

大气污染对珠江三角洲村边林植被的影响

温达志¹ 旷远文¹ 刘世忠¹ 陆耀东² 黎建力³

(1. 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650; 2. 广东省佛山市林业科学研究所, 广东 佛山 528222;
3. 广东省佛山市南海区林业科技推广总站, 广东 佛山 528222)

摘要:在群落结构与组成分析的基础上,阐明了陶瓷工业污染对自然条件下生长的植被伤害状况、程度和原因,为类似地理气候区重度污染背景下退化生态系统的植被恢复提供参考。野外调查样地位于广东省佛山市南海区一村边半自然次生林内。结果表明,该森林以隆缘桉和尾叶桉占优势,其次是乡土树种鸭脚木、泥竹,重要值依次为 26.75、17.08、16.27 和 11.50,其它伴生种的重要值不足 30。根据冠层叶可见症状、失绿和脱叶对植物受害进行综合评价,分死亡(受害程度 100%,全部叶死亡脱落)、重度(60%–100%)、中度(25%–60%)、轻度(10%–25%)和健康(<10%) 5 个级别。隆缘桉和马尾松冠层叶完全脱落属于死亡类,泥竹、南岭黄檀属重度受害种类。尽管其它伴生树种有较低的重要值,但其中多数种类显示出较强耐受能力,这些种类包括鸭脚木、珊瑚树、酒饼叶、光叶山矾、白背叶、银柴、竹节树、山黄麻、构树、粗叶榕、潺槁树等。和乔木层比较,林下灌木和草本植物受污染的伤害大大降低。桉树类树种因其速生、快速郁闭的特点被认为是华南荒山、退化丘陵地区植被恢复的重要种类,在重度污染地区已经受到严重威胁,应该引起重视。另一方面,某些乡土树种在重度污染地区环境修复中显示出潜力和前景。

关键词:大气污染; 陶瓷工业; 植被受害; 村边林; 珠江三角洲

中图分类号: X503.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2003) 04-0386-07

Vegetation Damage by Long-term Air Pollution at a Rural Site in the Pearl River Delta in South China

WEN Da-zhi¹ KUANG Yuan-wen¹ LIU Shi-zhong¹ LU Yao-dong² LI Jian-li³

(1. South China Institution of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Forestry Institute of Foshan, Foshan 528222, China; 3. Forestry Extension Bureau of Nanhai Administrative District, Foshan 528222, China)

Abstract: This study aims to characterize the damage or sensitivity of different plant species growing under long-term air pollution around ceramic industrial areas, on the basis of community survey, to provide implications for restoration of heavily polluted and degraded areas in similar condition. Field survey was carried out by ten quadrats 10 m × 10 m in area for tree layer, and eight subquadrats 5 m × 5 m for shrub and herb layers in a hilly land semi-natural secondary forest at a rural site in Nanhai city of Guangdong Province. The forest was dominated by exotic *Eucalyptus exserta* and *Eucalyptus urophylla*, followed by native tree species, *Schefflera octophylla* and *Bambusa gibba*, with the importance value (IV) of 26.75, 17.08, 16.27 and 11.50, respectively, while all other companion species accounted for less than 30%. Based on foliage loss and the extent of injured leaf tissues, plants were categorized into: (1) dead without any leaves attached, (2) severe damage with the injured degree ranging from 60% to 100%, (3) moderate damage, 25%–60%, (4) light damage, 10%–25%, and healthy with the injured degree less than 10%. Among all tree species, *Eucalyptus exserta* and *Pinus massoniana* were the most severely damaged species, of which all individuals were dead or with only a few dead branches without any leaves attached,

收稿日期: 2003-08-06

接受日期: 2003-09-17

基金项目: 广东省环境保护局科技开发项目(200010); 广东省自然科学基金(990762); 国家自然科学基金(30370283); 佛山市科学技术局科技发展专项资金(0102007A)联合资助

