

广东园林绿化植物对大气污染的反应及 污染物在叶片的积累

孔国辉¹ 陈宏通² 刘世忠¹ 张德强¹ 彭长连¹
温达志¹ 胡羨聪² 薛克娜² 陆耀东² 吴芝扬²

(1. 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650; 2. 佛山市林业科学研究所, 广东 佛山 528222)

摘要: 根据盆栽试验植物生长参数(株高、基径、冠幅、叶面积、新叶增长率和叶片脱落率), 生理特性(包括净光合速率、叶绿素荧光特性, 叶细胞膜渗漏率和叶绿素含量), 植物伤害状况, 以及长期生长在野外污染环境中的植物生长及受害状况, 评价了 125 种木本植物对空气污染敏感性的反应。被评价的植物其生长环境为酸雨、硫化物、氟化物和粉尘复合污染的工业点, 交通繁忙点和居民点。被评价植物对大气污染的敏感性反应分为 3 类: 1. 抗性强有 35 种; 2. 抗性中等有 41 种; 3. 最敏感(抗性弱)有 49 种。同时还分析了 48 种植物叶片中 S、F、Pb 的累积量。研究结果可为中国热带南亚热带相似大气环境地区建立城市植被和生态公益林提供植物种选择的依据。

关键词: 城市林业; 抗性植物; 环境净化; 污染物积累

中图分类号: X503.235

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2003) 04-0297-19

Responses of Garden Greening Plants to Air Pollution in Guangdong Province and the Accumulation of Pollutants in Leaves

KONG Guo-hui¹ CHEN Hong-tong² LIU Shi-zhong¹ ZHANG De-qiang¹ PENG Chang-lian¹
LU Yao-dong² WEN Da-zhi¹ HU Xian-cong² XUE Ke-na² WU Zhi-yang²

(1. South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Foshan Institute of Forest Science, Foshan 528222, China)

Abstracts : One hundred and twenty-five woody plant species (including infraspecific taxa) grown in pots and in the wild were investigated to evaluate their sensitivity responses to air pollution in Foshan and Guangzhou. The investigations were based on the differences of plant growth parameters (plant height, basal diameter, crown area, leaf area, number of new leaves increased and leaf cast), physiological characters (including net photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence characters, leaf cell membrane leakage rate and chlorophyll content) and plant injury tolerance. All the plants studied were exposed to polluted environments with combined pollutants such as acid rain, sulphide, fluoride and dust in industrial area, heavy traffic density area and residential site. As results all the plants were classified into three categories: (1) most tolerant species (35 species); (2) less tolerant (41 species); (3) most sensitive (49 species). The accumulation level of S, F and Pb in leaves of 48 species were also determined. A list of garden plants concerning sensitivity response to pollutants is given. The results can provide useful information for urban greening in similar atmospheric environments.

Key words: Urban forestry; Resistant plants; Environmental purification; Accumulation of pollutants.

收稿日期: 2003-08-26; 接受日期: 2003-11-05

基金项目: 佛山市科学技术局科技发展专项资金 (0102007A); 广东省环境保护局基金 (1998-09); CERN 鼎湖山森林生态系统定位研究站联合资助。

环境污染是关系到人类生存的严峻问题,受到世界各国普遍关注和重视。随着我国经济的迅猛发展,大量能源消耗导致生态环境的恶化。尤其是大气环境质量的变化影响着各种生态系统发展。如酸雨污染已给我国经济造成严重损失,1995年酸雨污染给森林和农作物造成的直接经济损失就高达几百亿元。大量 SO_2 排放是降水呈酸性的主要原因之一^[1], SO_2 主要来源于煤炭的燃烧。1995年我国煤炭消耗量为 1.38 Gt,居世界第一位^[2],同年所排放的 SO_2 达 2 000 多万 t,亦居世界首位, NO_x 排放量达 726 万 t,酸雨地区不断扩大,酸雨频率也在提高,雨水 pH 降低^[3]。广东属酸雨较严重(降水年均 $\text{pH}<5$)的省,如 1985–1997 年 pH 平均值为 4.77。广州地区的酸雨 pH 值及酸雨频率更为严重,近年有进一步恶化趋势,以 1985–1990 年与 1991–1997 年平均值比较,降水 pH 值分别为 4.74 和 4.41,酸雨频率为 54.15%和 73.40%。佛山地区酸雨污染居全省之首,1991–1997 年降水 pH 值平均为 4.55,酸雨频率达 79.49%^[4]。

