

坝光银叶树湿地园空气颗粒物浓度变化研究*

王佐霖¹ 孙红斌¹ 丘鹏基² 黄芳芳²
张卫强² 黄钰辉² 温小莹²

(1. 广东省深圳市野生动物救护中心, 广东 深圳 518040; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 在不同季节对深圳坝光银叶树 (*Heritiera littoralis*) 湿地园内不同地点的空气颗粒物浓度 (TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 及 PM_{1.0}) 进行了 8:00、10:00、12:00、14:00 及 16:00 时共 5 个时间点的观测。结果表明, 空气颗粒物浓度在不同监测区域、季节和时间均存在显著差异 ($P<0.001$)。深圳坝光银叶树湿地园 TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 年均值低于 II 级标准浓度限值, TSP 和 PM₁₀ 日均值低于 II 级标准浓度限值, PM_{2.5} 日均值低于 I 级标准浓度限值。在空间上表现为古银叶树群落区域的空气颗粒物浓度最高, 海边区域最低; 在季节上, 较高浓度的 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 出现在夏秋季, 较高浓度的 PM_{1.0} 则出现在秋冬季; 在时间上表现为正午的空气颗粒物浓度最低。

关键词 空气颗粒物; 银叶树湿地园; 日变化; 季节变化

中图分类号: S718.53 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2019)01-0001-05

Study on the Changes of Air Particle Matters in Baguang *Heritiera littoralis* Wetland Park

WANG Zuolin¹ SUN Hongbin¹ QIU Pengji² HUANG Fangfang²
ZHANG Weiqiang² HUANG Yuhui² WEN Xiaoying²

(1. Shenzhen Wildlife Rescue Center, Shenzhen, Guangdong 518040, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract In order to understand the air pollution condition in *Heritiera littoralis* wetland park in Shenzhen, Guangdong, we monitored the air particle matters, including TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0}, in three sites within the park at 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 and 16:00 for three days in different seasons. The results showed that, there were significant differences in concentrations of air particle matters among sites, periods and seasons ($P<0.001$). The annual average concentrations of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} were lower than the limiting value of level II of the national standard, and the daily average concentrations of TSP and PM₁₀ were lower than the level I of the national standard. Among three observation sites, the highest particle concentrations were observed in *H. littoralis* community, and the lowest were in seaside area. Among four seasons, relatively high concentrations of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} were observed in summer and autumn, relatively high concentration of PM_{1.0} were in autumn and winter. During daytime, the highest concentration of particles occurred at noon.

Key words atmospheric particles; *Heritiera littoralis* wetland park; diurnal variation; seasonal variation

* 基金项目: 深圳市野生动物救护中心项目。

第一作者: 王佐霖 (1982—), 男, 高级工程师, 主要从事环境科学、水文水资源研究, E-mail: 16769921@qq.com。

通信作者: 孙红斌 (1970—), 男, 副研究员, 主要从事生物科学研究, E-mail: 369893751@qq.com。

空气颗粒物是指悬浮在空气中的固体微粒。按粒径大小可划分为总悬浮颗粒物 TSP (Total Suspended Particulate, 粒径 $\leq 100 \mu\text{m}$)、粗颗粒物 PM_{10} (Particulate Matter₁₀, $0.5 \mu\text{m} < \text{粒径} \leq 10 \mu\text{m}$)、细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ ($0.1 \mu\text{m} < \text{粒径} \leq 2.5 \mu\text{m}$) 及超细颗粒物 $\text{PM}_{1.0}$ (粒径 $\leq 1.0 \mu\text{m}$) 4 种类型^[1-2]。研究表明生活在高浓度的空气颗粒物环境中, 会对人体健康造成危害^[3-4]。