and then followed by *Bambusa gibba* and *Dalbergia balansae*. Although the IV was much lower for the rest companion species, but most of them showed high capacities to cope with the pollution stress. These species include *Schefflera octophylla*, *Viburnum odoratissimum*, *Desmos chinensis*, *Sylocos lancifolia*, *Broussonetia papyrifera*, *Mallotus apelta*, *Aporosa dioica*, *Carallia brachiata*, *Trema tomentosa*, *Ficus hirta* and *Litsea glutinosa*. Compared with species in tree layer, damages of woody seedlings, herbs or lianas growing under the canopies were largely reduced. Results from this study demonstrate that attention and concern should be made on those introduced *Eucalyptus* species in heavily polluted area, which had ever been considered as one of the important species for forest restoration in hilly degraded lands and planted in a wide range of areas during 1970–80s, due to its fast growing aspect. The results also demonstrate the potentials and perspectives by developing native species as target plants for restoration of degraded area, which makes a stimulus for scientists to initiate studies as a base for advancing our ability to describe the functional aspects of native species and process-based interactions with pollution stress.

Key words: Air pollution; Ceramic industry; Vegetation damage; Village forest; The Pearl River Delta

改革开放以来,珠江三角洲凭借其原有的经济基础以及毗邻港澳这一特有的地域优势,工业化、城市化发展迅速,经济实现了超速发展。然而,伴随而来的自然资源过度开发、环境污染和生态破坏对人类健康和生存环境构成了严重威胁^[1],尤其是佛山、南海陶瓷工业的迅速崛起和生产规模的持续扩大,煤、石油和天然气的消耗大量增加,使近地高空的大气 SO_x 、HF、 NO_x 和夹杂在悬浮颗粒物中重金属的浓度不断升高,大气污染已成为该地区最突出的环境问题,也是该地区经济发展的一大隐患。据资料表明,某区仅 78 km^2 范围内就有 94 家陶瓷生产企业,300 多个燃烧窑^[2]。这些污染已经给农作物产量、森林材积和自然生态系统带来巨大损失,佛山南海境内的某些重度污染地区甚至出现大片森林死亡现象。关于大气污染与森林衰退的研究国外尤其是欧美国家开展较早,建立了森林受害程度的评价标准和分级原则^[3–6],提出关于森林衰退的各种假说并进行科学论证^[7]。我国在这方面的的工作多数侧重于抗性植物的筛选和受害机理的探讨,通过人工熏气或不同污染梯度下的田间盆栽实验来完成。有些工作涉及大气污染胁迫与森林衰退或衰亡的评价^[8–11],但总体上说这方面的研究,尤其是对自然条件下生态系统植被健康评价的研究资料仍十分有限。本文以在大气污染长期暴露及自然条件下生长的植被生态系统为对象,进行植物群落结构特征调查和植物受害程度分析,阐明不同植物种类对持续大气污染胁迫的相对抗性以及乡土树种的应用潜力。研究结果为珠江三角洲大气污染地区自然资

源管理以及退化生态系统的植被恢复提供科学基础。

1 研究方法

1.1 样地概况

样地位于佛山市南海区五星镇,在北回归线以南。气候类型为南亚热带海洋性季风气候,温暖多雨。据当地气象部门资料^[1],2001年日照时数 1 505.4 h,比常年偏少 16%,年平均气温 23.1°C 。降水充沛且存在明显的季节变化,年降雨量为 2 220.2 mm,较常年偏多 37%,降雨主要集中在汛期 4–9 月,占全年雨量的 83%,尤其在夏季常常伴随着台风登陆出现大雨到特大暴雨的降水过程。试验样地常年受大量污染物排放的影响,大气硫酸盐化速率和氟含量远远超过国家排放标准,周边森林受害严重,尤以秋冬季显著。详细资料见温达志等的报道^[12]。

1.2 样方设置与调查

调查于 2002 年 10 月进行,参照《中国生态系统研究网络观测与分析标准方法:陆地生物群落调查观测与分析》^[13],共设 10 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的样方,用于乔木个体调查。将其中的 8 个样方进一步分成 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的亚样方,每个样方中选择较具代表性的一个亚样方用于灌木(高度 $>50 \text{ cm}$)和草本层(高度 $<50 \text{ cm}$)的调查。记录植物名、个体数、冠幅、受害程度与受害原因。

1.3 植物群落组分种群的重要值计算

重要值是评价植物种群在群落中作用的一项综合性且较客观的数量指标。乔木层种群重要值表

1) 南海市气象局 2001 年气候概况

征为植物种的相对多度、相对频度和相对显著度之和除以 3, 其中的相对显著度根据胸高断面面积计算得到, 灌木层和草本层的重要值为相对多度、相对盖度和相对频度之和除以 3。

