

城市生态系统空气微生物群落研究进展

方治国^{1*}, 欧阳志云¹, 胡利锋², 王效科¹, 苗 鸿¹

(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. 湖南农业大学植保学院, 长沙 410128)

摘要: 空气微生物是城市生态系统重要的生物组成部分, 空气中广泛分布的细菌、真菌孢子、放线菌和病毒等生物粒子不仅具有极其重要的生态功能, 还与城市空气污染, 城市环境质量和人体健康密切相关。从生态系统角度出发, 着重论述了城市微生物气溶胶的粒谱范围、空气微生物的主要类型、空气微生物浓度的时空变化和空气微生物群落结构的影响因素。综述结果表明: 城市微生物气溶胶的粒谱范围为 $0.002\sim 30\mu\text{m}$; 在调查的城市中, 空气细菌有 21 属, 其中优势菌属为芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、葡萄球菌属 (*Staphylococcus*)、微球菌属 (*Micrococcus*) 和微杆菌属 (*Microbacterium*), 真菌有 21 属, 其中优势菌属为交链孢属 (*Alternaria*)、青霉属 (*Penicillium*)、曲霉属 (*Aspergillus*) 和木霉属 (*Trichoderma*), 放线菌共有 7 属; 一年中冬季空气微生物浓度最低, 一天中空气微生物浓度在 8:00~10:00 出现高峰, 2:00~4:00 或者 12:00~14:00 出现低峰, 交通干线和商业区空气微生物的浓度较高, 公园绿地较低, 并且随着高度的增加空气微生物浓度随之减少; 污染因子 SO_2 、 NO_2 、 NO 和环境因素风速风向、温度、相对湿度、光照、雨、雪等影响空气微生物的数量和浓度。在经济发达, 人口流动较多的城市如北京、上海、广州等, 由于空气微生物种类较多, 容易传播和发生各种疾病。

关键词: 城市生态系统; 空气微生物; 群落结构; 动态变化

Progresses of airborne microbial communities in urban ecosystem

FANG Zhi-Guo¹, OUYANG Zhi-Yun¹, HU Li-Feng², WANG Xiao-Ke¹, MIAO Hong¹ (1. Key Laboratory of System Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Plant Protection College, Hu'nan Agricultural University, Changsha 410128, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 315~322.

Abstract: Airborne microbes are important biological components in urban ecosystem, they have a direct relation with ecological balance and many life phenomena in nature, and play much important roles in natural cycle of matter. The biological particles, such as bacteria, fungus spores, antinomyces, virus and so on, are widely distributed in the air. Soil, water, animal and plant life, human beings are the main sources of airborne microbes. Moreover, sewage sludge treatment, animal feeding, fermentation course and rural activity are the important sources of airborne microbes. They have not only important ecological functions, but also have close relation with urban air pollution, environment quality and human health. Understanding the community structure and dynamic fluctuation of airborne microbes in the urban ecosystem will be helpful in urban planning and management.

This paper is a literature summary and study on progresses of airborne microbe in the urban ecosystem. The particle range of microbiological aerosol, the main types, the space-time fluctuation of airborne microbe concentration and the influence factors of its community structure in the urban ecosystem were discussed.

The literature survey suggested that the particle chart of microbiological aerosol ranges from $0.002\mu\text{m}$ to $30\mu\text{m}$. The particle sizes of different microbiological aerosol have much difference, such as virus, bacteria, fungi, algae, spore, pollen is $0.015\sim 0.045\mu\text{m}$, $0.3\sim 15\mu\text{m}$, $3\sim 100\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$, $6\sim 60\mu\text{m}$, $1\sim 100\mu\text{m}$ respectively. Amongst 21 genera of bacteria recorded, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Microbacterium* are dominant. Gram positive bacteria are much more than gram negative bacteria. *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus* and *Trichoderma* are dominant in 21 fungal genera and there have 7

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: 2003-05-09; **修订日期:** 2003-11-14

作者简介: 方治国 (1977~), 男, 安徽黄山人, 博士, 主要从事生物多样性和微生物生态学研究。E-mail: zhgfang77@sohu.com

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

Received date: 2003-05-09; **Accepted date:** 2003-11-14

Biography: FANG Zhi-Guo, Ph. D. candidate, main research field: biodiversity and microbial ecology.

genera of actinomycetes.

The concentration of airborne microbes, whether bacteria or fungi, is different in different temporal hours. In a year it is lowest in the winter. During day, it is highest from 8:00 to 10:00h while low from 2:00 to 4:00 or from 12:00 to 14:00. Due to location, it is highest around the main traffic line and commercial center, while lowest in garden greenbelt. The amount of microbes decrease with the increasing of height and is influenced by the pollutant factor and environmental factor, such as SO₂, NO₂, NO, wind, temperature, relative humidity, solar radiation, rainfall and snowfall etc.

Due to more species of airborne microbe, there is lot of facility to spread all kinds of diseases in the economy-developed and population-overloaded cities such as Beijing, Shanghai, Guangzhou etc. By literature investigation, it could also be found that the research on airborne microbe based on the viewpoint of ecosystem, especially their ecological function should be encouraged. The future development trend of airborne microbes was discussed in the last.

