

# 西安某高校图书馆真菌气溶胶浓度和粒径分布特征

张莹<sup>1</sup>, 孔强强<sup>2</sup>, 吴定萌<sup>2</sup>, 李安桂<sup>1</sup>, 高然<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 建筑设备科学与工程学院, 陕西 西安 710055, 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安)

**摘要:** 高校图书馆人员流动频繁, 且储藏大量珍贵的图书文献, 易形成真菌气溶胶污染。真菌气溶胶污染不仅增加了人体患哮喘和呼吸道疾病的风险, 还会加速纸张发霉减少图书的储藏年限。本文以西安某高校图书馆为研究对象, 分析了真菌气溶胶的浓度、粒径等分布特征, 对典型馆室颗粒物浓度进行对比, 并分析了不同环境因素与真菌气溶胶的相关性。结果表明, 测试期间图书馆四个典型馆室真菌气溶胶平均浓度为 743 CFU/m<sup>3</sup>, 室内颗粒物平均浓度为大小为 49.8 μg/m<sup>3</sup>, 并且室内外颗粒物浓度比(I/O)平均为 0.93。真菌气溶胶粒径范围主要集中在 2.1~3.3 μm 和 1.1~2.1 μm。真菌气溶胶浓度与颗粒物浓度、相对湿度、人员数量和书籍年代之间存在正相关关系, 相关系数分别为 0.484、0.240、0.492、0.326, 而与温度之间呈负相关性, 相关系数为-0.338。

**关键词:** 真菌气溶胶; 撞击法采样; 颗粒物; 环境参数; 相关性分析

中图分类号: TU831

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)02-0296-07

## Characteristics of fungal aerosol concentration and particle size distribution in a university library in Xi'an

ZHANG Ying<sup>1</sup>, KONG Qiangqiang<sup>2</sup>, WU Dingmeng<sup>2</sup>, LI Angui<sup>1</sup>, GAO Ran<sup>1</sup>

(1. School of Building Services Science and Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** University library staff are frequent and a large number of precious books and documents are stored, which is easy to form fungal aerosol pollution. The fungal aerosol pollution not only increases the risk of asthma and respiratory diseases in the human body, but also accelerates the mildew of the paper and reduces the storage period of the book. This paper takes a university library in Xi'an as the research object, analyzes the distribution characteristics of fungal aerosol concentration and particle size, compares the concentration of typical chamber particles, and analyzes the correlation between different environmental factors and fungal aerosols. The results showed that the mean concentration of fungal aerosols in the four typical chambers of the library during the test were 743 CFU/m<sup>3</sup>, the mean concentration of indoor particulate matter was 49.8 μg/m<sup>3</sup>, and the mean indoor-to-foreign particulate matter concentration ratio (I/O) was 0.93. The fungal aerosol particle size range is mainly concentrated in 2.1 to 3.3 μm and 1.1 to 2.1 μm. There was a positive correlation between fungal aerosol concentration and particulate matter concentration, relative humidity, number of person and book age. The correlation coefficients were 0.484, 0.240, 0.492 and 0.326, respectively, and there was a negative correlation with temperature. The correlation coefficient was-0.338.

**Key words:** fungal aerosol; impact sampling; particulate matter; environmental parameters; correlation analysis

随着社会经济的发展, 人们对室内空气质量的要求逐渐提高。真菌气溶胶是室内污染致病的主要来源之一。图书馆作为高校主要的学习场所, 具有人员流动频繁, 藏书量大等特点, 给真菌滋生繁殖提供了便利条件, 极易形成真菌气溶胶污染, 危害师生的健康。因此, 研究高校图书馆室内真菌污染的分布特征具有重要意义。

针对这一问题国内外的学者展开了相关的研

究。李能树<sup>[1]</sup>对安徽省图书馆和安徽大学图书馆的室内空气微生物展开了研究发现主要优势菌为霉菌其次为细菌。高新景<sup>[2]</sup>对北京某图书馆的室内真菌气溶胶进行采集, 分析真菌气溶胶的时空变化特征及影响因素。黎佳茜<sup>[3]</sup>对中国农业大学图书馆空气中的细菌总数和霉菌总数进行了统计分析, 并对其种类进行了初步的鉴定。王培霞<sup>[4]</sup>对中北大图书馆的空气微生物进行了采集, 分析了微生

物污染程度与借阅频率之间的关系。Krakova<sup>[5]</sup>对馆藏图书中两种微生物的鉴别方法进行了研究。然而, 目前关于图书馆微生物气溶胶和馆藏、人员特征及环境参数的相关性鲜有研究报道。针对这一现状, 本文对西安某高校图书馆真菌气溶胶采样分析, 以期为高校图书馆改善室内空气质量提供基础数据和参考。

