

绿地和林地微环境的真菌气溶胶特性分析

唐艳

湖北轻工职业技术学院, 湖北 武汉 430070

DOI: 10.61369/SDME.2025110025

摘 要 : 绿地的真菌气溶胶在晴天和雨后的平均浓度分别为433CFU/m³和856CFU/m³, 林地的真菌气溶胶在晴天和雨后的平均浓度分别为641CFU/m³和2320CFU/m³, 在相同天气情况下, 林地真菌气溶胶浓度显著高于绿地。绿地真菌气溶胶粒径主要在2.1 ~ 4.7 μm, 林地真菌气溶胶粒径主要在1.1 ~ 3.3 μm, 绿地可吸入真菌气溶胶浓度占总真菌气溶胶的71.57%, 林地可吸入真菌气溶胶占82.79%。绿地及林地真菌气溶胶浓度与温度成负相关, 与湿度成正相关, 与PM2.5与PM10浓度成正相关。

关 键 词 : 绿地; 林地; 真菌气溶胶; 浓度; 粒径分布

Analysis of Fungal Aerosol Characteristics in Microenvironments of Green Spaces and Woodlands

Tang Yan

HuBei Industry Technology Institute, Wuhan, Hubei 430070

Abstract : The average concentrations of fungal aerosols in green spaces are 433 CFU/m³ on sunny days and 856 CFU/m³ after rain, respectively. For woodlands, the average concentrations of fungal aerosols are 641 CFU/m³ on sunny days and 2320 CFU/m³ after rain, respectively. Under the same weather conditions, the concentration of fungal aerosols in woodlands is significantly higher than that in green spaces. The particle size of fungal aerosols in green spaces is mainly in the range of 2.1 - 4.7 μm, while that in woodlands is mainly 1.1 - 3.3 μm. The concentration of inhalable fungal aerosols accounts for 71.57% of the total fungal aerosols in green spaces, and 82.79% in woodlands. The concentration of fungal aerosols in both green spaces and woodlands is negatively correlated with temperature, positively correlated with humidity, and positively correlated with the concentrations of PM2.5 and PM10.

Keywords : green space; woodland; fungal aerosol; concentration; particle size distribution

引言

真菌气溶胶是指通常以单个孢子悬浮在空气介质中的菌丝和真菌孢子, 这种稳定的胶状状态即为真菌气溶胶^[1]。真菌气溶胶的含量会对空气环境质量产生很大影响。当真菌气溶胶浓度达到一定程度, 不仅会对环境造成污染, 而且对人类身体健康也会产生很大影响。笔者采用安德森6级撞击式空气微生物采样仪对湖北某高校不同天气绿地和林地的真菌气溶胶进行采样, 研究真菌气溶胶浓度及粒径分布, 目的在于了解校园内绿地和林地的真菌气溶胶污染状况及影响因素。

一、材料与方法

(一) 采样地点和时间

本研究的采样地点为某高校内的绿地和林地。共选取6个地点。1 ~ 3点为绿地, 有草坪覆盖, 平时会有学生从旁边经过; 4 ~ 6点为林地, 遮天蔽日, 平时不会有人活动。选取的6个点, 植被覆盖率很高, 面积较大且相距较远。

(二) 采样仪器和方法

本次采样使用安德森 ETW-6 安德森六级撞击式采样器 (金坛, 常州)。采样器由撞击器、支架、流量泵3个部分组成, 利用

惯性冲击原理, 将悬浮于空中的微生物颗粒按照不同的大小, 在虎红培养基上进行收集。1级: > 7.0 μm, 2级: 4.7-7.0 μm, 3级: 3.3-4.7 μm, 4级: 2.1-3.3 μm, 5级: 1.1-2.1 μm, 6级: 0.65-1.1 μm。Dust trak II DRX(美国 TSI) 激光 PM 检测仪。温湿度表。

采样前准备: (1) 虎红琼脂培养基的配置: 称取35g 虎红琼脂试剂 (北京奥博星生物), 加入1000ml 蒸馏水中, 加热煮沸溶解, 再放入高压灭菌锅中121℃灭菌20分钟, 分装在灭菌后的9cm 培养皿中, 每个培养皿约20ml, 在密封袋中放入冰箱备用。(2) 采样器的清洗: 采样前, 撞击器用超声波清洗仪清洗

30min，晾干备用。每次采样前，采样器需用75%的酒精进行消毒处理。

采样操作：（1）将三角架支开并锁紧，把三角架顶部调至水平，撞击器底部与三角架顶端螺纹连接，使撞击器离地1.5米。将流量泵放在地上，将流量泵的软管连在撞击器的出气口上。（2）将标记好的培养基对应放入各级撞击器。在操作过程中，要速开速盖，避免污染，最后将底部的挂钩全部钩到最上层的凹槽里。在操作时，要带上口罩、手套，避免污染培养皿。（3）打开撞击器上盖，流量调节至28.3L/min，时间设置为10min，离开采样点2米之外，即可启动采样。（4）采样完毕后，取出采样皿扣上盖子。