1.4 植物受害程度等级划分

根据植物冠层出现的叶可见受害症状面积占冠层叶总面积的相对比例, 以 10% 为一个受害等级进行测评^[4], 并记录受害原因。然后根据被调查样方内相同植物种的受害等级及对应的株数进行加权平均得到该种的平均受害情况, 以 % 表示。在欧洲 5 级划分标准^[7]的基础上建立森林受害评价标准 (表 1)。

2 结果和分析

2.1 植被群落结构分析

表 2 可见, 乔木层植物个体密度以尾叶桉、泥竹、鸭脚木最高, 即单位面积上拥有最多个体数, 其次是隆缘桉、白背叶、朴树、黄荆和光叶山矾, 其余种类的个体密度均较小。相对显著度分析结果表明群落主要以尾叶桉、隆缘桉和鸭脚木占绝对优势, 其显著度之和超过 90%, 是群落的骨架树种。从种群频度可见, 尾叶桉、鸭脚木、白背叶、光叶山矾和隆缘桉有较高的相对频度, 在 10% 左右, 显示出相对较好的空间分布一致性, 其次是泥竹、朴树、黄荆、银柴、竹节树、构树和山黄麻, 在 5% 左右, 其余伴生种类的相对频度均在 3% 以下。泥竹虽然有较多的个体数量, 但其相对频度并不高, 这主要是因为该种类在群落中表现为丛生状态。尾叶桉有明显的高的重要值, 其次是隆缘桉、鸭脚木和泥竹, 其余种

类的重要值均在 5 以下。隆缘桉的个体数量虽然明显比鸭脚木、泥竹小, 但有较大胸径 (胸高面积), 因此有较高的重要值。

林下植物多样性和消长动态与森林群落演替趋势密切相关, 在考虑大气污染胁迫对群落的长期影响时尤其重要。表 3 可见, 扭肚藤有明显多的个体数量, 相对盖度和重要值较高, 其次是竹节树、银柴、鸭脚木和消梵天花, 它们是灌木层的优势种; 黄荆、粗叶榕、鬼灯笼、白背叶、朴树、箭竹和构树中等, 重要值总和为 28.1; 其余种类个体数明显少, 相对盖度和相对频度也较低, 重要值总和为 17.9。表 4 可见, 在草本层中海金沙和竹节草明显占优势, 表现为较高的相对多度、相对盖度和相对频度, 重要值总和达 35.1; 其次是纤毛鸭嘴草、马樱丹、地胆草、海芋、粪箕笃和白背叶, 其重要值总和为 36.7; 其余 17 个种为零星稀少分布, 重要值总和为 28.2。

2.2 不同植物种类受害程度的差异

树冠是评价大气污染对树木影响的一个重要和关键组分, 而且在野外容易进行目测评估。叶生物量的严重减少可能导致整株树木净 C 收获和生长的下降^[14], 最终导致树木的衰退。Christiansen 等人报道了树皮甲壳虫及其相关的真菌与树冠健康状况的关系, 提出任何限制树冠大小或其光合作用效率的环境因子都可能降低树木的抵抗能力^[15]。因此, 树冠健康状况, 尤其是叶总量 (生物量) 和叶质量 (颜色、养分状况) 常常用于反映树木维持进一步生存、自我防御、耐受能力和受胁迫后恢复能力的指标。表 2 可见, 在乔木层中隆缘桉和马尾松受

表 1 森林受害程度分类与评价
Table 1 Classification and evaluation on forest damage

级别 Class	受害程度 Damage category	受害评价 Evaluation	状况描述 Symptoms
0	<10%	健康 Healthy	没有明显的可见伤害, 叶颜色正常 No visible injury with natural and normal leaf color
1	10%–25%	轻度受害 Light damage	部分叶片叶缘、叶尖伤害, 叶片局部黄化 Visible injury or discoloration at leaf edge for parts of leaves
2	25%–60%	中度受害 Moderate damage	大部分叶片失绿、可见伤害从叶缘向内部扩展 Visible injury or discoloration extending from edge to inner part for most leaves
3	60%–100%	重度受害 Severe damage	部分叶片脱落, 叶明显失绿, 受害面积大、症状显著 Visible and significant injury and discoloration, accompanied with leaf loss
4	100%	死亡 Dead	全部叶片脱落 All branches without any leaves attached