另一方面,随着城市化进程的加快和城市范围的扩展,机动车尾气所带来的空气污染不可忽视,如在“七五”期间广州降水中 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比值在 8.6–16.8 之间,平均值为 11.50,1997 年则低于 3。这表明城市机动车尾气对城市大气污染的影响已越来越大,逐渐改变过去以硫酸型污染为主的状况^[4]。

大气中气体污染物和酸雨对生态环境的影响和破坏作用已有不少报导。如对马尾松年轮的碳同位素比 ($\delta^{13}\text{C}$) 分析,估测到自 1980 年以来,广东省一些工厂附近森林大气中 CO_2 、 NO_x 和 SO_2 浓度明显高于清洁区(鼎湖山自然保护区) $1.7\text{--}30 \mu\text{l L}^{-1}$ (CO_2)、 $5\text{--}20 \mu\text{l L}^{-1}$ (NO_x) 和 1.8–2.9 倍(SO_2)^[5,6]。大气污染引起树木、森林伤害和死亡方面情况国内外也有不少报道^[7–11]。

燃煤除排放 SO_2 外,同时亦排放氟,其含量在 $40\text{--}300 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ^[12],但这种情况一直为人们所忽视,若以此含量计算,以煤年消耗量为 100 万 t 为例,则其中含氟可达 40–300 t,这是一个相当大的积累性毒害污染源,不可忽视。大气中的氟化物随雨水到达土壤,增加了金属 Al 的溶解性,导致 F、Al 对植物的双重危害^[13]。

我们选择经济高速发展,有代表性的环境进行调查和试验,希望从中筛选出能耐酸性干湿沉降、 SO_2 、氟化物、 NO_x 污染,又有净化大气污染物能力

的绿化植物,供城市园林、生态公益林应用,为在广东省以至南亚热带地区,利用植物净化大气污染物,为保护环境和促进城市林业发展做出贡献。

1 研究内容和方法

1.1 环境背景

选择城市交通繁忙点、城市公园、生活区、工业区及其附近森林风景区和相对清洁区等不同类型的绿地,通过现场调查,了解植物在不同大气环境质量条件下生长、受害状况,为进一步进行城市优良植物的选择研究提供依据。在广泛调查的基础上,选择了有代表性的地点进行盆栽试验,包括有:城市交通繁忙点(广州东风中路)、工业点(广州西村;佛山禅城区东村和南海区五星)和相对清洁对照点(广州麓湖、华南植物园、鼎湖山国家级自然保护区)。

对佛山市各调查点及盆栽试验点的大气环境进行现场测定。广州市的盆栽试验点大气环境数据引自广州市环境监测站资料,各地大气环境背景资料见表 1。

表 1 显示,大气中的硫、氟含量除鼎湖山和华南植物园没有超过国家标准外,其他各点分别超出国家标准的 2.71–39.91 倍和 2.71–18.12 倍。

广州三个测试点 SO_2 均未超过国家二级标准。 NO_x 除麓湖相对清洁区外,工业点和交通繁忙点稍超过国家二级标准。

1999–2001 年,先后在广州、佛山、南海进行野外调查,盆栽试验分别于 1999 年 3 月–2001 年 5 月在广州三个试验点进行,试验植物 30 种,2002 年 6 月–2003 年 5 月底在佛山市三个试验点进行,试验植物 75 种。

1.2 调查测试内容

调查内容包括植株生长势、伤害症状、生长发育状况。

观测内容 生理机能方面:净光合速率、叶绿素荧光参数、光合色素含量、细胞膜透性。植物生长方面:测定植物株高、冠幅、基径、叶面积、新叶发生和脱落。植物受害状况:包括叶片伤害症状、落叶率。叶片中污染物的积累:包括 S、F 和 Pb。

各项内容的测试方法在本期刊物中已有另文报道^[16–19]。

有关植物伤害的生理指标、植物种抗性和净化

表1 调查或试验点的大气环境背景资料
Table 1 Measured data for atmospheric environment in investigated sites