Key words: urban ecosystem; airborne microbe; community structure; dynamic fluctuation

文章编号:1000-0933(2004)02-0315-08 中图分类号:Q938 文献标识码:A

空气微生物是指空气中细菌、霉菌和放线菌等有生命的活体,它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等也是空气微生物的重要来源^[1~4],已知存在空气中的细菌及放线菌有 1200 种,真菌有 40000 种^[5]。空气微生物与自然生态平衡及许多生命现象直接相关,在自然界的物质循环中起着非常重要的作用^[3,6~8]。

城市生态系统是指特定地域内的人口、资源、环境(生物的、物理的、社会的、经济的、政治的和文化的)通过各种生态过程、经济社会过程建立起来的人类聚居地或社会-经济-自然的复合生态系统^[9]。空气微生物是城市生态系统重要的生物组成部分,空气中广泛分布的细菌、真菌孢子、放线菌、病毒等生物粒子不仅具有极其重要的生态系统功能,还与城市空气污染、城市环境质量和人体健康密切相关,空气中微生物浓度过高会导致各种疾病的发生^[10]。城市空气中的微生物状况是城市环境综合因素的集中体现,是评价城市空气环境质量的重要指标之一^[11],但是到目前为止,从生态系统角度比较全面地对城市空气微生物进行研究的报道较少。因此系统、全面地了解城市空气微生物群落结构与动态变化规律及其生态系统功能十分紧要 and 迫切,这对城市生态系统结构和功能的维持,城市污染的控制,环境质量的改善具有重要的理论和现实意义。本文将城市空气微生物群落的研究报道作简要概述,与此同时提出以往城市空气微生物研究中的不足及将来的发展趋势。

1 微生物气溶胶的粒谱范围

空气中微生物大多附着在灰尘粒子上,以微生物气溶胶(Microbiological aerosol)的形式存在于空气中。微生物气溶胶是悬浮于空气中的微生物所形成的胶体体系,其粒谱范围很宽,粒径范围 0.002~30μm,与人类疾病有关的微生物气溶胶粒子直径一般为 4~20μm,而真菌则以单个孢子的形式存在于空气中^[12]。不同微生物气溶胶粒径大小不同:病毒 0.015~0.045μm,细菌 0.3~15μm,真菌 3~100μm,藻类 0.5μm,孢子 6~60μm,花粉 1~100μm^[12]。不同城市,同一城市的不同区域以及不同研究人员用不同方法测出的微生物气溶胶粒径各不相同,如胡庆轩等用国产安德森(Andersen)采样器测定京津地区空气细菌和真菌的粒度分布,指出北京西单大于 2.0μm 的空气细菌粒子占 83.0%,大于 8.2μm 的粒子占 29.8%;北京丰台空气真菌峰值中心位于 3.0~6.0μm 之间,小于 8.2μm 的真菌粒子占 64.3%^[13]。而沈阳小于 8.2μm 的细菌粒子占 61.4%,真菌占 88.4%,并且空气细菌粒度呈偏正态分布,真菌粒度呈正态分布。张朝隆等在北京 307 医院外环境测定空气细菌粒度分布得出,大于 4.7μm 和 3.3~0.65μm 两个范围捕获的粒数分别占 69.9%和 30.4%^[14]。

2 空气微生物的主要类型

空气中的自然微生物主要是非病原性腐生菌^[12]。据 Wright 报道各种球菌占 66%,芽孢菌占 25%,还有霉菌、放线菌、病毒、蕨类孢子、花粉、微球藻类、原虫及少量厌氧芽孢菌^[11]。在病人集中的医院,空气中除了自然的微生物外,还有各种病原菌,细菌有结核杆菌、肺炎双球菌和绿脓杆菌等约 160 种,真菌有球孢子菌、组织胞浆菌、隐球酵母、青霉和曲霉等约 600 多种,病毒有鼻病毒、腺病毒等约几百种,此外还有支原体、衣原体等^[12]。

由于受到各种环境因素的影响,不同地区空气中微生物种类不相同。综合文献结果,城市生态系统空气中出现的细菌共有 21 属,革兰氏阳性菌较多,革兰氏阴性菌较少,其中优势菌属为芽孢杆菌属(*Bacillus*)、葡萄球菌属(*Staphylococcus*)、微杆菌属(*Microbacterium*)和微球菌属(*Micrococcus*),真菌共有 21 属,其中优势菌属为青霉属(*Penicillium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、木霉属(*Trichoderma*)和交链孢属(*Alternaria*),放线菌共有 7 属。东北地区的抚顺和沈阳空气微生物出现的种类较多,经济发达,流动人口较多的城市北京、上海和广州空气微生物的种类也较多,而流动人口较少的合肥和乌鲁木齐细菌和真菌出现的种类最少(表 1)^[5,15~20]。随着经济发达,人口流动较多的城市如北京、上海、广州等,由于空气微生物的种类较多,容易传播和发生各种疾病。