表 1 测试馆室具体信息  
Tab. 1 Test room specific information

馆室类型	面积/m <sup>2</sup>	通风形式	书本数量及年代	书架及桌椅	活动人数/人
密集书库	451	自然通风	17 万册(90 年以前)	不锈钢书架无桌椅	4~5
中文借阅书库	495		17 万册(05 年以前)	不锈钢书架木质桌椅	6~9
中文现刊阅览室	364	自然通风、机械通风	1 万册(较新)	无书架木质桌椅	60~90
自习室	211		学生自带图书		70~100

根据《公共场所卫生检验方法》<sup>[6]</sup>, 布置室内采样点, 采样点高度为人体呼吸区高度 1.5 m (如图 1), 并于楼梯间和室外空旷地带设对照点。于 2018 年 9 月 5 日、10 日、17 日和 25 日的早上 09:30-12:00, 中午 2:30-5:00 的时间段分别进行真菌气溶胶的采集, 采集按照密集书库, 再到中文借阅书库, 再到中文现刊阅览室, 最后到自习室的顺序进行, 每个馆室上下午的采集时间都为 30 min。每次采样重复 3 次以确保结果的准确性。采集真菌气溶胶的同时记录采样点的温度、相对湿度、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度以及人数等参数。

1.2 采样和培养方法

真菌气溶胶采集使用安德森六级撞击式空气微生物采样器(FA-3, 中国), 该采样器分为 6 级,

1 材料与方法

1.1 采样时间和地点

本研究所涉及的图书馆于 2000 年 2 月建成使用。采样地点选择密集书库、中文借阅书库、中文现刊阅览室、自习室四个馆室进行现场实测。测试馆室的具体信息见表 1:

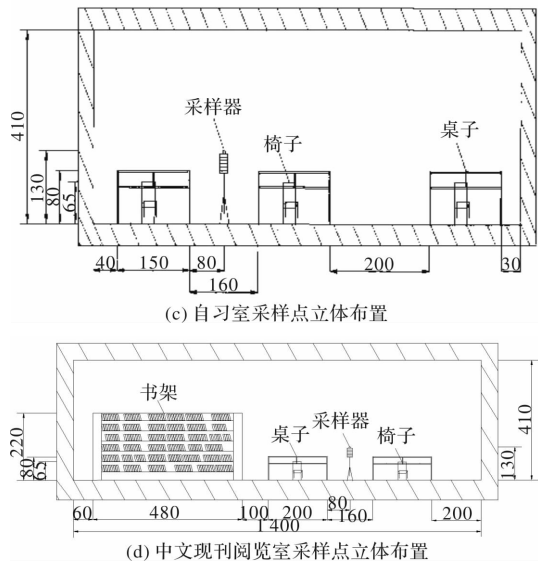


图 1 图书馆采样点布置(单位: cm)

Fig. 1 Library sampling point layout (unit: cm)

从第 1 级到第 6 级孔径逐渐缩小, 模拟人体呼吸道(可入鼻、咽、一级支气管、二级支气管、三级支气管, 直至可入肺)的解剖结构和空气动力学特征。

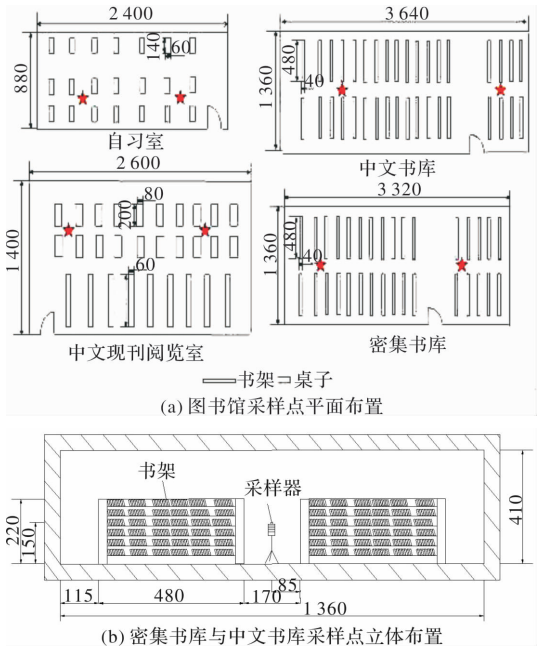
采样流量为 28.3 L/min, 采样时长为 5 min。采样所用的 90 mm 一次性培养皿, 无菌条件下, 加入 20 mL 内装有 15~20 mL 马铃薯葡萄糖琼脂培养基。采样结束后, 27 ℃恒温培养 3~5 d。

