势不明显,没有高峰值出现.从 11 月到次年的 5 月 3 个功能区空气真菌浓度都没有明显的变化趋势.

枝孢属的月变化趋势与总浓度相同,空气中真菌总浓度与枝孢属浓度显著正相关($r = 0.936$).青霉属浓度除文教区 9 月明显高于其它月份外,全年月变化趋势不明显.链格孢属浓度高峰出现在 5,6 月份.与青霉属相比,曲霉属浓度变化复杂得多,呈多峰型.无孢菌浓度 6 月到 10 月浓度较高.

Fig.1 Seasonal variation pattern of the concentration of total fungi

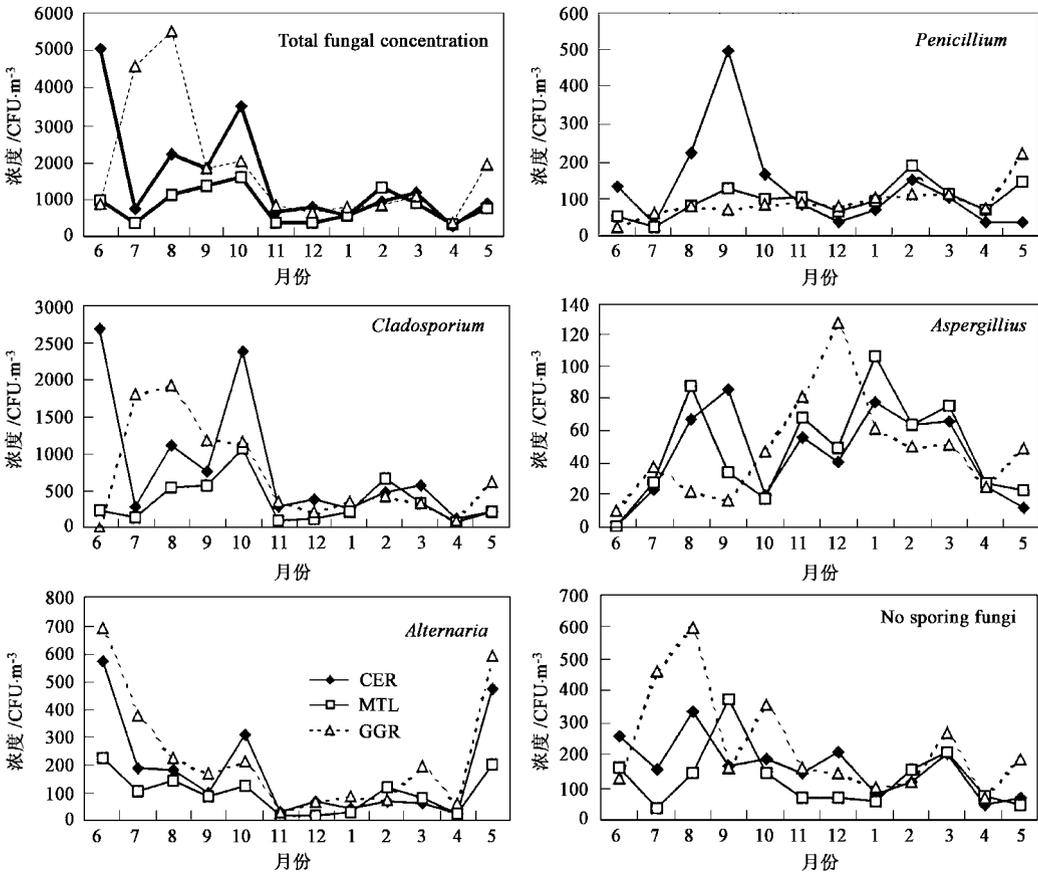


图 2 空气真菌浓度月变化

Fig.2 Monthly variation pattern of the fungal concentrations

3 讨论

北京市空气中出现频率和浓度值较高的真菌依次为枝孢属、无孢菌、链格孢属、青霉属和曲霉属.枝

孢属是绝对的优势菌属,浓度占总浓度的 1/3 以上,一年中任何季节出现频率都很高.尽管与吴诚华等^[12]和符春兰等^[14]对北京市气挟真菌调查的优势菌类型基本一致,但优势菌类型的次序有明显的变

化,这表明虽然北京市过去 50a 空气中优势真菌的类型没有发生明显的变化,但由于环境特征和景观格局的变化,使得一些真菌类型在北京空气中浓度升高.在世界的其它地区和城市,如墨西哥城^[18]、都灵^[19]和美国^[20]等,空气中优势真菌与本研究的结果基本一致.这表明在世界的范围内,空气真菌优势属并没有显著的变化.只是在不同的环境条件下,可能会存在一些个别的差异.在流行病学的调查中,枝孢属、链格孢属、青霉属、曲霉属都是常见的潜在真菌过敏原,它们与人类哮喘病、过敏性鼻炎、皮肤感染等疾病的发生密切相关^[21];毛霉属、木霉属、拟青霉属等真菌虽然在空气中含量较少,但也是非常重要的病原因子;此外,一些真菌产生的真菌毒素如黄曲霉毒素是危险的致癌物质^[22~24].