表 1 不同城市空气微生物分布特征

微生物种类 Microbial species	北京 Beijing	抚顺 Fushun	沈阳 Shenyang	合肥 Hefei	南京 Nanjing	上海 Shanghai	广州 Guangzhou	成都 Chengdou	兰州 Lanzhou	乌鲁木齐 Wulumuqi
细菌 Bacteria					/		/	/		
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>	+	+	+	+		+			+	+
微杆菌属 <i>Microbacterium</i>	+	+	+	—		—			+	—
短杆菌属 <i>Brevibacterium</i>	+	+	+	—		—			—	—
棒杆菌属 <i>Corynebacterium</i>	+	—	—	—		+			+	—
产碱杆菌属 <i>Alcaligenes</i>	+	+	+	—		+			—	—
节杆菌属 <i>Arthrobacter</i>	+	—	+	—		—			+	—
拟杆菌属 <i>Bacteroides</i>	—	—	+	—		—			—	—
不动杆菌属 <i>Acinetobacter</i>	—	—	—	—		+			—	—
乳酸杆菌属 <i>Lactobacillus</i>	—	—	—	—		—			+	—
李斯特氏杆菌属 <i>Listerium</i>	—	—	—	—		—			+	—
葡萄球菌属 <i>Staphylococcus</i>	+	+	+	+		+			+	+
微球菌属 <i>Micrococcus</i>	+	+	+	+		+			+	—
双球菌属 <i>Diplococcus</i>	—	+	—	—		—			—	—
链球菌属 <i>Streptococcus</i>	+	+	—	—		+			—	—
足球菌属 <i>Pediococcus</i>	—	+	—	—		—			—	—
奈瑟氏球菌属 <i>Neisseria</i>	—	+	+	—		+			—	—
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>	+	+	—	—		+			—	—
纤维单胞菌属 <i>Cellulomonas</i>	—	—	+	—		—			—	—
动胶菌属 <i>Zoogloea</i>	—	+	—	—		—			—	—
克雷伯氏菌属 <i>Klebsiella</i>	—	—	+	—		—			—	—
布鲁氏菌属 <i>Brucella</i>	—	—	+	—		—			—	—
真菌 Fungi									/	/
青霉属 <i>Penicillium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		
拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	+	—	—	—	+	+	—	+		
根霉属 <i>Rhizopus</i>	—	+	+	—	—	—	—	—		
毛霉属 <i>Mucor</i>	—	+	+	+	—	—	—	—		
木霉属 <i>Trichoderma</i>	+	+	+	—	—	—	+	+		
交链孢属 <i>Alternaria</i>	+	+	+	+	+	+	—	—		
镰孢属 <i>Fusarium</i>	+	—	—	—	+	—	—	—		
匐柄霉属 <i>Stemphylium</i>	—	—	—	—	—	—	+	—		
腐质霉属 <i>Humicola</i>	—	—	—	—	—	—	+	—		
酵母属 <i>Saccharomyces</i>	+	—	—	—	+	+	+	+		
红酵母属 <i>Rhodotorula</i>	+	—	—	—	—	+	+	+		
多胞菌属 <i>Pleosporaceae</i>	+	—	—	—	+	—	—	—		
枝孢属 <i>Cladosporium</i>	—	—	—	—	—	+	—	—		
白僵菌属 <i>Beauveria</i>	—	+	—	—	—	—	—	—		
附球菌属 <i>Epicoccum</i>	+	—	—	—	—	—	—	—		
脉孢菌属 <i>Neurospora</i>	+	—	—	—	—	+	+	+		
黑孢属 <i>Nigrospora</i>	+	—	—	—	—	+	—	—		
毛茛孢属 <i>Botryotrichum</i>	+	—	—	—	—	—	—	—		
黑团孢属 <i>Periconia</i>	—	—	—	—	—	+	—	—		
刚毛孢属 <i>Pleiochaeta</i>	—	—	—	—	—	+	—	—		
放线菌 Actinomycete	/			/	/	/	/	/	/	/
原放线菌属 <i>Proactinomyces</i>		+	+							
链霉菌属 <i>Streptomyces</i>		+	+							
链孢囊菌属 <i>Streptosporangium</i>			+							
小单孢菌属 <i>Micromonospora</i>		+	—							
小多孢菌属 <i>Micropolyspora</i>		+	—							
钦氏菌属 <i>Chainia</i>		—	+							
小瓶菌属 <i>Ampullariella</i>		—	+							

表 1 所列资料引自参考文献[5,15~23];“/”代表没有资料,“+”表示出现,“—”表示没有出现 The data are from reference [5,15~23];“/” no data, “+” appearance, “—” no appearance

3 空气微生物浓度的时空变化

3.1 空气微生物浓度的时间分布特征

3.1.1 空气微生物浓度的季节变化 空气微生物浓度在一年内不同的季节和月份变化较大。细菌浓度,北京、天津、上海、合肥空气春季最高,而沈阳和太原秋季最高。真菌浓度沈阳、合肥和齐齐哈尔秋季最高,而北京和太原夏季最高^[5, 18, 24~28]。无论细菌,还是真菌的最低浓度均出现在冬季。Bovallius 等在瑞典首都及其附近地区连续 3a 观察了空气中微生物数量的变化发现,在乡村中空气微生物数量随着季节明显变化,平均最高浓度出现于夏季(6~8 月),其次是秋季(9~11 月),冬季最低(12~2 月)^[1]。