1.3 计数与统计方法

菌落计数后, 经阳性孔转换表校正, 根据式(1)计算真菌的浓度。

$$C(\text{CFU}/\text{m}^3) = \frac{\sum_{i=1}^6 Pr_i \times 1\,000}{5(\text{min}) \times 28.3(\text{L}/\text{min})} \quad (1)$$

其中 C 为单位立方米真菌菌落的个数, Pr<sub>i</sub> 为校正



后第  $i$  级的真菌菌落数。

运用 SPSS 25.0 对真菌气溶胶浓度的差异性 & 不同馆室相同粒径级别的真菌气溶胶粒径分布的差异性进行  $t$  检验, 当  $P < 0.05$  时, 表明在 95% 的置信区间内, 数据具有统计学意义上的显著差异。使用 Person 相关性分析真菌气溶胶浓度与参数的相关性, 根据统计学相关性分析的定义,  $P < 0.05$  即代表真菌浓度与因素在统计检验上显著相关。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境参数

研究表明, 环境参数如温度, 相对湿度, 颗粒物浓度等会影响空气微生物的生长。在真菌气溶胶采样同时, 测试人员对相关环境参数也进行了监测。平均温、湿度及颗粒物浓度结果见图 2 和图 3。测试期间, 各馆室平均温度为  $26.1^{\circ}\text{C}$ , 平均相对湿度为  $57.3\%$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  变化范围分别为  $18.0 \sim 42.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $22.6 \sim 78.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 室外平均温度为  $24.3^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度  $59.9\%$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度分别为  $35.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $58.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。室内

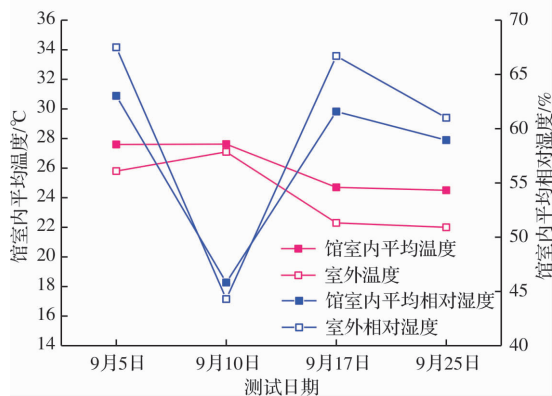


图 2 温度与相对湿度

Fig. 2 Temperature and relative humidity

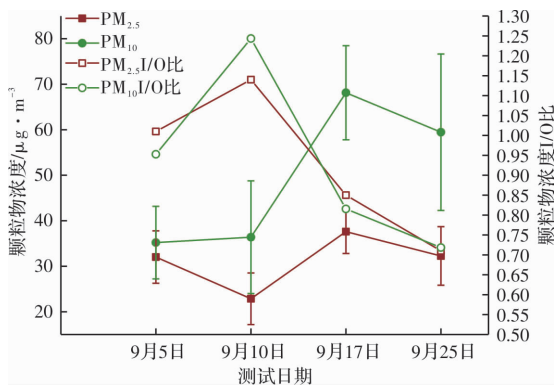


图 3 颗粒物平均浓度与 I/O 比

Fig. 3 Mean particle concentration and I/O ratio

外温度和相对湿度相差较小, 且颗粒物 I/O 比小于 1.0, 说明室内的颗粒物浓度小于室外, 室外是室内颗粒物的主要来源之一。谢伟<sup>[7]</sup>对不同通风形式的房间室内外颗粒物浓度展开研究, 在自然通风的房间得到了相似的结论。

### 2.2 真菌气溶胶浓度

各馆室真菌气溶胶浓度如图 4、5 所示。各馆室平均浓度的变化范围为  $639 \sim 914 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。不同馆室真菌浓度大小排序为中文现刊阅览室  $>$  自习室  $>$  密集书库  $>$  中文借阅书库。平均浓度分别为  $896 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 、 $746 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 、 $672 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 、 $658 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。其中中文现刊阅览室的真菌浓度是中科院真菌浓度标准<sup>[8]</sup> ( $750 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ) 的 1.2 倍, 另外三个馆室均满足标准要求。然而, 按照新加坡和美国环境保护局的真菌浓度标准<sup>[9]</sup> ( $500 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ), 所采样的四个馆室真菌气溶胶浓度均超标。