表2 长期大气污染胁迫下群落乔木层植物株数、相对多度、相对频度、相对显著度、重要值和平均受害程度
Table 2 The number, relative abundance, relative frequency, relative prominence, importance value and average damage of plants in tree layer under long-term air pollution stress

种类 Species	株数 No. of individuals	相对多度 RA(%)	相对频度 RF(%)	相对显著度 RP(%)	重要值 IV	平均受害程度 Average damage (%)
尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i>	226	30.62	13.70	35.94	26.75	57.5
隆缘桉 <i>Eucalyptus exserta</i>	40	5.42	8.22	37.61	17.08	99.5
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	154	20.87	10.96	16.99	16.27	23.1
泥竹 <i>Bambusa gibba</i>	195	26.42	5.48	2.61	11.50	85.1
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	27	3.66	9.59	0.24	4.50	36.5
光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	13	1.76	9.59	1.77	4.37	12.3
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	22	2.98	5.48	1.17	3.21	54.5
黄荆 <i>Vitex negundo</i>	14	1.90	4.11	0.35	2.12	45.0
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	4	0.54	2.74	1.83	1.70	100.0
银柴 <i>Aporosa chinensis</i>	6	0.81	4.11	0.13	1.68	38.2
竹节树 <i>Carallia brachiata</i>	6	0.81	4.11	0.04	1.65	26.7
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	4	0.54	4.11	0.17	1.61	35.0
山黄麻 <i>Trema tomentosa</i>	3	0.41	4.11	0.10	1.54	43.3
粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	3	0.41	2.74	0.01	1.05	6.7
南岭黄檀 <i>Dalbergia balansae</i>	6	0.81	1.37	0.25	0.81	68.3
越南山龙眼 <i>Helicia cochinchinensis</i>	4	0.54	1.37	0.51	0.81	55.0
珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i>	4	0.54	1.37	0.15	0.69	5.0
酒饼叶 <i>Desmos chinensis</i>	2	0.27	1.37	0.01	0.55	20.0
鸦胆子 <i>Brucea javanica</i>	2	0.27	1.37	0.01	0.55	5.0
阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	1	0.14	1.37	0.06	0.52	50.0
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	1	0.14	1.37	0.02	0.51	25.0
籐竹 <i>Bambusa stenostachya</i>	1	0.14	1.37	0.01	0.50	5.0
	738	100	100	100	100	

调查样方面积为 10×(10 m×10 m)。The plot area for field survey was 10×(10 m×10 m)

害最严重,表现为冠层叶完全脱落、冠折和干折,枝叶干枯,仅少许几株隆缘桉残干上可见新萌生枝叶,这两个树种可归为死亡。其次是泥竹和南岭黄檀,平均受害程度分别为 85.1%和 68.3%,介于 60%–100%之间,属重度受害树种。尾叶桉、朴树、黄荆、银柴、白背叶、越南山龙眼、阴香、构树、竹节树和潺槁树的平均受害程度在 25%–60%之间,属中度受害树种,其余种类的平均受害程度均在 25%以下。在灌木层中,所有植物的平均受害程度均在 60%以下(表 3)。其中,鸦胆子、竹节树、了哥王、银柴、土密树和黑面神的平均受害程度在 25%–60%之间,为中等受害种类,其余植物均属于轻度受害,尤其是扭肚藤、鸭脚木、黄荆、粗叶榕、鬼灯笼、籐竹、酒饼叶、野牡丹等种类受害明显较轻,平均受害程度在 10%以下。在草本层中,商陆平均受害程度达 95%,属重度受害,其余种类的平均受害程度均在 60%以下,且其中绝大多数种类(海金沙、鸦胆子、消梵天花除外)的平均受害程度在 10%以下(表 4)。此

外,林下层植物的受害程度明显比上层乔木低,这主要因为(1)乔木层中隆缘桉、马尾松和尾叶桉均为人工种植的速生树种,其树冠直接且长期暴露在高浓度污染环境下,首先受到伤害;(2)由于上层乔木冠层对大气污染物的截获和过滤,大大减轻了大气污染对林下植被的伤害。