3.1.2 空气微生物浓度的日变化 空气微生物在一日内变化也很大,并且与城市功能区、土地覆盖、环境条件有密切的关系。空气微生物一般在 8:00~10:00 出现高峰,2:00~4:00 或者 12:00~14:00 出现低峰,但不同的城市还不完全一致^[15,21,25-27]。北京空气微生物在 16:00 出现高峰,0:00~2:00 出现低峰,而天津和沈阳 8:00 出现高峰,2:00~4:00 出现低峰^[26,27]。北京空气细菌和真菌浓度的日变化趋势基本一致,高峰期出现在 6:00 和 20:00,低峰期出现在 14:00^[12]。沈阳不同功能区细菌、真菌和放线菌浓度都在 6:00 和 18:00 出现低峰。在人群活动稠密的中街细菌和放线菌 10:00 出现高峰,真菌 8:00 出现高峰。在人群活动较少的大含屯细菌 8:00~10:00 出现高峰,真菌 10:00~12:00 出现高峰,放线菌 12:00 出现高峰^[21]。

3.2 空气微生物浓度的空间分布特征

3.2.1 不同城市的分布特征 不同区域环境下的空气微生物的空间分布不同。城市空气细菌的浓度变化趋势与空气微生物总浓度呈正相关,深圳空气微生物总浓度和细菌浓度最高,分别为 61622 CFU/m³ 和 59893 CFU/m³。洛阳、太原和鞍山则较高,而铜陵空气微生物总浓度最低,为 4496 CFU/m³,九江空气细菌浓度最低,为 1200 CFU/m³,天水 and 北京则较低。空气真菌浓度的变化趋势与空气微生物总浓度和细菌浓度差异较大,庐山空气真菌浓度最高,为 11900 CFU/m³,天水则最低,为 131 CFU/m³,铜陵、洛阳和太原空气真菌浓度也较低(图 1)^[20, 25,26,29~33]。

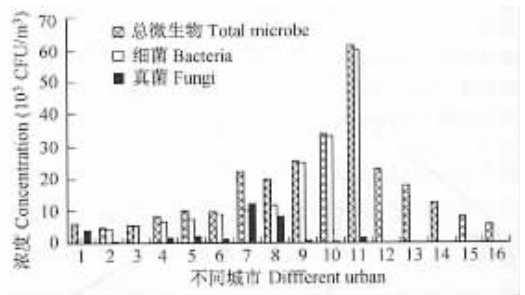


图 1 不同城市空气微生物浓度的变化特征

Fig. 1 The change character of airborne microbe concentration in different urban

1. 九江 Jiujiang 2. 铜陵 Tongling 3. 天水 Tianshui 4. 乌鲁木齐 Wulumuqi 5. 沈阳 Shenyang 6. 泰安 Taian 7. 庐山 Lushan 8. 珠海 Zhuhai 9. 太原 Taiyuan 10. 洛阳 Luoyang 11. 深圳 Shenzhen 12. 鞍山 Anshan 13. 兰州 Lanzhou 14. 重庆 Chongqing 15. 天津 Tianjin 16. 北京 Beijing

资料来自参考文献^[20,25,26,29,30,31,32,33]The data are from references^[20,25,26,29,30,31,32,33]

3.2.2 不同服务功能区的分布特征 由于受到气象条件、工农业生产、人类活动和复杂环境因素的影响,同一城市不同的功能区微生物的种类与浓度不一样。不同功能区空气细菌浓度、空气真菌浓度和空气微生物总浓度成正相关。在城市生态系统中,交通干线和商业区空气微生物的浓度较高,而公园绿地则较低,这是由于交通干线和商业区空气污染严重,而公园绿地中植物挥发性分泌物对空气微生物有灭杀作用(图 2)^[24,25,30,31,34]。因此城市绿地的增加可以减少由于各种因素带来的空气微生物污染,保持良好的环境质量,减少各种微生物流行疾病的发生。

3.2.3 不同高度区的分布特征 同一功能区不同高度空气微生物浓度不相同。随着高度的增加空气微生物浓度随之减少,但是在正午时,这种规律不明显^[12]。如兰州市城管会观测点,高度 12m 的空气微生物的浓度达到最高,而后随着高度的增加空气微生物浓度显著降低;甘肃农大观测点,高度为 20m 的空气微生物浓度最高,之后随着高度的增加空气微生物的浓度降低^[27]。而在乌鲁木齐市空气微生物总浓度和细菌浓度,呼吸带(距地面 1.5m 左右)明显高于 15m 的高空,而呼吸带空气霉菌和耐高渗透压霉菌的浓度低于 15m 高空^[35];南京大学校园内无论是春季还是夏季,空气细菌和真菌的平均浓度都随着高度的增加而减少^[15]。