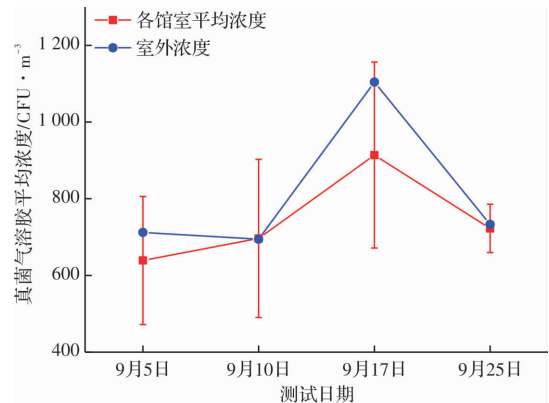


图 4 不同日期真菌气溶胶平均浓度

Fig. 4 Mean fungal aerosol concentration on different dates

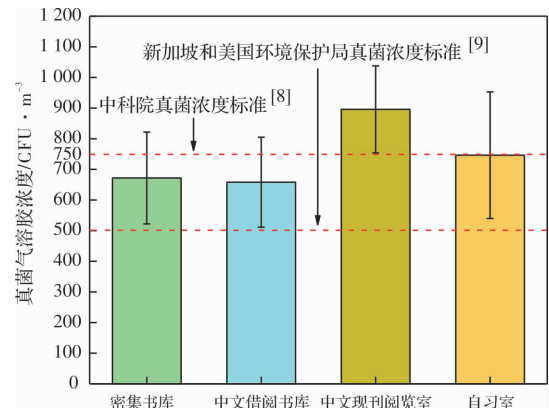


图 5 不同馆室真菌浓度

Fig. 5 Fungal concentration in different chambers

高新景<sup>[2]</sup>对北京某图书馆室内真菌进行实测分析, 室内真菌气溶胶浓度峰值为  $1569 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 最低值为  $92 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。黎佳茜<sup>[3]</sup>对高校图书馆阅览室和走廊进行采样测试, 真菌气溶胶浓度分别

为  $294 \text{ CFU/m}^3$ 、 $306.5 \text{ CFU/m}^3$ 。Zielińska-Jankiewicz 等 2008 年在波兰的一个图书馆进行了真菌污染物危害的调查,定量分析显示空气真菌,浓度的水平范围为  $180 \sim 2300 \text{ CFU/m}^3$ <sup>[10]</sup>。Karbowska-Berent 等在波兰的 5 个图书馆对空气真菌进行采样研究,研究发现空气真菌浓度范围为  $51 \sim 513 \text{ CFU/m}^3$ <sup>[11]</sup>。2014 年,Hayleeyesus 等调查了吉马大学的 8 个图书馆的空气真菌水平,发现空气真菌的浓度范围为  $367 \sim 2995 \text{ CFU/m}^3$ <sup>[12]</sup>。对比本文与国内外图书馆真菌气溶胶研究发现,不同区域的图书馆真菌气溶胶的浓度有显著的差别,可能由于不同采样区域的建筑室内环境有一定的差异。

### 2.3 图书馆真菌气溶胶粒径分布

真菌气溶胶的动力学粒径是决定人体呼吸道及器官暴露情况及健康危害评估的重要参数,不同粒径的真菌气溶胶粒子会沉降在人体呼吸道的不同位置。由图 6 可知 4 个馆室和室外真菌气溶胶粒径分布呈现相似性。第一至第六级各占比例范围为  $6.8\% \sim 8.3\%$ 、 $8.1\% \sim 12.5\%$ 、 $14.7\% \sim 18.8\%$ 、 $32.4\% \sim 35.3\%$ 、 $23.5\% \sim 26.3\%$ 、 $5.8\% \sim 9\%$ ; 其中,在第四级( $2.1 \sim 3.3 \mu\text{m}$ )和第五级( $1.1 \sim 2.1 \mu\text{m}$ )分布最多,在第六级( $0.65 \sim 1.1 \mu\text{m}$ )占比最小。Oh 等<sup>[13]</sup>对韩国幼儿园空气真菌气溶胶粒径分布特征的研究中发现,真菌的最高浓度出现在第三级。方治国等<sup>[14]</sup>对北京家庭空气微生物粒径特征的研究中得到,真菌集中分布在第四级。通过人体呼吸道解剖结构与粒径分布关系发现,分布在第四级和第五级的真菌气溶胶会进入人体鼻腔沉积在支气管以及气管末端,易造成过敏和哮喘。