大气颗粒物污染是我国大气污染的主要来源, 我国在 2012 年将 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度监测纳入了城市空气质量考核标准(《环境空气质量标准》(GB 3095-2012))^[5], $\text{PM}_{2.5}$ 年均和日均浓度 II 级限值分别定为 35 和 $75 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。近年来广东省空气质量 6 项污染物平均浓度均达到国家 II 级标准, 但大气污染事件仍时有发生, 例如 2015 年广东省共发生高达 13 次主要大气污染事件。一般而言, 时间上表现为冬季(12 月 - 次年 2 月)大气污染高于其他季节, 且以 $\text{PM}_{2.5}$ 污染为主, 空间上表现为珠三角地区污染程度高于粤东、粤西和粤北地区, 并呈现持续时间长、发生面积大、影响范围广的特征^[6]。因此, 对区域空气颗粒物浓度进行长期监测, 确切掌握空气污染现状及动态变化规律, 对研究、治理该区域空气污染非常关键。

深圳坝光银叶树 (*Heritiera littoralis*) 湿地园位于被誉为深圳“生态基石”的大鹏新区。园区内存占着深圳全市近三分之一的古树名木, 其中的古银叶树群落更是世界上迄今发现的保存最完整、树龄最长的群落, 具有重要的自然保育和公众教育

意义^[7-10]。目前坝光湿地园处于逐步开发当中, 为此, 本研究对坝光银叶树湿地园内的不同区域、不同季节及不同时间的空气颗粒物浓度进行监测, 分析园区内不同监测点空气质量的变化趋势, 为充分认识坝光湿地园生态系统服务功能提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

深圳坝光银叶树湿地园 ($22^{\circ} 37' \text{N} \sim 22^{\circ} 39' \text{N}$, $114^{\circ} 30' \text{E} \sim 114^{\circ} 32' \text{E}$) 位于广东省深圳市大鹏新区大鹏半岛北端坝光新村, 位于亚热带季风气候带, 年均温为 22.1°C , 1 月份均温为 13.9°C , 年平均相对湿度为 79%, 降水量为 1 800.4 mm。该湿地园主要组成区域包括内海湾滩地的海边区域、邻近的风水林小丘地古银叶树群落区域和正在建设的湿地园人工植被恢复区域(实验区域见图 1)。古银叶树群落区域多样性较高(共 67 科 108 属 129 种植物), 乔木个体胸径范围为 1.2~130.8 cm, 树高 2~15 m, 分层明显, 层间藤本植物较稀疏, 林下草本、蕨类植物和幼苗分布广泛, 郁闭度为 0.75 左右, 建群种主要为梧桐科 (Sterculiaceae)、樟科 (Lauraceae)、大戟科 (Euphorbiaceae)、茜草科 (Rubiaceae) 和夹竹桃科 (Apocynaceae) 植物; 海边区域与古银叶树群落区域距离较近, 范围大于古银叶树群落区域, 多为礁石, 植被稀少, 区域面积受潮汐影响较大; 人工植被恢复区域面积最大, 区内有 14 个观赏型水塘, 水中多生长着菖蒲 (*Acorus calamus*)、香蒲 (*Typha orientalis*)、