城市 Cities	测定时间 Time of measuring	环境类型 Environments	地点 Site	SO ₂ 日平均值 (mg m ⁻³) Dialy mean SO ₂	NO _x 日平均值 (mg m ⁻³) Dialy mean NO _x	大气硫酸盐化速率 (SO ₃ , mg 100cm ⁻² d ⁻¹) Air sulfation rate	氟化物 (μgF 100cm ⁻² d ⁻¹) Fluoride	降尘 (mg m ⁻³ month ⁻¹) Dustfall
				0.15**	0.1**	0.25***	3**	8**
广州*	1992-1998	1.相对清洁区	麓湖	0.04	0.095			4.62*
Guangzhou		Clean	LH					
广州*	1992-1998	2.工业区	广雅	0.06	0.123			14.12*
Guangzhou		Industrial	GY					
广州*	1992-1998	3.交通繁忙点	市监测站	0.05	0.199			8.18*
Guangzhou		Heavy traffic	MS					
佛山	2001,	4.陶瓷工业区	大帽岗			1.518±0.43	47.47±10.3	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Ceramic industry	DMC					
佛山	2001,	5.陶瓷工业区	务庄			1.234±0.42	38.97±13.1	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Ceramic industry	WZ					
佛山	2001,	6.化学工业	化纤厂			0.947±0.38	33.50±12.8	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Chemical industry	HQC					
佛山	2001,	7.居民生活区	古灶小学			1.028±0.41	34.34±11.4	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Residential	QZ					
佛山	2001,	8.受陶瓷工业影响	西樵山			1.111±0.36	21.92±9.32	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	的风景林区	XQS					
		Scenic area polluted by ceramic industry						
佛山	2001,	9.城市郊区	林科所			0.685±0.27	17.31±6.76	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Suburb	LKS					
佛山	2001,	10.居民生活区	深村小学			0.901±0.35	8.13±4.68	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Residential area	SC					
佛山	2001,	11.市内公园	石湾公园			0.782±0.28	13.05±5.79	
Foshan	Oct.-Dec. ^[14]	Park	SW					
肇庆	2001,	12.清洁区	鼎湖山			0.067±0.04	0.73±0.42	
Zhaoqing	Oct.-Dec. ^[14]	Clean	DHS					
佛山	2002,	13.陶瓷工业区	五星			2.160±0.523	44.131±16.463	20.090±9.34
Foshan	June-Oct ^[15]	Ceramic Industry	WX					
佛山	2002,	14.陶瓷工业区	东村			9.978±1.205	54.368±11.303	9.013±3.07
Foshan	June-Oct ^[15]	Ceramic Industry	DC					
广州	2002,	15.相对清洁区	植物园			0.142±0.101	2.532±0.817	7.265±3.79
Guangzhou	June-Oct ^[15]	Clean	SCIB					

* 广州市环境监测中心, 2001。广州市环境质量技术报告(1992-2000)

Cited from Guangzhou Environment Monitoring Center, 《Technical Report for Environment Quality in Guangzhou 1992-2000》2001.

** 国家二级标准 National secondary standard (GB3095-1996)

*** 硫酸盐化速率见国家环保局 1991 年《环境质量报告编写技术规定》推荐的标准 National recommended standard

方面,已有文章报导^[20-23],在此,着重对曾作调查和盆栽试验的植物种类受大气污染后,根据其生长、生理机能及伤害状况,综合评价其对大气污染的敏感性。另外,对其中 48 种植物的叶片对大气中 S、F 和 Pb 的累积情况作了分析。

2 结果

2.1 植物积累的大气硫(S)、氟(F)和铅(P)

植物积累大气污染物的前提必须是叶子仍保持有生命活力。因此,本文分析样品采自植株上未

出现或无明显伤害症状的健壮的中龄叶。叶片对污染物的累积量是指：在单位时间内叶片单位干重中污染物含量与对照区的差值，并以此差值表示在该时间段内叶片对大气污染物的净化能力。分析数据

引自己有文献^[15,21]，并经计算，由叶片单位干重含污量转为叶片单位干重在一定时间内叶片中污染物的累积量，见表 2、3、4。

DC 点与 WX 点的大气硫酸盐化速率和氟化物

表 2 植物在东村和五星试验点叶片中硫累积量(g kg⁻¹ DW)
Table 2 Sulphur accumulation (g kg⁻¹ DW) in leaves at DC and WX sites

植物名 Species	叶片中硫的累积量 S in leaves		DC/WX 点叶硫 累积量比率 DC/WX ratio
	东村点 DC	五星点 WX	
菩提榕 <i>Ficus religiosa</i> *	16.985	4.06	4.18
傅园榕 <i>F. microcarpa</i> var. <i>fuyuensisi</i> *	15.063	11.364	1.33
小叶榕 <i>F. microcarpa</i> *	14.581	3.284	4.44
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i> *	12.897	7.992	1.61
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i> *	10.463	1.085	9.64
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i> *	9.653	4.856	1.99
密花树 <i>Rapanea neriifolia</i> *	8.984	1.973	4.55
茶花 <i>Camellia japonica</i> *	7.551	1.551	8.48
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i> *	6.864	0.768	8.94
环榕 <i>Ficus annulata</i> *	6.449	1.644	3.92
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i> *	4.56	3.841	1.99
山黄麻 <i>Trema tomentosa</i> **		10.432	
光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i> **		12.453	
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i> **		14.507	
尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> ***		13.331	