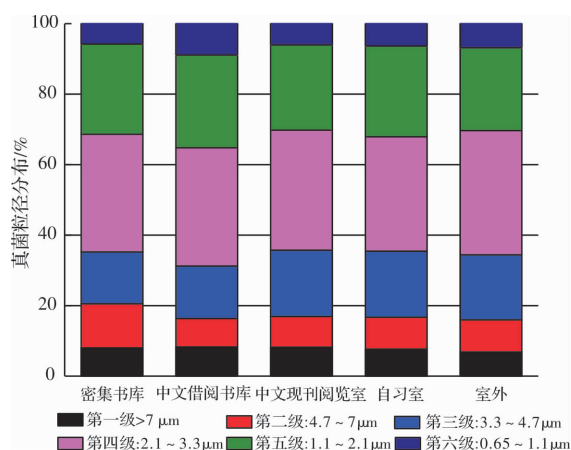


图 6 真菌气溶胶粒径分布

Fig. 6 Fungal aerosol particle size distribution

对不同采样时间段真菌粒径浓度分布进行分

析,由图 7 可知上午和下午真菌气溶胶亦主要分布在第四级( $2.1 \sim 3.3 \mu\text{m}$ )和第五级( $1.1 \sim 2.1 \mu\text{m}$ )。然而第四级和第五级真菌浓度在上午的值( $268.1 \text{ CFU/m}^3$ ,  $209.3 \text{ CFU/m}^3$ )都高于其下午的值( $229.5 \text{ CFU/m}^3$ ,  $159.8 \text{ CFU/m}^3$ )。可能是由于上午测试前人员进入室内后使夜间沉积在地面的颗粒物重新悬浮于空中,下午的测试是在经过开窗换气和卫生打扫之后进行的,这对占比较大的第四级和第五级的真菌气溶胶影响较大。

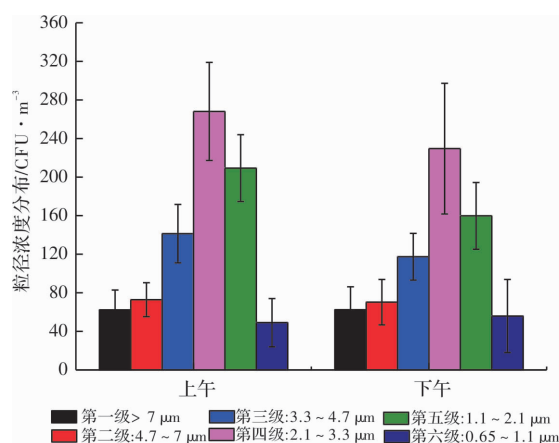


图 7 不同采样时间段粒径分布

Fig. 7 Particle size distribution in different sampling periods

### 2.4 真菌气溶胶浓度与环境参数相关性分析

为了分析图书馆环境参数与真菌气溶胶浓度变化之间的相关性,达到控制真菌气溶胶污染的目的,进行了如下分析。总体上讲,系数低于 0.2 或 0.3 表示弱相关,系数为  $0.3 \sim 0.6$  表示中相关,系数为  $0.6 \sim 0.8$  表示强相关,系数在 0.8 以上表示高强相关<sup>[15]</sup>。由图 8 可以得到真菌浓度与  $\text{PM}_{2.5}$  之间的相关系数为 0.484,  $P < 0.05$ ,两者之间存在中等正相关。真菌浓度与  $\text{PM}_{10}$  之间也存在中等正

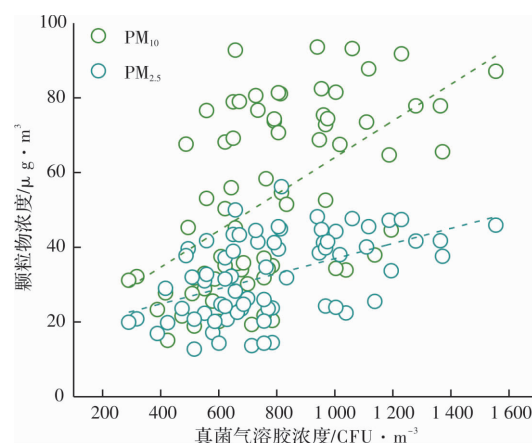


图 8 颗粒物浓度与真菌浓度散点图

Fig. 8 Scatter plot of particle concentration and fungal concentration



相关, 相关系数为 0.546,  $P < 0.05$ . 任启文<sup>[16]</sup>等对城市绿地颗粒物与空气微生物关系的研究发现微生物含量与  $PM_{10}$  存在正相关关系, 相关系数为 0.38. 徐蕾<sup>[17]</sup>也发现徐州市工业区环境空气微生物总数与  $PM_{10}$  具有正相关关系, 相关系数为 0.59.