北京市全年空气真菌平均浓度为 $(1\ 164.8 \pm 73.2)$ CFU·m⁻³.这与 1989 年天津空气中真菌浓度相近(平均值 $1\ 200$ CFU·m⁻³)^[25],低于胡庆轩等 1987~1988 年在北京西单的观测结果(平均值 $1\ 723$ CFU·m⁻³)^[11];低于成都市空气真菌浓度(平均值大于 $3\ 000$ CFU·m⁻³)^[26].在世界其他国家和地区,一些大中城市空气中可培养的真菌浓度多数比北京低.如 Di Giorgio 等报道^[27]马赛的空气真菌浓度为 63 CFU·m⁻³,美国空气真菌浓度为 500 CFU·m⁻³(浓度中值)^[20],利雅得浓度^[28]低于 800 CFU·m⁻³.有少数城市空气真菌浓度与北京基本相同,如澳大利亚布里斯班空气真菌平均浓度^[29]为 $(1\ 133 \pm 759)$ CFU·m⁻³.不同城市空气中的真菌浓度差异可能与其地理位置、气候条件、植被类型和覆盖率,以及采样器类型、培养介质和取样方法密切相关.北京市空气真菌浓度相对较高,还可能与北京空气质量较差,空气颗粒物浓度较高有关,这既是北京市空气污染严重的原因,也是北京市空气污染严重的结果.

空气真菌浓度变化具有明显的季节性,夏季和秋季较高,春季和冬季低.这完全符合真菌在温度和湿度较高的情况下生长繁殖较快的特点^[22].研究表明,许多空气真菌孢子来源于植被而非土壤^[30,31],因而空气中真菌的浓度会随着植物生长周期的变化而变化.这种季节性变化特征与张宗礼等^[32]在天津及胡庆轩等^[11]在北京西单的研究结果相同.在中国台北,夏季空气真菌浓度是冬季的 20 倍^[33];波兰西里西亚市室外空气真菌也有相同的季节性变化规律^[34].但以色列一年中空气真菌的高峰期出现在晚春,这是因为那里的春季温度较高,适

合真菌的生长繁殖^[35].在优势真菌中,枝孢属的浓度与真菌总浓度具有相同的时间变化规律,所以枝孢属真菌的发生规律决定着空气真菌总浓度的变化趋势.

文教区和公园绿地空气真菌显著高于交通干线($p < 0.01$).植物园和中科院生态环境研究中心的绿地覆盖率较高,而植被可能是空气真菌的主要来源.同时植被覆盖高的地方空气湿润阴凉,能够给真菌提供适宜的生长和繁殖环境,增加空气环境中真菌的含量.中国科学院生态环境研究中心人们的日常活动较频繁,这可能也是其空气中真菌浓度较高的主要原因.枝孢属和链格孢属等真菌是重要的植物病原菌^[15],这导致了文教区和公园绿地这 2 属真菌浓度的增高.西直门立交桥车流量大,车流形成的风能够激起近地面空气真菌的释放,但这里大部分地面都是水泥或沥青路面,植被覆盖率较植物园和生态环境研究中心低得多,缺少稳定的真菌释放源,因而交通干线空气中真菌浓度较低.这与巨天珍等的研究结果一致,他们在兰州研究不同地点空气微生物时发现,绿地空气中真菌的浓度比马路空气中增加了 12 倍^[36].但是杨建平等在成都市 3 个功能区研究发现文教区、居民商业区和交通枢纽区之间空气真菌的浓度无显著差异^[26].这可能与 2 城市采样点的绿化状况、人口密度及活动等因素密切相关.

- 参考文献:
- [1] Burge H A. The fungi: how they grow and their effects on human health [J]. *Heating/ Piping/ Air Conditioning*, 1997, 7: 69~74.
 - [2] Beguin H. Mould biodiversity in homes. Analysis of mattress dust [J]. *Aerobiologia*, 1995, 11: 3~10.
 - [3] Garrett M H, Rayment P R, Hooper M A, *et al.* Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children [J]. *Clini Exp Allergy*, 1998, 28(4): 459~467.
 - [4] Pieckov ã E, Jesenk ã M. Microscopic fungi in dwellings and their health implication in humans [J]. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 1999, 6: 1~11.
 - [5] Garrett M H, Rayment P R, Hooper M A, *et al.* Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children [J]. *Clinical and Experimental Allergy*, 1998, 28(4): 459~67.
 - [6] Lacy J, Crook B. Review: fungal and actinomycete spores as a pollutants of the workplace and occupational allergens [J]. *Annals of Occupational Hygiene*, 1988, 32: 515~533.
 - [7] Burge H. Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment [J]. *Journal of allergy and Clinical Immunology*, 1990, 86: 687~701.
 - [8] Owen M K, Ensor D S, Sparks L E. Airborne particle sizes and