* 盆栽植物,其叶片分析样品在污染点生长约 150 d; ** 自然生长乡土树种,其叶片分析样品在污染点生长约 150-250 d;
*** 野外种植的外来种其叶片分析样品在污染点生长约 150-250 d
*, ** and ***: Leaf samples were collected in polluted sites from potted plants grown for about 150 days, from wild native plants grown for about 150-250 days, and from cultivated exotic plants grown for about 150-250 days, respectively.

表 3 植物在东村和五星试验点叶片中氟的累积量(mg kg⁻¹ DW)
Table 3 Fluorine accumulation (mg kg⁻¹ DW) in leaves at DC and WX sites

植物名 Species	叶片中氟的累积量 F in leaves		DC/WX 点叶氟累积量比率 DC/WX ratio
	DC 点	WX 点	
傅园榕 <i>Ficus microcarpa</i> var. <i>fuyuensisi</i> *	4917.42	2015.73	2.44
小叶榕 <i>F. microcarpa</i> *	4630.00	1810.42	2.56
密花树 <i>Rapanea neriifolia</i> *	4603.1	1382.38	3.33
环榕 <i>Ficus annulata</i> *	4433.67	2207.21	2.07
菩提榕 <i>F. religiosa</i> *	4135.41	1568.86	2.64
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i> *	4157.93	1976.98	2.1
铁力木 <i>Mesua ferrea</i> *	3522.51	2059.67	1.71
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i> *	2711.67	606.42	4.47
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i> *	2135.06	1029.92	2.07
吊瓜树 <i>Kigelia africana</i> *	1886.88	602.73	3.13
茶花 <i>Camellia japonica</i> *	1622.22	263.08	5.04
山黄麻 <i>Trema tomentosa</i> **		3774.2	
光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i> **		2152.72	
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i> **		2296	
尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> ***		3375.27	
银柴 <i>Aporosa chinensis</i> **		4201.61	

*, ** 和 *** 同表 2. For *, ** and *** see Table 2.

表4 交通繁忙点叶片铅(Pb)的累积量*(g kg⁻¹ DW)

Table 4 Lead accumulation contents in leaves at heavy traffic density site*

植物名 Species	叶片中铅累积量 Pb in leaves (g kg ⁻¹ DW)
钝叶鱼木 <i>Crateva trifoliata</i>	2.627
印度榕 <i>Ficus elastica</i>	1.673
垂枝榕 <i>F. benjamina</i>	1.670
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	1.412
红花夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	1.301
山木兰 <i>Magnolia delavayi</i>	1.30
尖叶杜英 <i>Elaeocarpus apiculatus</i>	1.240
黄榕 <i>Ficus microcarpa cv. colden leaves</i>	0.998
鹅掌藤 <i>Schefflera arboricola</i>	0.862
红胶木 <i>Tristania conferta</i>	0.737
牛乳树 <i>Mimusops elengi</i>	0.533
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	0.514
高山榕 <i>Ficus altissima</i>	0.496
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	0.467
蝴蝶果 <i>Heritiera parvifolia</i>	0.452
肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	0.405
水石榕 <i>Elaeocarpus hainanensis</i>	0.317
吊瓜树 <i>Kigelia africana</i>	0.253
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	0.224
桃花心木 <i>Swietenia mahagoni</i>	0.190
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	0.101

* 叶片分析样品在污染区生长约 210 d。Leaf samples were collected from plants grown in polluted area for about 210 days.