对于温度和相对湿度, 由图 9 可以得到真菌浓度与温度之间存在中等负相关关系, 相关系数为  $-0.338$ ,  $P < 0.05$ . 真菌浓度与相对湿度之间存在正相关, 相关系数为 0.24,  $P < 0.05$ . 在 Li 等<sup>[18]</sup>的实验研究中发现真菌浓度与温度存在负相关关系. Anthony K. Y. Law 等<sup>[19]</sup>也发现相对湿度与真菌浓度之间存在显著的相关性, 相关系数为 0.94. Zhijian Liu 等<sup>[20]</sup>通过对北京 24 个办公建筑的实验得到了真菌浓度与相对湿度之间存在正相关关系, 相关系数为 0.54. Mohammad Hoseini 等<sup>[21]</sup>发现地铁站空气中的真菌气溶胶与相对湿度也存在正相关性, 相关系数为 0.43.

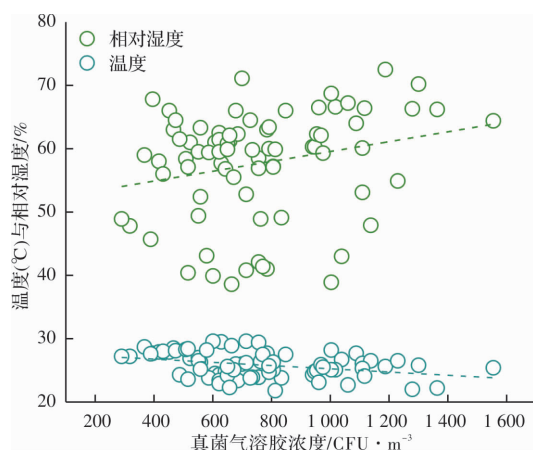


图 9 真菌浓度与温度、相对湿度散点图

Fig. 9 Scatter plot of fungal concentration and temperature, relative humidity

## 2.5 真菌浓度与馆室特征的相关性分析

为了全面分析图书馆馆室特征对真菌气溶胶浓度的影响, 笔者根据测试过程中收集的人员和藏书信息进一步分析了真菌浓度和馆室相关特征的相关性. 由图 10 可以得到真菌浓度与人员数量之间存在中等正相关, 相关系数为 0.492,  $P < 0.05$ . 贾丽等人<sup>[22]</sup>对校园空气微生物分布特征的研究中发现真菌气溶胶受人员数量影响较小, 但是真菌气溶胶与人流量的峰时段有一定的吻合性. 在不同地点真菌气溶胶与人员数量的相关性不太相同, 是由于不同的地点真菌气溶胶还受环境参数和室内环境影响.

对于馆室藏书年代对真菌气溶胶浓度的影响,

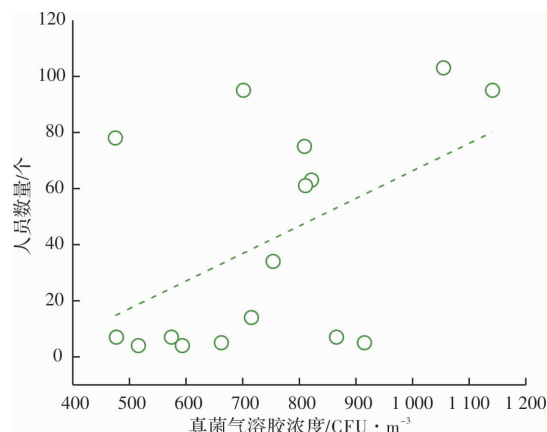


图 10 真菌浓度与人员数量散点图

Fig. 10 Scatter plot of fungal concentration and number of people

由图 11 可以得到真菌浓度与书籍年代之间存在中等正相关, 相关系数为 0.326,  $P < 0.05$ .