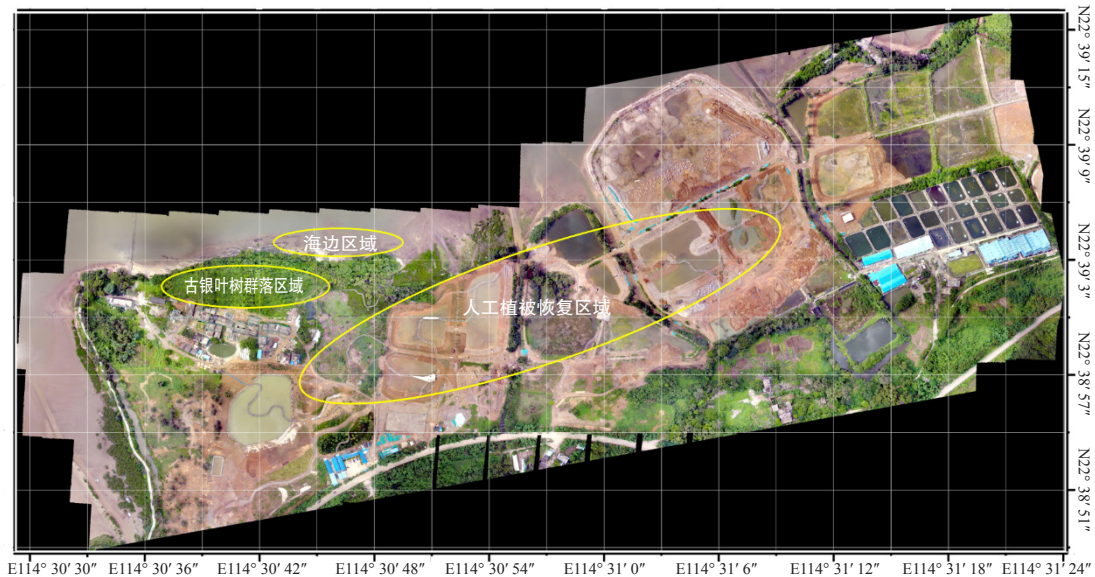


图 1 深圳坝光银叶树湿地园实验区域示意图

Fig. 1 Study areas in Baguang *Heritiera littoralis* Wetland Park, Shenzhen

水葱 (*Scirpus validus*) 等水生植物, 陆生植被多为锦葵科 (Malvaceae)、木棉科 (Bombacaceae)、梧桐科 (Sterculiaceae)、禾本科 (Poaceae)、菊科 (Asteraceae) 和豆科 (Leguminosae) 等^[8,10]。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设备 空气颗粒物监测采用英国 Turnkey Instruments 有限公司制造的 Dustmate 便携式激光颗粒物检测仪。仪器测量时间设定为 10 min, 每分钟自动记录一次数据。依照国家标准《环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的测定重量法》(HJ 618-2011)^[11] 对 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 测定的规定, 采样器距地面高度保持在 1.5 m 处, 测量时风速不大于 8 m/s, 并避免行人过度靠近影响监测效果。由于 TSP 和 PM_{1.0} 的测定方法尚未见国家标准, 因此这两项指标的测定方法与 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 保持一致。

1.2.2 试验方法 在坝光银叶树湿地园的海边区域、银叶树群落区域及人工植被恢复区域分别设置 3 个监测点, 于 2017 年 10 月 (秋季)、2018 年 1 月 (冬季)、2018 年 4 月 (春季) 及 2018 年 6 月 (夏季) 对坝光银叶树湿地园空气颗粒物 (TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、PM_{1.0}) 浓度进行监测。受仪器工作环境的限制, 雨天空气湿度较高, 仪器无法正常运行, 故本研究中仅选择典型晴天或多云天气进行监测。为

保证数据的客观性和准确性, 在观测期内不同天气状况下 (持续晴天、雨后及阴天条件) 对每个监测点进行重复测量, 每天 8:00、10:00、12:00、14:00 及 16:00 时各测量 1 次, 连续监测 3 天。

1.2.3 数据处理 采用 JMP11 统计软件对数据进行统计分析。以地点、季节和时间不同因素, 对空气颗粒物浓度进行单因素方差分析, 采用 Tukey HSD 检验, 显著水平设为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 各因素对各颗粒物粒子的影响

单因素方差分析表明, 对于 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 和 PM_{1.0}, 地点、季节、时间的影响极其显著 ($P<0.001$), 表明空气颗粒物浓度在各监测点内、不同季节和不同时间差异显著。详情见表 1。

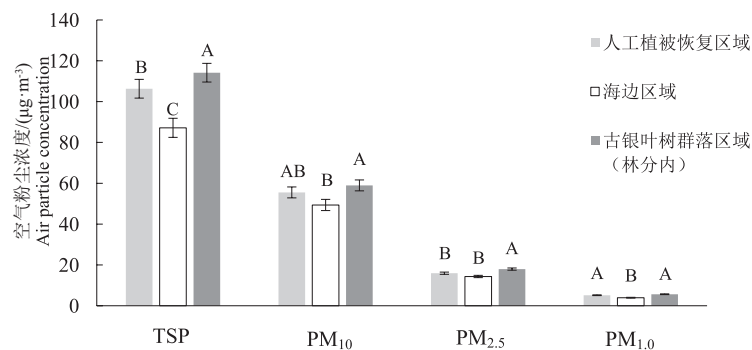
2.2 空气颗粒物浓度时空差异

深圳坝光银叶树湿地园各监测点的空气颗粒物浓度如图 2 所示; TSP 浓度在各区域间差异显著, 古银叶树群落区域 ($114 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 人工植被恢复区域 ($106 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 海边区域 ($87 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$); PM₁₀ 浓度在古银叶树群落区域 ($58 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 最高, 海边区域 ($49 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 最低, 人工植被恢复区域 ($55 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 则处于二者之间; PM_{2.5} 浓度在