含量均相差很大,两种污染物含量前者比后者分别高出 4.62 倍和 1.23 倍。从表 2、3 可明显看出,DC 点各种植物叶的硫、氟累积量也分别高于 WX 点 (1.33–9.64 倍和 1.71–5.04 倍),这表明大气污染物浓度高,叶内污染物的累积量也高。应用上可藉叶片中污染物含量指示大气污染水平。如表 2 显示,DC 点比 WX 点的菩提榕、傅园榕、小叶榕、幌伞枫、大头茶、红花油茶有较高水平的硫累积量。WX 点长期生长在污染环境中的抗性强的乡土树种和抗性弱的外来种尾叶桉对大气硫亦有较强的累积能力。

DC、WX 点中除 WX 点的大头茶、吊瓜树和茶花的叶氟累积量未超过 1 000 mg kg⁻¹ DW 外,其余各植物种的叶氟累积量均在 1 000 mg kg⁻¹ DW 以上。累积量最高的种有:傅园榕、小叶榕、密花树、环榕、菩提榕、毛黄肉楠,它们在两个试验点叶氟累积量为 1 810.42–4 630.00 mg kg⁻¹ DW。5 种长期生长在

野外的乡土植物和外来栽培种,它们对氟累积能力更是惊人,如银柴叶氟累积量达 4 201 mg kg⁻¹ DW,山黄麻 3 774 mg kg⁻¹ DW,鸭脚木为 2 296 mg kg⁻¹ DW,它们的叶氟含量分别为对照点(广州,华南植物园)的 14 倍、53 倍和 70 倍,其叶氟含量、累积量都十分高,而叶片仍未见明显伤害症状。若与前人研究结果比较,36 种植物叶片本底氟含量在数十至 200 mg kg⁻¹ DW 范围,在大气含氟化物环境中生活 8 个月,叶氟累积量仅为 181.43–960 mg kg⁻¹ DW^[9]。以上植物称得上为优良的抗性、净化树种。

在广州交通繁忙点(3 号研究地)盆栽 1 a 的植物,在生长季节末(12 月初)取叶龄约 210 d 的叶作分析样品(对照点为 1 号研究地),叶片中铅的累积量见表 4,叶片铅累积量 >1g kg⁻¹ DW 的种有:钝叶鱼木、印度榕、垂枝榕、假苹婆、红花夹竹桃、山玉兰、尖叶杜英。

2.2 植物对大气污染敏感性反应的综合评价

根据研究结果,植物在野外及盆栽试验中对污染的敏感性反应分为三级:抗性强(低敏感性),抗性中等(中等敏感)和抗性弱(高度敏感)。综合评价主要根据两方面,一是植株的生长、生长势和受害状况,这是直观且综合的指标,尤其是在野外调查中最常用。二是对植物体或叶片的各项生理指标测试数据,尤其是后者,因为测定样品均采自没有伤害症状或伤害不明显的叶片,测定结果能反映大气污染在一定时期内对植物机能性的伤害程度,这些指标对大气污染反应较敏感,可为植物抗性分级提供量化指标。但测试样品的可比性条件不易掌握,常受叶龄、生长季节、采样时段和小生境、植株生势等多种因素干扰,影响数据的可比性,在采样和测试时需十分注意。

植物抗性分级标准:

抗性强: 植株生长正常或较正常。顶端优势明显,生长良好,开花结果正常或较正常。在污染点大面积分布范围内只有少数植株或叶片受害。污染点内植物叶片的各项测定值约大于或小于对照点的 50%。

抗性中等: 植株长势中等,枝、芽生长受到抑制,叶片变小或明显变小,较多叶片出现可见伤害症状。但仍可开花结果。污染点内植物叶片各项测定值约小于或大于对照点的 50%–40%。

表 5 各项测定指标在植物抗性分级中相对差异值的比较 *
Table 5 Comparison of measured relative difference values in classification of plant resistance

测量项目 Measuring items	相对差异值水平 ** (%) 及种数 Levels (%) of relative difference values and number of species			相对差异 最劣值 Inferior value of relative difference	平均 Mean	样品数 Number of samples	文献来源 Source of references
	抗性强	抗性中等	抗性弱				
	Most tolerant	Less tolerant	Most sensitive				
综合生长 Growth increment	>50, 15	>30-50, 12	<30, 8	7.12	37.92 ±24.67	35	16
冠幅面积增长 Crown area increment	≥70, 7	<70-40, 8	<40, 20	0	44.26 ±28.70	35	16
净光合速率 Net photosynthetic rate	≥80, 6	<80-50, 11	<50, 22	4.8	54.21 ±29.21	39	17
基茎增长 Basal diameter increment	≥70, 11	<70-50, 13	<50, 11	28.81	62.00 ±20.60	35	16
株高增长 Height increment	≥70, 11	<70-50, 14	<50, 10	12.5	64.22 ±28.65	35	16
叶面积生长 Leaf area increment	≥70, 16	<70-50, 9	<50, 5	4.7	70.47 ±25.55	30	18
光化学效率 Photochemical efficiency	≥90, 18	<90-70, 9	<70, 3	59.05	91.12 ±12.14	30	18
细胞膜渗漏率 Leaf cell membrane leakage rate	≤60, 5	>60-90, 10	>90, 15	147.9	93.20 ±30.26	30	18
叶绿素含量 Chlorophyll content	≥90, 19	<90-70, 8	<70, 3	50.54	97.89 ±26.81	30	18
落叶率 Leaffall rate	<20, 14	>20-60, 9	>60, 15	100	70.48 ±25.93	38	19
新叶增长 Increment of new leaves	≥90, 11	>70-90, 5	<70, 12	12.53	80.76 ±41.66	28	19