4 空气微生物群落变化的影响因素

空气中微生物群落组成及浓度很不稳定,随着各种环境因素和污染因子的变化,空气微生物的浓度和种类均有较大变化^[7,36,37]。

风速和风向影响空气微生物的浓度。西北风能够增加法国马赛空气微生物浓度,而东南风则减少其空气微生物浓度^[38]。风能够使城市生态系统中各种污染物悬浮于空气中,使空气细菌粒子浓度明显增大,风速越大,空气细菌粒子和真菌孢子浓度升高^[1,39~41];并且风能使空气细菌小粒子的比例减少,而大粒子的比例增大,随着空气细菌粒子径的增大,空气细菌粒子浓度越大^[42]。在大风天气下,海和马赛空气细菌菌落数明显增加^[5,38]。

空气温度和相对湿度对空气微生物的存活力有影响,空气温度对空气微生物水平的影响取决于微生物的种类和取样环境,

而相对湿度能够增加空气细菌和真菌的水平^[41,43,44]。齐齐哈尔市空气微生物粒子浓度与温度成正相关^[45];随着温度的升高,沈阳市空气微生物数量也随着增多,空气温度由 10℃ 升到 17℃,人口较少的大屯空气微生物由 11 个/皿增加到 80 个/皿,而人口群聚的中街由 779 个/皿增加到 835 个/皿^[21]。

降雨对空气微生物有冲刷作用和净化作用,能够明显减少空气中细菌和真菌大粒子的浓度,空气微生物粒径越大,减少作用越强^[6,13,28,43,46];阴雨天气空气细菌粒子浓度也明显减少^[5]。降雪对空气细菌粒子浓度也有明显的减少作用,可使细菌粒子浓度降低 22.4 倍,空气细菌粒子越大,减少的作用越强;降雪能够使空气中大于 8.2μm 的细菌粒子百分比明显减少,而使小于 2.0μm 的细菌粒子百分比明显增大,2.0~8.0μm 的细菌粒子百分比无明显变化^[47]。此外,太阳辐射对空气微生物有明显的灭杀作用,能够降低空气环境中的微生物浓度^[48,49]。

城市生态系统中空气微生物数量与其它污染物浓度和类型(CO、碳水化合物、NO、NO₂、SO₂)有很大的关系,有些是正相关,有些是负相关^[3,50],但是大气污染理化因子对各种微生物的影响小于气象因子;在春、秋两季影响较大,冬、夏两季影响较小^[51]。研究表明,空气中细菌浓度与悬浮颗粒物浓度和 NO₂ 浓度成正相关,与 NO 和 SO₂ 浓度成反相关^[3]。

5 展望

空气微生物作为城市生态系统重要的生物组成部分之一,有着极其重要的生态系统功能和作用,但是城市生态系统中空气微生物的浓度过高会导致环境污染,影响城市空气质量和人体健康。因此城市生态系统空气微生物的研究也日益受到界的关注,但是许多研究工作只是刚刚起步,还有很多问题需要进行深入的研究。

(1)目前城市空气微生物的研究工作大部分是单一的研究城市空气微生物的种类、数量及浓度的时间和空间变化以及其影响因素,缺少其它的生物指标,并且从生态系统的角度来研究城市空气微生物的工作甚少。因此有必要从生态系统角度出发,系统地研究城市空气微生物群落结构,全面了解城市空气微生物的动态变化规律以及城市空气微生物的变化对整个系统过程、结构和功能的影响。

(2)目前空气中细菌和真菌的研究工作较多,放线菌的研究甚少,而且空气微生物是采用传统的培养方法,鉴定方法采用的比较简单的表型鉴定^[4,27,46],多数只能鉴定到属。据估计空气细菌和放线菌有 1200 余种,空气真菌有 40000 余种^[5],而在本文的综述研究中,空气细菌只有 21 属,空气真菌也是 21 属,空气放线菌 7 属。为了进一步了解空气微生物群落结构和物种组成,必须利用传统的微生物学技术和现代分子生物学技术相结合进行深入的研究。

(3)地理位置、环境因素及采样地点对空气微生物的采样影响很大^[6,35,53,54,55],目前还没有研制出能够全部回收空气微生物的采样装置和显示出所有活性粒子的采样介质,经过采样器采样过后的空气微生物在某种程度上说是受伤的,不能够忍受培养基选择性试剂的刺激,因此研究结果具有很大的系统误差,并且不同采样器的研究结果只能说明其变化趋势,而不具有对比性。

(4)在目前的研究报道中,城市空气微生物群落变化的研究都是采取定点取样,随着各种复杂因素的变化,空气中的微生物群落结构变化很大,并且城市生态系统中不同的功能区或者景观斑块是随着时间的推移而不断变化的,定点取样在较长的时间周期内并不能代表整个城市空气微生物群落结构和动态变化的规律,所以应该寻找一种能够全面反映城市空气微生物群落结构和动态变化规律新的研究方法。

References:

- [1] Bovallius A, Bucht B, Roffey R, et al. Three -year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. *Applied and Environmental Microbiology*, 1978, **35**(5):847~852.
- [2] Lindman J, Constantinidou H, Barchet W, et al. Plants as sources of airborne bacteria, including ice nucleation-action bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 1982, **44**(5): 1059.
- [3] Mancinelli R, et al. Airborne bacteria in an urban environment. *Applied and Environmental Microbiology*, 1978, **35**(6): 1095.
- [4] Martin J, Jones J, Jones J, et al. Microbial containment in conventional fermentation processes. *Appl. Ind. Hyg.*, 1988, **3**: 177~181.