2.3 大气污染胁迫下植物受害原因

大气污染及其对森林生态系统的影响是复杂的,难于独立出来并加以进行量化。它可以直接作用于植物的活组织,通过影响其外部特征如叶大小、形态、冠层结构或冠层质量如叶色素组成与含量、光合同化能力来影响植物的活力,也可通过改变环境促进或抑制某些病害或虫害,从而间接改变生态系统的组分和结构。本研究中,我们发现有些植物没有表现出明显受害,但却有不同程度的虫害症状。例如,在乔木层中,被调查的 6 株银柴中有 5 株出现明显的虫害症状,6 株竹节树中 2 株受虫害

表 3 长期大气污染胁迫下群落灌木层植物株数、相对多度、相对盖度、相对频度、重要值和平均受害程度
Table 3 The number, relative abundance, relative coverage, relative frequency, importance value, and average damage of plants in shrub layer under long-term air pollution stress

种类 Species	株数 No. of individuals	相对多度 RA (%)	相对盖度 RC (%)	相对频度 RF (%)	重要值 IV	平均受害程度 Average damage (%)
扭肚藤 <i>Jasminum amplexicaule</i>	52	18.37	48.84	9.30	25.51	5.0
竹节树 <i>Carallia brachiata</i>	27	9.54	3.66	9.30	7.50	44.4
银柴 <i>Aporosa chinensis</i>	27	9.54	4.64	8.14	7.44	36.4
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	23	8.13	5.37	6.98	6.83	5.0
肖梵天花 <i>Urena lobata</i>	26	9.19	4.15	6.98	6.77	23.3
黄荆 <i>Vitex negundo</i>	15	5.30	4.88	4.65	4.95	5.0
粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	15	5.30	1.95	6.98	4.74	8.3
鬼灯笼 <i>Clerodendron fortunatum</i>	18	6.36	1.95	5.81	4.71	5.0
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	15	5.30	2.44	4.65	4.13	21.1
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	8	2.83	2.93	4.65	3.47	22.5
籐竹 <i>Bambusa stenostachya</i>	9	3.18	4.88	2.33	3.46	7.5
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	11	3.89	1.71	2.33	2.64	5.0
尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i>	4	1.41	1.22	3.49	2.04	13.3
鸦胆子 <i>Brucea javanica</i>	3	1.06	3.66	1.16	1.96	50.0
土密树 <i>Bridelia monoica</i>	3	1.06	1.22	3.49	1.92	28.3
酒饼叶 <i>Desmos chinensis</i>	4	1.41	0.73	2.33	1.49	5.0
鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i>	2	0.71	0.98	2.33	1.34	7.5
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	4	1.41	1.22	1.16	1.27	20.0
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	2	0.71	0.49	2.33	1.17	5.0
红桂木 <i>Artocarpus nitidus</i> ssp. <i>lingnanensis</i>	2	0.71	0.37	2.33	1.13	9.0
了哥王 <i>Wikstroemia indica</i>	4	1.41	0.49	1.16	1.02	40.0
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	3	1.06	0.24	1.16	0.82	5.0
其它 6 种 Other 6 species *	6	2.10	1.94	6.96	3.70	5-25

调查样方面积为 8×(5 m×5 m). The subplot area for field survey was 8×(5 m×5 m).

* 其它 6 种单株个体植物为隆缘桉、牛白藤、光叶山矾、黑面神、小叶榕、羊角拗. The other 6 species with only one individual each are *Eucalyptus exserta*, *Hedyotis hedyotide*, *Symplocos lancifolia*, *Breynia fruticosa*, *Ficus microcarpa* and *Strophanthus divaricatus*.

的影响,但危害程度小于银柴。此外,多数鸭脚木植物冠层没有表现出明显的大气污染伤害症状,但有 23 株(约占总株数的 15%)受藤本植物缠绕,甚至导致少部分个体冠层折断或干折。关于大气污染与昆虫、病原体之间的交互作用对植物、森林的影响尚无普遍性的结论。大气污染并不一定促进植物病害或虫害的发生,有时对一些植物病原体或昆虫种群也有抑制作用,它们之间的作用与环境条件、污染物种类和浓度以及生物种群特异性有关^[16-18],这方面的研究有待进一步的加强。

3 结论与建议

植物抗性及其对环境的适宜能力是大气污染胁迫下退化生态系统恢复中植物种类选择的基础和前提。本研究结果表明,鸭脚木、酒饼叶、光叶山矾、潺槁树、粗叶榕、鸭胆子、竹节树、银柴、土密树