* 测定数据来自 WX 点。 All data were obtained from WX site.

** 相对差异值 = $Y_i/Y_o \times 100$, Y_i 代表在污染点所测得的树冠面积(或净光合速率等)数据, Y_o 代表在对照点所测得的相应内容的数据。
Relative difference value = $Y_i/Y_o \times 100$, where the Y_i and Y_o are the data for crown area (or net photosynthetic rate, etc.) obtained from polluted sites (Y_i) and control site (Y_o), respectively.

抗性弱: 植株长势差, 枝或梢干枯, 甚至植株死亡, 叶片普遍出现伤害症状, 大量落叶。开花结果不正常。污染点内植物叶片各项测定值约小于或大于对照点的 40%, 或更小或更大。

根据植株生长和叶片生理指标的各项测定结果进行抗性分级, 除少数种外, 分级标准大致能反映植物对空气污染反应的敏感程度^[16,17,18,19], 这说明必要的生理生态指标可为植物抗性估测提供相对可靠的量化指标(表 5)。

从表 5 各项平均值可看出, 大气污染对植物的影响从生长到生理机能全面起作用。如将生长和机能受影响的程度比较, 除净光合速率外, 生长指标的各项平均值均低于机能性指标平均值。各项生长指标中, 以冠幅生长受影响最明显。

经调查及盆栽试验的各种植物对空气污染的敏感性反应可分为 3 类: 抗性强, 包括有高山榕、环榕、小叶榕、傅园榕、印度榕、至越南山龙眼等 35 种; 抗性中等, 包括有大头茶、腊肠树、仪花、格木、海南红豆至荷木等 40 种; 抗性弱的有马尾松、白兰、深山含笑、石楠、观光木至尾叶桉等 49 种。属抗性强的中等的 76 种植物中有 31 种为目前未被开发或尚少被应用的种, 如石笔木、毛黄肉楠、竹节树、银柴、鸭脚木、山黄麻、越南山龙眼等, 这些都是很有开发前景的抗性植物(见附录)。

3 结论

3.1 植物对大气污染抗性分级的相对性

植物对大气污染的敏感性反应程度和植物与大气污染物接触剂量(浓度×时间)密切相关。在评价

植物对大气污染的抗性时,需同时考虑其所处的大气环境质量和与其接触时间,才能较正确了解某种植物抗性水平。如一种植物在某一环境中表现为抗性强(或中等),而在另一环境中则表现为抗性中等(或强),那就必须考虑到此种植物所在的大气环境污染状况、植物暴露于其中的时间长短以及植物种原有区系分布和生态学习性等因素。

本文评价的 125 种植物并非生长于同一质量的大气环境中,而是根据各组试验和调查地(研究地 1-15 号)各自系统内进行比较分级,因此,植物种抗性级别的划分及其相对性更为明显。本文评选出 35 种抗性强,41 种抗性中等,49 种抗性弱的植物,为不同环境的应用提供参考。

3.2 植物在污染环境中的生长、发育状况是植物抗性评价最重要指标,生理、结构指标为植物抗性预测和机理探索提供依据

植物抗性评价标准最重要的是生长、发育指标,因为在污染环境中植物能持续健康地正常或较正常地生长、发育是植物具抗性的最基本条件,且评价标准形象较易识别。植物生长、发育表现,有赖于其自身生理和结构上的抗逆性和/或适应性的支持,由大气污染物所引起的植物生理指标规律性变化,可为植物种抗性预测和机理探索提供依据,并藉此手段可为抗性植物种类选择提供量化指标。