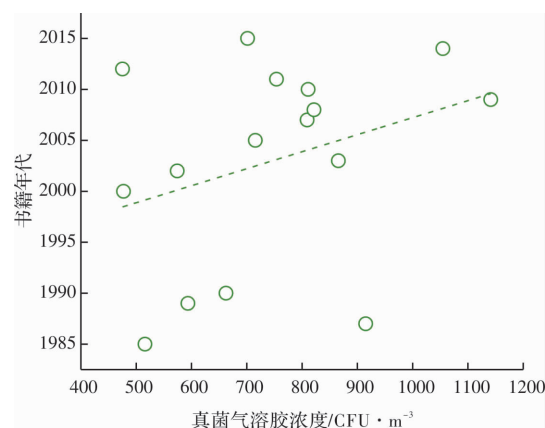


图 11 真菌浓度与书籍年代散点图

Fig. 11 Scatter plot of fungal concentration and book age

## 3 结论

(1) 图书馆密集书库、中文借阅书库、中文现刊阅览室与自习室四个典型馆室真菌气溶胶平均浓度分别为  $672 \text{ CFU/m}^3$ 、 $658 \text{ CFU/m}^3$ 、 $896 \text{ CFU/m}^3$ 、 $746 \text{ CFU/m}^3$ , 基本符合中国科学院生态环境研究中心标准要求 ( $750 \text{ CFU/m}^3$ ), 但不满足新加坡和美国环境保护局的真菌浓度标准 ( $500 \text{ CFU/m}^3$ ).

(2) 室内  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  平均浓度分别为  $31.2 \mu\text{g/m}^3$ 、 $49.8 \mu\text{g/m}^3$ , 并且室内外颗粒物浓度比 (I/O) 平均为 0.93. 真菌气溶胶粒径范围主要集中在  $2.1 \sim 3.3 \mu\text{m}$  (第四级) 占 33.4% 和  $1.1 \sim 2.1 \mu\text{m}$  (第五级) 占 25.5%, 该粒径范围的颗粒易沉积在人体呼吸道第二、三级支气管.

(3) 真菌气溶胶浓度与  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、人员数量和书籍年代呈中等正相关, 相关系数分别为

0.484、0.546、0.492和0.326,与相对湿度也呈正相关,相关系数为0.24;与温度呈中等负相关关系,相关系数为-0.338。

## 参考文献 References

- [1] 李能树,方月珍,杜鹃,等.馆藏图书中微生物的研究[J].微生物学通报,2000,27(1):39-41.  
LI Shuneng, FANG Yuezhen, DU Juan, et al. The studying of microbe in paper material in library[J]. Microbiology China, 2000, 27(1): 39-41.
- [2] 高新景.北京某图书馆室内外空气真菌浓度时空变化及快速检测技术的初步研究[D].北京:中国人民解放军军事医学科学院,2006.  
GAO Xinjing. Preliminary research on the dynamics of airborne fungi Concentrations and rapid detection technique in a library of Beijing[D]. Beijing, Academy of Military Medical Sciences, 2006.
- [3] 黎佳茜,韩诗雯,丁宇宁,等.某高校图书馆空气微生物污染的调查分析[J].图书情报工作,2014,58(S1):115-118.  
LI Jiaqian, HAN Shiwen, DING Yuning, et al. Investigation and analysis of air microbial pollution in a university library[J]. Library and Information Service, 2014, 58(S1): 115-118.
- [4] 王培霞,晋日亚,胡双启,等.图书馆生物污染现状研究[J].安全与环境工程,2010,17(5):51-53.  
WANG Peixia, JIN Riya, HU Shuangqi, et al. Present situation of biological contamination in library[J]. Safety and Environmental Engineering, 2010, 17(5): 51-53.
- [5] KRAKOVA L, SOLTYS K, OTLEWSKA A, et al. Comparison of method for identification of microbial communities in book collections: Culture-dependent (sequencing and MALDI-TOF MS) and culture-independent (Illumina MiSeq)[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2017, 131: 51-59.
- [6] 中华人民共和国卫生部.公共场所卫生检验方法第3部分:空气微生物:GB/T 18204.3-2013[S].北京:中国标准出版社,2013.  
National Health Commission of the People's Republic of China. Examination methods for public places Part 3: Airborne microorganism: GB/T 18204.3-2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [7] 谢伟.室内颗粒物浓度变化特征及污染控制策略研究[D].西安:西安建筑科技大学,2013.  
XIE Wei. The research on characteristic of indoor particulate matter and control strategies[D]. Xi'an, Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
- [8] 潘立勇,孙菱,杨靖,等.城市人居环境空气微生物污染评价指标的比较分析与研究[C]//中国环境科学学会.中国环境科学学会学术年会论文集.中国,北京,2010:450-455.  
PAN Liyong, SUN Ling, YANG Jing, et al. Comparative analysis and research on evaluation indexes of microbiological pollution of urban human ambient air [C]// Chinese Society For Environmental Sciences. Proceedings of the Chinese Academy of Environmental Sciences Academic Conference. China, Beijing, 2010: 450-455.
- [9] JEON H L, KIM J H, CHO T J, et al. Assessment of airborne bioaerosols in korean apartment houses[J]. Toxicology and Environmental Health Sciences, 2010, 2(4): 268-273.
- [10] ZIELINSKA-JANKIEWICZ K, KOZAJDA A, PIOTROWSKA M, et al. Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities[J]. Annals of Agricultural & Environmental Medicine, 2008, 15(1): 71-78.
- [11] KARBOWSKA-BERENT J, GÖRNY R L, STRZELCZYK A B, et al. Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives [J]. Building and Environment, 2011, 46(10): 1872-1879.
- [12] HARLEYESUS S F, MANAYE A M. Microbiological Quality of Indoor Air in University Libraries [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2014, 4(1): S312-S317.
- [13] OH H J, NAM I S, YUN H, et al. Characterization of indoor air quality and efficiency of air purifier in childcare centers, Korea [J]. Building and Environment, 2014, 82: 203-214.
- [14] 方治国,孙平,欧阳志云,等.北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究[J].环境科学,2013,7(7):2526-2532.  
FANG Zhiguo, SUN Ping, OUYANG Zhiyun, et al. Studies on the size distribution of airborne microbes at home in Beijing[J]. Environmental Science, 2013, 7(7): 2526-2532.
- [15] 张铭健,曹国庆,冯昕.室内微生物污染水平预测关键技术综述[J].中国环境科学,2018,38(11):4040-4049.  
ZHANG Mingjian, CAO Guoging, FENG Xin. Review of key technologies for forecast of indoor microbial contamination levels[J]. China Environmental Science, 2018, 38(11): 4040-4049.