和野牡丹等乡土阔叶植物对大气污染胁迫表现出不同程度的抗性 or 耐受能力,显示出它们在类似污染地区退化生态系统植被恢复中的潜力和应用前景。因此,未来研究应该重视乡土植物对大气污染的适应性研究,探讨这些种类抗污染机制与防御策略,以及它们对环境条件如环境 pH、土壤水分和土壤养分尤其是土壤 N 丰富程度的响应,最终为重度污染地区退化生态系统植被恢复的树种选择以及恢复方案的制定与实施提供科学基础。

源于陶瓷工业的大量硫氟污染物已经对其周边森林植被构成严重威胁。和远离城市工业区的山区森林生态系统相比,城郊或工业污染地区的植被系统除受自然环境胁迫因子如光照、水分、养分亏缺以及生物之间的交互作用(如种间竞争)的影响外,还面临长期大气污染胁迫,具有更大程度的不稳定性和脆弱性。而且,硫氟污染物沉降到土壤后

表 4 长期大气污染胁迫下群落草本层植物株数、相对多度、相对盖度、相对频度、重要值和平均受害程度
Table 4 The number, relative abundance, relative coverage, relative frequency, importance value, and average damage of plants in herb layer under long-term air pollution stress

种类 Species	株数 No. of individuals	相对多度 RA (%)	相对盖度 RC (%)	相对频度 RF (%)	重要值 IV	平均受害程度 Average damage (%)
海金沙 <i>Logodium japonicum</i>	33	16.92	27.69	16.00	20.21	60.6
竹节草 <i>Commelina diffusa</i>	35	17.95	18.80	8.00	14.92	11.3
纤毛鸭嘴草 <i>Ischaemum indicum</i>	25	12.82	11.97	4.00	9.60	7.5
马缨丹 <i>Lantana camara</i>	11	5.64	14.70	8.00	9.45	5.0
地胆草 <i>Elephantopus scaber</i>	12	6.15	5.81	4.00	5.32	7.5
海芋 <i>Alocasia macrorrhiza</i>	9	4.62	2.39	8.00	5.00	7.5
粪箕笃 <i>Stephania longu</i>	8	4.10	2.74	6.00	4.28	5
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	6	3.08	2.05	4.00	3.04	10
鸦胆子 <i>Brucea javanica</i>	5	2.56	3.42	2.00	2.66	50
梨果榕 <i>Ficus pyriformis</i>	8	4.10	1.03	2.00	2.38	5
了哥王 <i>Wikstroemia indica</i>	4	2.05	0.51	4.00	2.19	10
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	4	2.05	0.51	4.00	2.19	7.5
鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i>	2	1.03	1.37	4.00	2.13	5
积雪草 <i>Centella asiatica</i>	5	2.56	1.71	2.00	2.09	5
鬼灯笼 <i>Clerodendron fortunatum</i>	3	1.54	0.51	4.00	2.02	12.5
对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	4	2.05	1.71	2.00	1.92	10
肖梵天花 <i>Urena lobata</i>	6	3.08	0.34	2.00	1.81	50
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	4	2.05	0.34	2.00	1.46	5
商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>	3	1.54	0.68	2.00	1.41	95
牛白藤 <i>Hedyotis hedyotide</i>	2	1.03	0.34	2.00	1.12	5
双盖蕨 <i>Diplazium donianum</i>	2	1.03	0.34	2.00	1.12	5
其它 4 种 Other 4 species *	4	2.04	1.02	8.00	3.68	5-10
	195	100	100	100		

调查样方面积为 8×(5 m×5 m). The subplot area for field survey was 8×(5 m×5 m).

* 其它 4 种单株植物为潺槁树、中华苔草、酒饼叶和团叶鳞始蕨. The other 4 species are *Litsea glutinosa*, *Carex chinensis*, *Desmos chinensis* and *Lindsaea orbiculata*.