表 1 不同因素对坝光银叶树湿地园空气颗粒物浓度的影响

Tab.1 Effects of different factors on concentrations of air particle matters in Baguang *Heritiera littoralis* Wetland Park

因素 Factors	自由度 Degree of freedom	TSP		PM ₁₀		PM _{2.5}		PM _{1.0}	
		F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
地区 Areas	2	21.189	<0.000 1	7.607	0.000 5	23.223	<0.000 1	43.465	<0.000 1
季节 Seasons	3	218.432	<0.000 1	243.436	<0.000 1	281.998	<0.000 1	255.127	<0.000 1
时间段 Time	4	37.722	<0.000 1	36.132	<0.000 1	149.610	<0.000 1	160.309	<0.000 1



注: 图为均值 ± 标准差; 图中各系列内的不同字母代表之间的差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The datas are mean ± standard error; There are significant differences between the different letters in the series ($P<0.05$).

图 2 深圳坝光银叶树湿地园各区域年均空气颗粒物浓度

Fig. 2 Annual average concentrations of air particle matters in different sites in Baguang *Heritiera littoralis* Wetland Park, Shenzhen

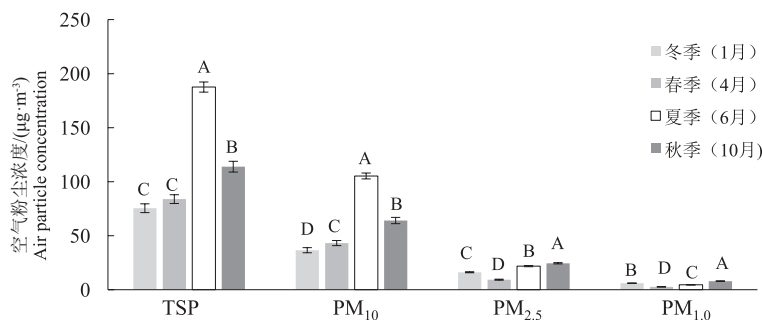
人工植被恢复区域 ($15 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 和海边区域 ($14 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 差异不显著, 并显著低于银叶树群落区域 ($17 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$); PM_{10} 浓度在人工植被恢复区域 ($5.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 和古银叶树群落区域 ($5.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 差异不显著, 并显著高于海边区域 ($3.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。

深圳坝光银叶树湿地园各月的空气颗粒物浓度如图3所示。TSP在冬季(1月)和春季(4月)差异不显著, TSP浓度: 夏季 ($187 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 秋季 ($113 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 春季 ($83 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 冬季 ($75 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$); PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{1.0}$ 在各个季节差异显著 ($P < 0.05$), PM_{10} 浓度: 夏季 ($105 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 秋季 ($64 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 春季 ($43 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 冬季 ($36 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), $\text{PM}_{2.5}$ 浓度: 秋季 ($24 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 夏季 ($21 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 冬季 ($16 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 春季 ($9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), $\text{PM}_{1.0}$ 浓度: 秋季 ($10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 冬季 ($8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 夏季 ($6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) > 春季 ($5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。

深圳坝光银叶树湿地园各时间点的空气颗粒物浓度如图4所示。TSP和 PM_{10} 呈先降后升的趋势, 最低值出现在中午12:00时, 且下午16:00时仍呈上升趋势; $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{1.0}$ 各时间变化较为平稳, 上午浓度稍高于其他时间。