3.3 试验植物中一些种类对大气硫、氟污染具有很好的净化能力

据对 11 种植物暴露在大气硫酸盐化速率超过国家二级标准 8.64 倍(WX 点)和 39.9 倍(DC 点)环境下生长约 150 d 叶样品分析,叶硫累积量平均达 3.856 g kg^{-1} 和 10.36 g kg^{-1} ,累积量最高的幌伞枫、小叶榕、傅园榕和菩提榕,叶硫累积量达 $12.897 - 16.985 \text{ g kg}^{-1}$ (DC 点),在 WX 盆栽试验点周边生长的乡土植物山黄麻、光叶山矾和鸭脚木叶硫累积量亦达 $10.432 - 14.507 \text{ g kg}^{-1}$ 较高水平。

试验植物及在 WX 点周边长期生长的乡土植物对氟的累积量惊人。11 种盆栽植物在约 150 d 中,叶氟累积量平均为 $1411.22 \text{ mg kg}^{-1}$ (WX 点) - $3523.26 \text{ mg kg}^{-1}$ (DC 点),WX 点野生乡土树种光叶山矾($2152.72 \text{ mg kg}^{-1}$,下同),鸭脚木(2296),山黄麻(3774.2),银柴(4201.61)均有极高累积氟的能力。与以前研究^[9]结果:海芒果(*Cerbera manghas*)、蝴蝶果(*Cleidiocarpon caralerei*) 在大气氟含量超国家二

级标准 47-76 倍环境中生长了 7 个月,其叶片氟累积量为 3690 mg kg^{-1} 和 6500 mg kg^{-1} 相比较,上述种的叶氟累积量虽较低,但这些植物所生长的大气环境氟化物浓度仅超过国家二级标准的 14.7-18.1 倍。据本文研究结果,叶片净化大气硫、氟能力较强,且均属抗性强的种类(WX 点)有:山黄麻、光叶山矾、鸭脚木、银柴、傅园榕、幌伞枫、竹节树和黄花夹竹桃 8 种,它们叶硫累积量为 $12.388 - 19.692 \text{ g kg}^{-1}$,叶氟累积量为 $1645 - 4515.2 \text{ mg kg}^{-1}$ 。这些种属优良的抗性、净化植物,有待今后进一步开发利用。

4 讨论

4.1 大气污染对植物的伤害首先表现为叶片出现生理机能性的不可见伤害,进而发展成可见伤害

在叶片未有出现伤害症状之前,叶绿素荧光参数(Fv/Fm)、叶绿素含量、净光合速率、细胞汁 pH 等均有下降趋势,细胞膜透性增加^[20,22-24]。伤害症状的出现和组织结构上伤害是机能性伤害的继续和延伸。最直接影响植株生长的是光合速率的降低,如 WX 点植物净光合速率比率为 54.21%,影响到叶面积比率,株高增长率、基径增长率随之降低,如在 WX 点上述各项测定分别为对照点(BG)的 70.47%、64.22%和 62.00%,由植株生长状况所决定的冠幅面积增长率就更低(44.26%) (表 5)。

4.2 植株机能性伤害使植物器官和个体生长受到抑制,这种抑制使植物在长时间内不能恢复

在污染点的植物叶片面积,均不同程度地比对照点的要小,WX 点的 30 种植物叶面积平均值仅为对照点的 70.47%,个别种叶面积仅为对照区的 4.7%(表 5)。植物在污染环境中受影响后,再迁至对照点生活,植株的生长势亦难得到恢复。如曾在污染点(WX、DC)生长了 18 周的大头茶,后把它们送到对照点经过 7 个月的生长后,其株高、生长势与一直生长在对照点的植株比较,仍有明显差异,前者仅高 45 cm、65 cm,而后者高 105 cm,且分枝多,长势旺盛^[19]。经受污染的时间虽短暂,但机能的损害影响深远。

4.3 植物对大气污染的敏感性反应存在多种机制

一些叶片容易受害的种类如柳叶楠、华润楠其叶片易出现伤害并脱落,但受害后重新发芽、抽叶能力强^[19],其净光合速率也高(9.5 和 $7.0 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)^[17],但由于多次发芽、抽叶,多次受害,植株营养持续消