(下转第308页)

- 特性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- MENG Xiaojing. Study on indoor thermal environment characteristics of industrial buildings with high temperature heat source under double radiation [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2016.
- [8] TANIGUCHI H, OHMORI T, Iwata M, et al. Numerical study of radiation-convection heat transfer [J]. Heat Transfer-Asian research, 2002, 34(5): 391-407.
- [9] 章熙民. 传热学[M]. 6版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 235-242.
- ZHANG Ximin. Heat transfer [M]. 6th edition. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015: 235-242.
- [10] 严启森. 筑热过程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986: 181-182.
- YAN Qisen. Building thermal process [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1986: 181-182.
- [11] 杨贤荣. 辐射换热角系数手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 206-220.
- YANG Xianrong. Handbook of radiant heat transfer Angle coefficients [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1982: 206-220.
- (编辑 桂智刚)

(上接第 301 页)

- [16] 任启文, 王成, 郝光发, 等. 城市绿地空气颗粒物及其与空气微生物的关系[J]. 城市环境与城市生态, 2006, 19(5): 22-25.
- REN Qiwen, WANG Cheng, QIE Guangfa, et al. Airborne Particulates in Urban Greenland and Its Relationship with Airborne Microbes[J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2006, 19(5): 22-25.
- [17] 徐蕾. 徐州市环境空气微生物监测分析及与 PM10 相关性研究[J]. 北方环境, 2013, 29(1): 76-78.
- XU Lei. The monitoring analysis about ambient air microorganism and correlation with PM10 of Xuzhou city [J]. Northern Environmental, 2013, 29(1): 76-78.
- [18] LI ANGUI, LIU ZHIJIAN, LIU YING, et al. Experimental study on microorganism ecological distribution and contamination mechanism in supply air ducts[J]. Energy and Buildings, 2012, 47: 497-505.
- [19] LAW A K Y, CHAU C K, CHAN G Y S. Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong[J]. Building and Environment, 2001, 36(4): 527-541.
- [20] LIU ZHIJIAN, ZHU ZUNQIANG, ZHU YEYUAN, et al. Investigation of dust loading and culturable microorganisms of HVAC systems in 24 office buildings in Beijing [J]. Energy and Buildings, 2015, 103: 166-174.
- [21] HOSEINI M, JABBARI H, NADDAFI K, et al. Concentration and distribution characteristics of airborne fungi in indoor and outdoor air of Tehran subway stations [J]. Aerobiologia, 2013, 29(3): 355-363.
- [22] 贾丽, 巨天珍, 石垚, 等. 校园大气微生物的时空分布及与人群活动关系的研究[J]. 安全与环境工程, 2006, 13(2): 34-38.
- JIA Li, JU Tianzhen, SHI Yao, et al. Distribution and character of the campus microorbes in early summer[J]. Safety and Environmental Engineering, 2006, 13(2): 34-38.
- (编辑 桂智刚)