3 结论与讨论

3.1 深圳坝光银叶树湿地园 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度年均值低于国家 II 级标准浓度限值 (TSP: $200 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, PM_{10} : $70 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, $\text{PM}_{2.5}$: $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 图 2), TSP 和 PM_{10} 日均值低于 II 级标准浓度限值 (TSP: $300 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, PM_{10} : $150 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 而 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值低于 I 级标准浓度限值 ($35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 图 4)^[5]。银叶树湿地园空气颗粒物浓度高于南岭国家森林公园、广州帽峰山森林公园、白云山森林公园、二沙岛传祺森林公园和大夫山森林公园等相同自然带不同类型的森林公园^[12-13], 这种差异可能与植被、小气候及人为活动等因素有关, 主要原因可能为湿地园尚处于开发阶段, 植被较少, 人为干扰较大, 因此导致空气颗粒物浓度较其他森林公园高。通过对湿地园不同监测区域、季节和时段的比较可知, 古银叶树群落区域的空气颗粒物浓度普遍高于其他两个监测点 (图 2), 夏季的 TSP 和 PM_{10} 污染比较严重, $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{1.0}$ 则是秋季较为严重 (图 3), TSP 和 PM_{10} 浓度日变化曲线呈先降后升, 中午最低, $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{1.0}$ 浓度曲



注: 图为均值 \pm 标准差; 图中各系列内的不同字母代表之间的差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean \pm standard error; There are significant differences between the different letters in the series ($P < 0.05$).

图3 深圳坝光银叶树湿地园各季空气颗粒物浓度

Fig.3 Seasonal average concentrations of air particle matters in Baguangu Heritiera littoralis Wetland Park, Shenzhen

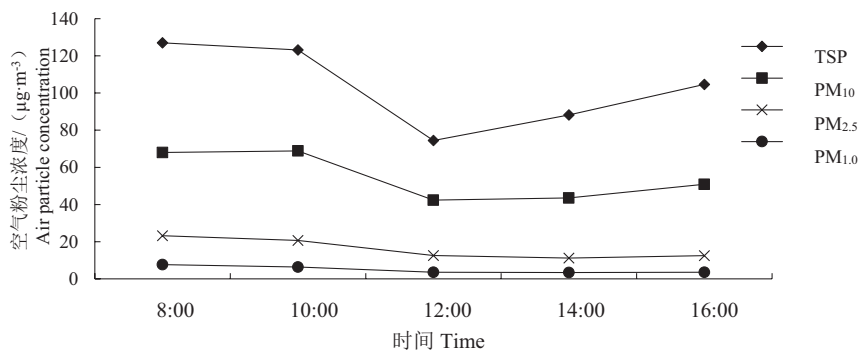


图4 深圳坝光银叶树湿地园空气颗粒物浓度日变化过程

Fig.4 Daily variations of air particle matters in Baguangu Heritiera littoralis Wetland Park, Shenzhen

线则是上午稍高于下午(图4)。

3.2 古银叶树群落区域的空气颗粒物浓度高于人工植被恢复区域和海边区域,推测与区域之间植被量差异有关:古银叶树群落区域植被最为丰富,分层明显,而其他两个区域植被则明显低于古银叶树群落,且乔木层较稀疏。以往研究表明植物对空气颗粒物的污染有净化作用^[14-16],但与此同时,郁闭的林冠可能会形成陷阱效应,即林内空气流通度低,使得捕获的污染物颗粒难以向外扩散^[17],从而导致林下测量的空气颗粒物浓度值要比空旷监测点的浓度值要高。

3.3 湿地公园夏季TSP和PM₁₀污染比较严重,PM_{2.5}和PM_{1.0}则是秋季较为严重。一般而言,夏季温度较高,大气混合层高度提升,此时污染物扩散强度可能较强;而秋季由于降雨量小,加之北风带来的区域性污染输送,导致该季节颗粒物污染较为严重^[18-20]。分析深圳市大气污染情况也发现,其PM₁₀、PM_{2.5}超标主要发生在秋、冬季节;另外,湿地公园开发工程也可能增加了测量期间湿地公园的空气颗粒物浓度^[21]。不同粒径空气颗粒物浓度的季节变化不同,推测可能与其来源、组成差异有关,但具体原因有待进一步探讨。

3.4 日变化曲线中,TSP和PM₁₀浓度呈U字形,最低值在中午时段,PM_{2.5}和PM₁则是上午时段稍高于下午时段,推测空气颗粒物浓度变化除了是周边区域的影响,可能与气象因素有关。在上午和下午时段,温度低、湿度大,不利于颗粒物扩散,使空气颗粒物浓度增大;在中午时段,温度高、湿度小,大气混合层高度抬升,气流加剧与高层清洁空气交换,污染物扩散清除强度增强,使空气颗粒物浓度不断下降^[12,22-24]。