（三）计算方法

1. 真菌气溶胶总浓度

根据采样时间、采样流量及各级培养出的总菌落数，采用公式（1）计算其总浓度

$$C = \frac{N \times 1000}{t \times F} \quad (1)$$

式中c为真菌气溶胶浓度（cfu · m⁻³）；
N为各级菌落数之和；
t为采样时间（min）；
F为采样时的气体流量（L · min⁻¹）。

2. 各级真菌所占的比例

根据每级真菌浓度和真菌总浓度，采用公式（2）计算各级真菌所占的比例。

$$F_i = (C_{fi} / C_f) \times 100\% \quad (2)$$

式中F_i为各级真菌所占的百分数；
C_{fi}为第i级的真菌浓度；
C_f为真菌的总浓度。

3. 可吸入颗粒物所占的比例

当真菌粒径小于4.5微米时属于可吸入颗粒物，能进入人体下呼吸道^[2]，真菌气溶胶中可吸入颗粒物占比用公式（3）计算^[3]。

$$R_f = \frac{C_{f3} + C_{f4} + C_{f5} + C_{f6}}{C_f} \times 100\% \quad (3)$$

式中为可吸入颗粒物所占百分比。

（四）统计分析

利用SPSS 21.0计算描述性统计参数。当P值小于0.05时表明在95%的置信区间内具有统计学意义上的显著差异。

绿地和林地空气中真菌气溶胶评价标准参照中科院生态研究中心制定的空气微生物标准^[4]。真菌气溶胶评价标准见表1。

二、绿地和林地的真菌气溶胶特点

（一）空气颗粒物浓度

绿地的PM2.5和PM10值见表2。林地的PM2.5和PM10值见表3。分析原因是春季的细雨绵绵相对于夏季的暴雨来说持续时间较短，只能对空气起到加湿作用，并不能起到明显的对颗粒物的冲刷效果。如果降雨量很小且持续时间短，就无法对空气起到

净化效果。在下绵绵细雨的同时，较小的风力与风速也很难对空气起到稀释和分散作用。还需进一步研究颗粒物浓度与具体的气象条件之间的相关性。

表2 绿地空气颗粒物浓度单位 μg/m³

Table 2 Particulate concentration in air of green space

项目		平均值	最大值	最小值	SD
晴天	PM2.5	26.13	30.40	19.60	4.69
	PM10	61.73	66.30	59.40	3.23
雨后	PM2.5	42.83	72.60	4.50	28.45
	PM10	69.57	120.40	13.00	44.03

表3 林地空气颗粒物浓度单位 μg/m³

Table 3 Particulate concentration in air of woodland

项目		平均值	最大值	最小值	SD
晴天	PM2.5	31.90	39.80	21.40	7.73
	PM10	46.87	56.80	28.90	12.73
雨后	PM2.5	84.87	88.60	81.50	2.91
	PM10	121.47	127.30	116.90	4.34

参照《环境工程质量标准》GB 3095-2012^[3]24h 平均限值，ρ（PM2.5）为75μg/m³、ρ（PM10）为150μg/m³。绿地晴天和雨后的PM2.5、PM10浓度最大值均未超过二级标准限值。林地晴天的PM2.5、PM10浓度最大值均未超过二级标准限值，但雨后的林地PM2.5浓度均超过了二级标准限值。对于PM10，颗粒之间的粘附性不强，经雨水冲刷之后表面湿润，黏性增加，形成大块随雨水沉降。但对于PM2.5，颗粒粒子过小，遇到湿气后反而会湿度性增长，导致浓度反而增加。

（二）绿地和林地的真菌气溶胶浓度及粒径分析

两种天气下绿地和林地的可培养真菌气溶胶浓度。在绿地，真菌气溶胶浓度最大值出现在雨后2点，为1106CFU/m³；最小值出现在晴天1点，为293CFU/m³。晴天和雨后的平均浓度分别为433CFU/m³和856CFU/m³，雨后真菌气溶胶浓度显著高于晴天的。在林地，真菌气溶胶浓度最大值出现在雨后6点，为4468CFU/m³；真菌气溶胶浓度最小值出现在晴天6点，为422CFU/m³。晴天和雨后的平均浓度分别为641CFU/m³和2320CFU/m³，雨后真菌气溶胶浓度显著高于晴天的^[5]。

由中科院生态研究中心的空气微生物标准^[1]可知，空气中真菌气溶胶浓度<1000CFU/m³的空气为清洁空气。晴天时，6个采样点该指标全部达到清洁空气标准限值；在雨后，林地有一采样点该指标超过清洁空气标准限值^[6]。