可能发生滞留、生物化学迁移从而影响土壤的化学性质和功能, 重金属和铝毒害, 进一步加剧土壤环境的恶化。因此, 必须从生态系统的角度, 通过多学科研究进行综合分析, 重视污染胁迫下生态系统结构和功能损害的深入研究以及生态系统健康状况的风险评价, 为持续森林经营和保护森林生物多样性提供科学服务。

参考文献

[1] Yuan Z(袁征). The way and direction of environmental protection in the Pearl River Delta [J]. Guangdong Envir Prot Sci Techn (广东环保科技), 2002, 12(2):1-4. (in Chinese)
 [2] Ma Z N(马梓能). Study on Sustainable Development of Foshan [M]. Guangzhou: Guangdong Economy Publishing House, 2000. 156-157. (in Chinese)
 [3] Peterson D, Schmoltd D, Eilers J M, et al. Guidelines for Evaluating Air Pollution Impacts on Class I Wilderness Areas in California [M]. California: United States Department of Agriculture,

General Technical Report PSW-GTR-136, Pacific Southwest Research Station, Albany, 1992. 34.
 [4] De Vries W, Reinds G J, Deelstra H D, et al. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe [A]. In: UN/ECE, EC, Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute. Technical Report 1999 [C]. 1999. 173.
 [5] UN/ECE and EC: Forest Condition in Europe [A]. In: Report on the 1996 Survey [C]. Geneva and Brussels: UN/ECE and EC, 1998, 180.
 [6] Solberg S. Forest Health Monitoring: Evaluation of Methods, Trends and Causes Based on a Norwegian Nationwide Set of Monitoring plots [M]. Norges landbrukshogskole. Norsk Institute for Skogforskning, 1999. 120.
 [7] Yang C G(杨传贵), Jiao Z Y(蕉志远). A summary of studies on relationship between forest degradation and air pollution [J]. World Envir (世界环境), 2000, 2:45-48. (in Chinese)
 [8] Liu H T(刘厚田), Du X M(杜晓明), Zhang W P(张维平). Acid precipitation and the decline of Masson pine [A]. In: Forestry Society of China, Acid Rain and Agriculture [M]. Beijing: Chinese

- Forestry Publishing House, 1989. 140–146. (in Chinese)
- [9] Zhang P (张萍), Yang G Y (杨光澂), Li B Z (李柏忠). Study on the change of needle nutrient elements of Masson pine under atmospheric pollution [J]. For Res (林业科学研究), 1995, 8(4): 462–465. (in Chinese)
- [10] Yan C R (严昌荣), Zhu Z B (朱忠保). Declining of *Pinus massonia* in relation to air pollution in Dashengshan, Lengshuijiang, Hunan [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 1996, 20(3):207–205. (in Chinese)
- [11] Luo T S (骆士寿), Wu Z M (吴仲民), Xu Y G (徐义刚), et al. Preliminary study on the effects of atmosphere pollution on forest and soil in Pearl River Delta, China [J]. Ecol Sci (生态科学), 2001, 20 (1, 2): 11–16. (in Chinese)
- [12] Wen D Z (温达志), Lu Y D (陆耀东), Kuang Y W (旷远文), et al. Ecophysiological responses and sensitivity of 39 woody species exposed to air pollution [J]. J Trop Subtop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4):341–347.
- [13] Wang Y F (王义风), Zhang X S (张新时), Xie Z Q (谢宗强), et al. Part 1 Observation and analysis of plant communities [A]. In: Standard Methods for Observation and Analysis in Chinese Ecosystem Research Network “Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities” [M]. Beijing: Standards Press of China, 1996. 1–23. (in Chinese)
- [14] UN/ECE and EC: Internal Review of ICP Forests [A]. The 16th Task Force Meeting of ICP Forests [C]. Gent, Belgium, 2000. 1–48.
- [15] Christiansen E, Waring R H, Berryman A A. Resistance of conifers to bark beetle attack: Searching for general relationships [J]. For Ecol Manag, 1987, 22:89–106.
- [16] Wang Y (王岳), Sui Z Z (隋振璋), Yin X K (尹小康), et al. Impacts of air pollution on plant pathogeny [J]. For Sci Tech (林业科技), 1996, 21(2):41–42. (in Chinese)
- [17] Jia C S (贾春生). Advances in the effects of air pollution on population dynamics of forest insects [J]. J Beihua Univ (Nat Sci) (北华大学学报自然科学版), 2000, 1(4):336–341. (in Chinese)
- [18] Zhang Y (张云), Ye W H (叶万辉), Li Y L (李跃林). Effects of atmospheric pollution on phytophagous insects and its mechanism [J]. Rural Eco-Envir (农村生态环境), 2002, 18(3):49–55. (in Chinese)