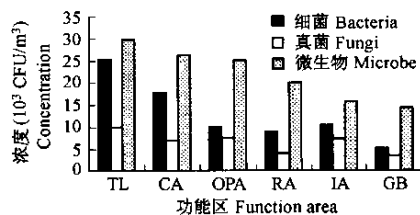


图2 不同功能区空气微生物浓度的变化特征

Fig. 2 The change character of airborne microbe concentration in different functional areas

资料来自参考文献^[24,25,30,31,34],图中 TL、CA、OPA、RA、IA、GB 分别为:居民区,商业区,公园绿地,交通干线,工业区,人口密集区 The data are from reference^[24,25,30,31,34], TL、CA、OPA、RA、IA、GB are Residential area, Commercial area, Greenbelt, Traffic line, Industrial area and Overpopulation area respectively

- [5] Song L H, Song W M, Shi W, *et al.* Health effects of atmosphere microbiological pollution on respiratory system among children in Shanghai. *Journal of Environment and Health*, 2000, **17**(3): 135~138.
- [6] Li C S and Kuo Y M. Characteristics of airborne microfungi in subtropical homes. *The Society of Total Environment*, 1994, **155**: 267~271.
- [7] Li D W, Kendrick B. Functional relationships between airborne fungal spores and environmental factor in Kitchener-Waterloo, Ontario, as detected by Canonical Correspondence Analysis. *Grana*, 1994, **33**: 166~176.
- [8] Zhou Y, Chen M L, Jiang L, *et al.* Application of 16S rRNA sequence analysis for the study of atmosphere bacteria. *Letters in Biotechnology*, 2000, **12**(2): 114.
- [9] Ma S J, Wang R S. Social-Economic-Natural complex ecosystem, *Acta Ecologica Sinica*, 1984, **9**(1): 1~10.
- [10] Lacey J and Dutkiewicz J. Bioaerosols and occupational lung disease. *Journal of Aerosol Science*, 1994, **25**(8): 1371~1404.
- [11] Wright J, Greene V and Paulus H. Viable microorganisms in an urban atmosphere. *Journal of Air Pollution Control Associate*, 1969, **19**: 337~339.
- [12] Yu X H. *Airborne microbiology of modern times*. Beijing: People's Military Medical Publisher, 2002. 1~52.
- [13] Hu Q X, Chen Z S, Xu G Q, *et al.* Study on particle chart of airborne microbe in Beijing area, *Environmental Monitoring in China*, 1991, **7**(1): 9~11.
- [14] Zhang Z L, Zhang S L, Cheng Z S, *et al.* Particle distribution of airborne bacteria in indoor and outdoor environmental. *Environmental Science and Technology*, 1993, **4**: 31~35.
- [15] Chen M L, Hu Q X, Xu X Z, *et al.* Investigations of airborne microbe pollution in Nanjing. *China Public Health*, 2000, **16**(6): 504~505.
- [16] Fu C L, He W H, Jia J H, *et al.* Special investigation of fungal from four cities of China. *Chinese Bulletin of Microbe*, 2000, **27**(4): 264~269.
- [17] Li C H, Shen Y L. Study on distribution of airborne microbe over Fushun and the Ribbon of forest around the city. *Journal of Liaoning University(Natural Sciences Edition)*, 1995, **22**(3): 83~88.
- [18] Li N S, Chen J, Yang J. The ecological distribution of atmospheric microbes in Hefei during the spring. *Journal of Anhui University (Natural Sciences Edition)*, **21**(3): 1997, 110~112.
- [19] Sun R G. Pollution distribution and system composition of airborne bacteria in Lanzhou. *Chinese Bulletin of Microbe*, 1994, **21**(2): 85~88.
- [20] Zhai J H, Cui H, Chen M L, *et al.* Analysis and identification of airborne fungi in Beijing and Nanjing. *China Public Health*, 2000, **16**(13): 1026.
- [21] Zhou D S, Ma X P, Liu Y J, *et al.* Study on system distribution of airborne microbe in Shenyang. *Environmental Protection Sciences*, 1994, **20**(1): 10~14.
- [22] Che F X, Xu G Q, Shi C Y, *et al.* Ecological distribution of atmosphere bacteria over Beijing-Tianjin area, *Environmental Science in China*, 1990, **10**(3): 192~196.
- [23] Song L H, Song W M, Shi W. Study on airborne bacteria pollution in Shanghai. *Shanghai Environmental Sciences*, 1999, **18**(6): 258~260.
- [24] Che F X, *et al.* Time-Space distribution of airborne microbe in Beijing and Tianjin Area. *Journal of China Public Health*, 1988, **8**(3): 151.
- [25] Hou H, Chen X, Zhang C Y. Dynamic change regular of airborne bacteria in Taiyuan. *Taiyuan Sci. Tech.*, 1998, **3**: 8~11.
- [26] Hu Q X, Xu X Z, Chen M L, *et al.* Study on airborne microbe in Shenyang III. Particle concentration and distribution of airborne fungi. *Chinese Bulletin of Microbe*, 1994, **21**(5): 281~285.
- [27] Sun R G, Tan D N, Zhang L H, *et al.* Study on numbers and dynamic change regular of airborne microbe in Lanzhou. *Gansu Environment Research and Monitoring*, 1994, **7**(3): 2~6.
- [28] Zhou Y M, Han M, Chen Z Y. Study on airborne microbe pollution of different function area in Qiqihaer. *Environmental Monitoring in China*, 1994, **10**(1): 49~51.
- [29] Chen H W. To indicate air pollution of Taiyuan city using the precipitable amount of airborne microbial particles. *Environmental protection of Mongolia*, 1999, **11**(4): 9~10.
- [30] Fu B. Investigation and analysis of airborne microbe pollution near ground in Jiujang. *Journal of Jiujiang Teacher's College(Natural Science)*, 2000, **5**: 22~24.
- [31] Hu Q X, 万方数据, Xu X. Relation on airborne bacteria and fungi in Shenyang. *Shanghai Environmental Sciences*, 1995, **14**(5): 29~32.
- [32] Sun R G. Monitoring and assessment of airborne microbes in Lanzhou. *Arid Environmental Monitoring*, 1996, **10**(1): 42~44.