（三）绿地和林地的真菌气溶胶粒径分析

绿地生物气溶胶中可培养真菌浓度分布。分布主要在3~4级，及粒径主要在2.1~4.7μm，其第4级占比为34.53%。呈正态分布。林地生物气溶胶中可培养真菌浓度分布见表5。分布主要在

4 ~ 5级, 及粒径主要在1.1 ~ 3.3 μm 。其第4级占比为33.40%。根据 Homer 等的报道, 粒径大于10 μm 的孢子会在支气管上堆积, 引起发烧干热状态, 粒径小于10 μm , 特别是粒径小于5 μm 的孢子会渗透到下支气管, 引起过敏或哮喘; 粒径小于0.1 μm 的孢子会深入人体更深处, 危害人体健康。安德森采样器采集的1 ~ 2级可沉降到上呼吸道(鼻、咽、喉等), 3 ~ 6级可进入下呼吸道(气管、主支气管、肺部支气管)^[1]。绿地可吸入真菌气溶胶占71.57%, 林地可吸入真菌气溶胶占82.79%, 这表明绿地和林地的真菌气溶胶大部分可进入人体的下呼吸道, 对人体健康有一定影响^[7]。

(四) 绿地和林地的真菌气溶胶浓度变化的影响因素

将绿地和林地处可培养真菌气溶胶浓度与空气温度、湿度、颗粒物浓度进行 Pearson 相关分析, 绿地和林地的可培养真菌气溶胶浓度与温度成显著负相关, 与湿度成显著正相关。绿地的可培养真菌气溶胶浓度与 PM2.5 浓度和 PM10 浓度的相关性不强。但林地真菌气溶胶浓度与 PM2.5 和 PM10 成显著正相关性^[8]。这表明空气中微颗粒粒子越多, 微生物气溶胶的浓度也越高, 其结

果与以往报道的真菌气溶胶浓度正相关于空气颗粒物浓度的现象一致。产生这一现象的原因, 可能是由于 PM2.5、PM10 等微粒含量逐步增加, 微生物的吸附点增加, 导致其浓度变大^[9,10]。

三、结论

(1) 绿地的真菌气溶胶在晴天和雨后的平均浓度分别为 433CFU/m³ 和 856CFU/m³, 林地的真菌气溶胶在晴天和雨后的平均浓度为 641CFU/m³ 和 2320CFU/m³, 在相同天气情况下, 林地真菌气溶胶浓度显著高于绿地。

(2) 绿地真菌气溶胶粒径主要在 2.1 ~ 4.7 μm , 林地真菌气溶胶粒径主要在 1.1 ~ 3.3 μm , 绿地可吸入真菌气溶胶数量占总真菌气溶胶的 71.57%, 林地可吸入真菌气溶胶占 82.79%。

(3) 绿地及林地真菌气溶胶浓度与温度成负相关; 与湿度成正相关; 林地真菌气溶胶浓度与 PM2.5、PM10 成显著正相关, 绿地的正相关性较林地弱。

参考文献

- [1] 孙霞, 夏宇翔, 张笑迎, 等. 武汉某高校校内场地微生物气溶胶分布特性分析 [J]. 武汉轻工大学学报, 2021, 40(02): 29-33.
- [2] 郭芯竹, 杜晨秋, 喻伟, 等. 重庆住宅室内真菌气溶胶浓度分布及影响因素 [J]. 暖通空调, 2023, 53(08): 85-91.
- [3] 张金萍, 左云峰, 张翠林, 等. 人员密集型场所细菌真菌气溶胶冬季分布特征及健康影响分析 [J]. 建筑科学, 2023, 39(04): 213-220+251.
- [4] 张金萍, 冯东浩, 左云峰. 夏秋时段公共场所室内微生物气溶胶污染及暴露评估 [J]. 建筑科学, 2023, 39(02): 251-260.
- [5] 夏婷婷. 城市森林公园蓝绿空间景观和微环境体验对访客表情的影响研究 [D]. 沈阳农业大学, 2023.
- [6] 路冰洁. 不同净化作用对真菌气溶胶失活特性影响及效率评价 [D]. 重庆大学, 2023.
- [7] 张皓月. 西安市大气生物气溶胶的粒径分布及在人体内的沉积特性 [D]. 长安大学, 2023.
- [8] 陈祯, 王意崧, 朱强根, 邓先俊, 徐倩, 金爱武. 城市绿地微环境对土壤动物群落多样性的影响 [J]. 丽水学院学报, 2022, 44(02): 54-59.
- [9] 徐志霞, 王璇, 李慧敏, 李小容, 冯莉, 李蕾. 不同林龄木麻黄林地土壤细菌及与土壤因子的相关性分析 [J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(02): 780-788.
- [10] 李慧敏. 木麻黄林地微生物次级代谢产物及真菌群落结构多样性分析 [D]. 海南师范大学, 2016.