

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)

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

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。真菌气溶胶的含量会对空气质量产生很大影响。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。高校是大学生活动的主要区域, 人员相对密集, 易发生微生物通过气溶胶迁移、扩散和繁衍, 导致肺炎、流感等传染性疾病的传播, 有必要研究高校内真菌气溶胶的浓度变化及影响因素, 对保护师生身体健康有十分重要的意义。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 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, 分装在灭菌过后的 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液清洗 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。

在真菌气溶胶采样的同时, 用 Dust trak II DRX(美国 TSI) 测

定空气实时 PM2.5、PM10 数据, 用温湿度表测定温湿度。采样后将培养基置于 28℃ 培养箱内连续培养 5d 后对样品进行计数。

(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

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

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

根据各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, 真菌气溶胶中可吸入颗粒物占比用公式(3)计算。

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

式中 R_f 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。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。晴天的 PM2.5 和 PM10 平均值分别为 26.13 μg/m³ 和 61.73 μg/m³, 均低于雨后的 PM2.5 和 PM10 平均值 42.83 μg/m³ 和 69.57 μg/m³。监测中绿地 PM2.5 的浓度最大值与最小值分别为 72.6 μg/m³ 和 4.5 μg/m³, 且均出现在雨后; 绿地 PM10 的浓度最大值与最小值分别为 120.4 μg/m³ 和 13.0 μg/m³, 且均出现在雨后。

林地的 PM2.5 和 PM10 值见表 3。晴天的 PM2.5 和 PM10 平均值分别为 31.90 μg/m³ 和 46.87 μg/m³, 均低于雨后的 PM2.5 和 PM10 平均值 84.87 μg/m³ 和 121.47 μg/m³。监测中林地 PM2.5 的

浓度最大值为 $88.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，出现在雨后；最小值为 $21.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，出现在晴天。监测中绿地 PM10 的浓度最大值为 $127.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，出现在雨后；最小值为 $28.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，出现在晴天。

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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 3095-2012，24h 平均限值， ρ (PM2.5) 为 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 ρ (PM10) 为 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。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性增长，导致浓度反而增加。如果降水时间短、降水量小，且风力也较小，潮湿的空气还会给小的粒子穿上一层“水衣”，使得 PM2.5 浓度增加。林地因有树林阻碍，空气污染物不易消散，故 PM2.5 浓度超过限值。

(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 $1106\text{CFU}/\text{m}^3$ ；最小值出现在晴天 1 点，为 $293\text{CFU}/\text{m}^3$ 。晴天和雨后的平均浓度分别为 $433\text{CFU}/\text{m}^3$ 和 $856\text{CFU}/\text{m}^3$ ，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 $4468\text{CFU}/\text{m}^3$ ；真菌气溶胶浓度最小值出现在晴天 6 点，为 $422\text{CFU}/\text{m}^3$ 。晴天和雨后的平均浓度分别为 $641\text{CFU}/\text{m}^3$ 和 $2320\text{CFU}/\text{m}^3$ ，雨后真菌气溶胶浓度显著高于晴天的。

由中科院生态研究中心的空气微生物标准 [] 可知，空气中真菌气溶胶浓度 $< 1000\text{CFU}/\text{m}^3$ 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。

绿地和林地各采样点真菌气溶胶浓度对比。其中 1、2、3 点为绿地，4、5、6 点为林地。在相同天气情况下，林地真菌气溶胶浓度显著高于绿地，与前面空气中颗粒物浓度特点一致。

(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 $2.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$ ，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 $1.1 \sim 3.3 \mu\text{m}$ 。其第 4 级占比为 33.40%。根据 Homer 等的报道，粒径大于 $10 \mu\text{m}$ 的孢子会在支气管上堆积，引起发烧干热状态，粒径小于 $10 \mu\text{m}$ ，特别是粒径小于 $5 \mu\text{m}$ 的孢子会渗透到下支气管，引起过敏或哮喘；粒径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 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、支气管、肺部支气管）。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。

(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。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。

三、结论与展望

(一) 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 $433\text{CFU}/\text{m}^3$ 和 $856\text{CFU}/\text{m}^3$ ，林地的真菌气溶胶在晴天和雨后的平均浓度为 $641\text{CFU}/\text{m}^3$ 和 $2320\text{CFU}/\text{m}^3$ ，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 $2.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$ ，林地真菌气溶胶粒径主要在 $1.1 \sim 3.3 \mu\text{m}$ ，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。

(二) 展望

本实验只对可培养的真菌气溶胶中真菌的总数量进行了分析，考虑到不同种类的微生物对人体的影响不同，且可培养的真菌气溶胶只是总真菌气溶胶的一部分，后续可进一步研究总真菌气溶胶浓度，具体真菌种类等，更能反映真菌对环境的污染情况。另外，后续研究还应考虑风力、雪等其他气象因素对真菌气溶胶的影响，以期获得更加详细的数据。

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.