- [33] Wang W Y. Investigation and assessment on the condition of airborne microbe pollution in Chongqing. *Sichuan Environment*, 1997, **16** (2): 38~42.
- [34] Hou H, Chen X, Zhang C Y. Particle numbers of airborne fungi and dynamic change regular in Taiyuan. *Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.)*, **22**(2): 195~198.
- [35] Lu A H, Wang Q Y, Su J, *et al.* The changing regulation of microorganism density in Wulumuqi atmosphere. *Environmental Monitoring in China*, 1996, **12**(3): 50~53.
- [36] Burge H. Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 1990, **86**: 687~701.
- [37] Lara T, Tessier J, Lafont-Grellety J, *et al.* Indoor moulds in asthmatic patients homes. *Aerobiologia*, 1990, **6**: 98.
- [38] Digorgio C, Krempff A, Guiraud H, *et al.* Atmospheric pollution by Airborne Microorganisms in the city of Marseilles. *Atmospheric Environment*, 1996, **30**(1): 155~160.
- [39] Lightart B and Kin J. Simulation of airborne microbial droplet transport. *Applied and Environmental Microbiology*, 1989, **55**: 2349~2355.
- [40] Pasanen A, Pasanen P, Jantunen M, *et al.* Significance of air humidity and air velocity for fungal spores release into the air. *Atmospheric Environment*, 1991, **25A**: 459~462.
- [41] Rosas I, Calderson C, Ulloa M, *et al.* Abundance of airborne penicillium CFU in relation to urbanization in Mexico city. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, **59**: 2648~2652.
- [42] Hu Q X, Che F X, Chen Z S, *et al.* Impact on airborne microbe particle concentration and chart distribution of large wind. *Environmental Monitoring in China*, 1991, **7**(6): 5~8.
- [43] Marchisio VF, Airaudi D, Barchi C. One year monitoring of the airborne fungal community in a suburb of Turin and assessment of its functional relations with the environment. *Mycological Research*, 1997, **101**: 821~828.
- [44] Marcher J, Huang F and Flores M. A two-year study of microbiological indoor air quality in a new apartment. *Arch. Envir. Health*, 1991, **46**: 25~29.
- [45] Zhou Y M, Chen Z Y, Zhao Z G, *et al.* Pollution lever of airborne microbe in Qiqihaer. *Arid Environmental Monitoring*, 1994, **8**(2): 97~99.
- [46] Marchisio VF, Cassinelli C, Tulloi V, *et al.* Outdoor airborne dermatophytes and related fungi: a survey in Turin. *Mycoses*, 1992, **35**: 251~257.
- [47] Hu Q X, Lu J C, Che F X. Impact on airborne bacteria particles of snowfall. *Environmental Protection Sciences*, 1992, **18**(4): 59~62.
- [48] Munakata N. Biological effective dose of solar ultraviolet radiation estimated by spore dosimetry in Tokyo since. *Photochemical Photobiology*, 1993, **58**(3): 386~392.
- [49] Yongyi Tong, and Bruce Lighthart. Effect of simulated solar radiation on mixed outdoor atmospheric bacterial population. *FEMS Microbiology Ecology*, 1998, **26**: 311~316.
- [50] Lee R, Harris K and Akland G. Simulation between viable bacterial and air pollutants in an urban atmosphere. *Am. Ind. Hyg. Ass. J*, 1987, **56**: 165~170.
- [51] Lu A H, Su J, Yang Y H, *et al.* Gray relevance analysis between airborne and weather condition ,air contamination. *Arid Environmental Monitoring*, 1995, **9**(3): 143~146.
- [52] Amann RI, Ludwig W and Schleifer KH. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbiology Review*, 1995, **59**: 143~169.
- [53] Halwagy M. Seasonal airspora at three sites in Kuwait 1977~1982. *Mycological Research*, 1989, **93**: 208.
- [54] Lara T, Tessier J, Lafont-Grellety J, *et al.* Indoor moulds in asthmatic patients homes. *Aerobiologia*, 1990, **6**: 98.
- [55] Mackay A. Temporal trends of fungal spores in central London and their relationships with environmental factors. *Jackson Environ Inst Working Pap.*, 1998, **2**: 1~32.