参考文献

- [1] FREERSMITH P H, BECKETT K P, TAYLOR G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment[J]. *Environmental Pollution*, 2005, 133(1): 157-167.
- [2] 刘玉兴,李忠如,浦庄芬.空气中总悬浮颗粒物与可吸入颗粒物的相关变化[J].*上海环境科学*,1988(3): 26-27.
- [3] 刘岩磊,孙岚,张英鸽.粒径小于2.5微米可吸入颗粒物的危害[J].*国际药学研究杂志*,2011,38(6): 428-431.
- [4] 董雪玲.大气可吸入颗粒物对环境 and 人体健康的危害[J].*资源与产业*,2004,6(5): 50-53.
- [5] 中国环境科学研究院. GB 3095-2012环境空气质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [6] 潘月云,陈多宏,叶斯琪,等.广东省大气污染典型案例特征及其影响因素分析[J].*安全与环境工程*,2017,24(2): 58-66.
- [7] 简曙光,唐恬,张志红,等.中国银叶树种群及其受威胁原因[J].*中山大学学报(自然科学版)*,2004,43(s1): 91-96.
- [8] 陈晓霞,李瑜,茹正忠,等.深圳坝光银叶树群落结构与多样性[J].*生态学杂志*,2015,34(6): 1487-1498.
- [9] 范继英,唐学君.深圳市大鹏半岛古银叶树群保护对策探讨[J].*华东森林经理*,2016,30(2): 66-68.
- [10] 喻本德,叶有华,郭微,等.生态保护红线分区建设模式研究:以广东大鹏半岛为例[J].*生态环境学报*,2014,23(6): 962-971.
- [11] 中日友好环境保护中心,国家环境分析测试中心.HJ 618-2011 环境空气.PM₁₀和PM_{2.5}的测定.重量法[S].北京:中国环境科学出版社,2011.
- [12] 吴巧花,陈步峰,翟石磊,等.广州市城郊森林公园雨季空气颗粒物浓度特征[J].*生态环境学报*,2017,26(8): 1368-1374.
- [13] 张霖琳,刀谓,王超,等.我国四个大气背景点颗粒物浓度及其元素分布特征[J].*环境化学*,2015(1): 70-76.
- [14] 林鑫涛,叶诺楠,王彬,等.亚热带常绿树种对不同粒径颗粒物的滞留能力[J].*广西植物*,2016,36(2): 170-176.
- [15] 张维康,王兵,牛香.北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力[J].*环境科学*,2015(7): 2381-2388.
- [16] 谢丽宏,黄芳芳,甘先华,等.城市森林净化大气颗粒物污染作用研究进展[J].*林业与环境科学*,2017,33(3): 96-103.
- [17] JIN S, GUO J, WHEELER S, et al. Evaluation of impacts of trees on PM_{2.5}, dispersion in urban streets[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, 99(99): 277-287.
- [18] 毛恒青.气象条件对大气污染物扩散的影响[J].*山东气象*,1991(4): 9-13.
- [19] 杜荣光,齐冰,郭惠惠,等.杭州市大气逆温特征及对空气污染物浓度的影响[J].*气象与环境学报*,2011,27(4): 49-53.
- [20] 石灵芝.城市大气颗粒物(PM₁₀)源解析与浓度预测及气象因素影响研究[D].长沙:中南大学,2011.
- [21] 朱珠,褚艳玲,吴锋.深圳大气污染特征模拟及环境容量估算[J].*中国环境管理*,2015,7(5): 83-88.
- [22] 陈波,李少宁,鲁绍伟,等.北京大兴南海子公园PM_{2.5}和PM₁₀质量浓度变化特征[J].*生态科学*,2016(2): 104-110.
- [23] 张青,黄昌前,宫正宇,等.颗粒物污染与环境条件因素影响相关性分析[J].*绿色科技*,2017(8): 84-85.
- [24] 纪颖,范惠洁,王秋芳,等.颗粒物浓度与气象因素[J].*环境与健康杂志*,2008,25(6): 554-555.