- sources found in indoor air [J]. *Atmospheric Environment*, 1992, **26**(A) : 2149 ~ 2162 .
- [9] Seltzer J M. Biologic contaminants [J]. *Occupational Medicine : State of the Art Reviews*, 1995, **10** : 1 ~ 25 .
- [10] Dockery D W, Pope C A, Xu X, *et al.* An association between air pollution and mortality in six U.S. cities [J]. *N Engl J Med*, 1993, **329** : 1753 ~ 1759 .
- [11] 胡庆轩, 车凤翔, 叶冰炎, 等. 北京市西单地区大气微生物粒子含量的调查 [J]. *中国消毒学杂志*, 1991, **8**(1) : 20 ~ 24 .
- [12] 吴诚华, 李钟庆, 齐祖同, 等. 相隔 24 年期间北京上空气挟菌的比较 [L]. *环境科学学报*, 1982, **2**(3) : 255 ~ 261 .
- [13] 胡庆轩, 陈振升, 徐桂清, 等. 北京地区大气微生物粒子谱的研究 [J]. *中国环境监测*, 1991, **7**(1) : 9 ~ 11 .
- [14] 符春兰, 何文华, 贾建华, 等. 我国四城市空气真菌特别调查 [J]. *微生物学通报*, 2000, **27**(4) : 264 ~ 269 .
- [15] 陆家云. *植物病原真菌学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001. 392 ~ 397 .
- [16] 戴芳澜. *真菌的形态和分类* [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1 ~ 352 .
- [17] H.L. 巴尼特, B.B 亨特(著), 沈崇尧(译). *半知菌属图解(第三版)* [M]. 北京: 科学出版社, 1977, 1 ~ 240 .
- [18] Rosas I, Calderon C, Martinez L, *et al.* Indoor and outdoor airborne fungal propagule concentrations in Mexico City [J]. *Aerobiologia*, 1997, **13**(1) : 23 ~ 30 .
- [19] Marchisio V F, Airaudi D. Temporal trends of the airborne fungi and their functional relations with the environment in a suburban site [J]. *Mycologia*, 2001, **93**(5) : 831 ~ 840 .
- [20] Shelton B G, Kirkland K H, Flander W D, *et al.* Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, **68**(4) : 1743 ~ 1753 .
- [21] Li C S, Hsu L Y. Airborne fungal allergen in association with residential characteristics in atopic and control children in a subtropical region [J]. *Arch Environ Health*, 1997, **52** : 72 ~ 79 .
- [22] 邢来君, 李明春. *普通真菌学* [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. 98 ~ 99 .
- [23] Auger P L, Gourdeau P, Miller J D. Clinical experience with patients suffering from a chronic fatigue-like syndrome and repeated upper respiratory infections in relation to airborne molds [J]. *Am J Ind Med*, 1994, **25** : 41 ~ 42 .
- [24] Wilhelmus K R, Robinson N M, Font R A, *et al.* Fungal keratitis in contact lens wearers [J]. *Am J Ophthalmol*, 1988, **106**(6) : 708 ~ 714 .
- [25] 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 .
- [26] 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]. *华西医科大学报*, 1989, **20**(4) : 448 ~ 451 .
- [27] Di Giorgio C, Krempff A, Guiraud H, *et al.* Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles [J]. *Atmos Environ.*, 1996, **30** : 155 ~ 160 .
- [28] Al-Suwaine A S, Hasnain S M, Bahkali A H. Viable airborne fungi in Riyadh, Saudi Arabia [J]. *Aerobiologia*, 1999, **15** : 121 ~ 130 .
- [29] Hargreaves M, Parappukkaran S, Morawska L, *et al.* A pilot investigation into association between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia [J]. *Science of the Total Environment*, 2003, **312**(1-3) : 89 ~ 101 .
- [30] Lacey J. Airborne fungus spores in outdoor air [A]. In: Griffiths DW. *Aerosols, their generation, behaviour and application* [C]. United Kingdom: The Aerosol Society, Loughborough, 1987, 125 ~ 128 .
- [31] Li De-Wei, Kendrick B. Functional relationships between airborne fungal spores and environmental factors in Kitchener-Waterloo, Ontario, as detected by Canonical correspondence analysis [J]. *Grana*, 1994, **33** : 166 ~ 176 .
- [32] 张宗礼, 王梓芬, 王佩玲. 城市气挟菌类生态研究: 2. 气挟菌类时空分布规律 [J]. *中国环境科学*, 1987, **7**(4) : 9 ~ 14 .
- [33] Kuo Y M, Li C S. Seasonal fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate [J]. *Atmos Environ*, 1994, **28B** : 3125 ~ 3039 .
- [34] Pastuszka J S, Paw U K T, Lis D O, *et al.* Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34** : 3833 ~ 3842 .
- [35] Waisel Y, Ganor E, Glikman M, *et al.* Airborne fungal spores in the coastal plain of Israel: A preliminary survey [J]. *Aerobiologia*, 1997, **13** : 281 ~ 287 .
- [36] 巨天珍, 索安宁, 田玉军, 等. 兰州空气微生物分析 [J]. *工业安全与环保*, 2003, **3** (29) : 17 ~ 19 .