参考文献:

- [5] 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. *环境与健康杂志*, 2000, **17**(3): 135~138.
- [8] 周煜,陈梅玲,姜黎,等. 16SrRNA 序列分析法在大气微生物检测中的应用. *生物技术通讯*, 2000, **11**(2): 111~114.
- [9] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, **9**(1): 1~10.
- [12] 于玺华. *环境微生物学*. 北京:人民军医出版社, 2002. 1~52.
- [13] 胡庆轩,陈振生,徐桂清,等.北京地区大气微生物粒子谱研究. *中国环境监测*, 1991, **7**(1): 9~11.

- [14] 张朝隆,张松乐,陈振生,等.室内外环境中空气细菌的粒子大小分布.环境科学与技术,1993,4:31~35.
- [15] 陈梅玲,胡庆轩,徐秀芝,等.南京市大气微生物污染调查.中国公共卫生,2000,16(6):504~505.
- [16] 符春兰,何文华,贾建华,等.我国四城市真菌特别调查.微生物学通报,2000,27(4):264~269.
- [17] 李承海,沈玉兰.抚顺市区及环城林带气挟菌分布的研究.辽宁大学学报(自然科学版)1995,22(3):83~88.
- [18] 李能树,陈,杨嘉.合肥市春季大气微生物生态分布.安徽大学学报(自然科学版),1997,21(3):110~112.
- [19] 孙荣高.兰州城区大气细菌污染分布及区系组成.微生物学通报,1994,21(2):85~88.
- [20] 翟俊辉,崔红,陈梅玲,等.北京和南京两地大气真菌的分析与鉴定.中国公共卫生,2000,16(13):1026.
- [21] 周大石,马汐平,刘玉晶,等.沈阳市大气微生物区系分布研究.环境保护科学,1994,20(1):10~14.
- [22] 车凤翔,徐桂清,史传英,等.京津地区大气细菌生态分布.中国环境科学,1990,10(3):192~196.
- [23] 宋凌浩,宋伟民,施玮.上海市大气细菌污染研究.上海环境科学,1999,18(6):258~260.
- [24] 车凤翔,等.京津地区大气微生物时空分布.中国公共卫生学报,1988,8(3):151.
- [25] 侯红,陈炫,张彩云.太原市大气细菌动态变化规律.太原科技,1998,3:8~11.
- [26] 胡庆轩,徐秀芝,陈梅玲,等.沈阳市大气微生物的研究 III.大气真菌粒子浓度及其分布.微生物学通报,1994,21(5):281~285.
- [27] 孙荣高,谭东南,张丽华,等.兰州城区大气微生物数量与动态变化规律的研究.甘肃环境研究与监测,1994,7(3):2~6.
- [28] 周晏敏,韩梅,陈振宇.齐齐哈尔市不同功能区大气微生物污染研究.中国环境监测,1994,10(1):49~51.
- [29] 陈皓文.空气微生物粒子沉降量指示太原空气污染状况.内蒙古环境保护,1999,11(4):9~10.
- [30] 付标.九江近地面空气微生物污染情况调查分析.九江师专学报(自然科学版),2000,5:22~24.
- [31] 胡庆轩,蔡增林,鲁志新.沈阳市大气细菌与真菌粒子的关系.上海环境科学,1995,14(5):29~32.
- [32] 孙荣高.兰州大气微生物的监测与评价.干旱环境监测,1996,10(1):42~44.
- [33] 王文义.重庆大气微生物污染状况调查与评价.四川环境,1997,16(2):38~42.
- [34] 侯红,陈炫,张彩云.太原市大气真菌粒子数量及其动态变化规律.山西大学学报(自然科学版),1999,22(2):195~198.
- [35] 吕爱华,王庆燕,苏君,等.乌鲁木齐市大气微生物浓度变化规律.中国环境监测,1996,12(3):50~53.
- [42] 胡庆轩,车凤翔,陈振生,等.大风对大气细菌粒子浓度和粒度分布的影响.中国环境监测,1991,7(6):5~8.
- [45] 周晏敏,陈振宇,赵志刚,等.齐齐哈尔大气微生物污染水平.干旱环境监测,1994,8(2):97~99.
- [47] 胡庆轩,鹿建春,车凤翔.降雪对大气细菌粒子的影响.环境保护科学,1992,18(4):59~62.
- [51] 吕爱华,苏君,杨永红,等.大气微生物与气象条件及大气污染物的灰色关联分析,干旱环境监测,1995,9(3):143~146.