耗,直至最后较早死亡,如在 WX 点其综合生长比率属中下(仅为对照的 54.47%和 40.31%)^[16]。可见,净光合速率高并不一定抗性强。由于具有强的萌生能力,在污染剂量未达到致死程度,种的再生能力亦是对环境的一种适应。又如在 WX 点环榕和小叶榕的净光合速率并不高($2.8 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 $4.9 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)^[17],但其综合生长率均属较高水平,分别为对照的 69.29%和 59.72%,达到在参试植物中属抗性强的水平^[16]。此外,它们的细胞液还具有抗性植物所具有高 pH 值。前者 pH 值为 5.60,而后者为 6.64,并且均具有较强的缓冲能力^[24]。植物对大气污染的敏感性,与叶片形态结构亦有一定关系,据初步观察抗性强的植物种,具有较厚的角质层、角质脊纹饰较致密,气孔有复盖物遮盖,气孔数较少(多在 300个 mm^{-2} 以下)的特点(有关叶片结构与抗性文章将另文发表)。由于植物的抗性与植物本身多种因子如生长、生理特性、叶片形态结构特征等有关,而植物种间本身所具有的各种因子千差万别,因此,不可能以绝对的标准去划分抗性级别。较客观和实际的依据还需结合植物在污染环境中考量或不定量的生长和受害状况、生理指标的观测数据和资料。植物在污染现场经受考验的时间越长,结果判定的可靠性就越高。

4.4 植物叶片对污染物吸收、累积和对大气净化的关系

植物叶片对大气污染物的净化作用,有两种途径,一是物理途径,如通过叶片积聚和过滤粉尘、隔音等。另外是生物化学途径,如通过植物挥发性物质杀灭空气中的微生物,而更多的是通过叶片对大气污染物的吸收、转化和累积而收到净化大气的效果。植物对大气中不同质污染物的净化与累积作用不完全相同,这是由于不同化学性质的污染物进入叶片后有着不同代谢途径所致,如大气中的氟被叶片吸收同时又在内部累积^[25],氟化物随蒸腾流以很高的浓度累积在叶尖和叶缘^[26],但它不往下部运送^[27],因此,叶片中累积的氟可视为对空气中氟的净化量。铅的累积情况有些不同,叶组织的 Pb 来源于土壤和空气,如以叶片中 Pb 的累积量代表对大气中 Pb 的净化量,显然不够准确。植物叶片对 SO_2 的净化机理有别于氟和铅,由于硫是植物必需的元素,如半光氨酸、蛋氨酸等,都需要硫参与其组成。有人曾作过试验,把植物暴露于 $^{35}\text{S}\text{O}_2$ 中,试验后很

快发现,98% ^{35}S 以硫酸盐的形式存在于细胞内,15 d 后发现 2.5%在自由氨基酸中,5%在蛋白质中,92.5%以硫酸盐形态存在。 SO_2 被叶吸收后氧化成为植物所能吸收的硫酸盐形态^[28], SO_2 进入叶之后,转化、吸收和积累是同时存在。叶片净化大气 SO_2 的能力强弱,与 SO_2 在叶内的转化、吸收能力有关。显然,以叶片 S 累积量来代表对大气中 SO_2 的净化能力,这比实际的净化能力要低,因为未把转化和吸收的量考虑在内。

4.5 对大气污染不同敏感性反应的植物应用范围

根据目前我国大气环境质量情况,普遍性的污染物是 SO_2 、酸雨、粉尘和 NO_x ,此外还有是燃煤排放出的氟化物(未受到应有重视的污染物)。本研究(包括污染区野生植物调查和盆栽试验)所在地的大气环境正与此类似。相异之处是具有含量较高的氟化物和硫化物,且酸雨酸度和频率均较高。因此,所筛选出的抗性强(35 种)和抗性中等(41 种)的植物有其代表性和实用性。评定为敏感的植物(49 种),在大气环境质量较好的地方,亦存在有选择地加以应用的可能,故在本文将较敏感的种类也一并列出(见附录)。

参考文献

- [1] Liu B J (刘炳江), Hao J M (郝吉明), He K B (贺克斌), et al. Study on designation of acid rain and SO_2 pollution control areas and policy implementation [J]. China Envir Sci (中国环境科学), 1998, 18(1):1-7. (in Chinese)
- [2] Wang Q C (王起超), Shen W G (沈文国), Ma Z W (麻壮伟). The estimation of mercury emission from coal combustion in China [J]. China Envir Sci (中国环境科学), 1999, 19(4): 318-321. (in Chinese)
- [3] Wang Z Y (王祖扬). Steadily pursuing pollutant emission licence system to strengthen control and management of pollution source [J]. Commun Envir Work (环境工作通讯), 1995, (1):19. (in Chinese)
- [4] Huang Q F (黄清风), Chen Y H (陈煜辉). Changes in acid rain pollution in Guangzhou area [J]. Guangzhou Envir Sci (广州环境科学), 1999, 14(2):19-22. (in Chinese)
- [5] Lin Z F (林植芳), Liang C (梁春), Peng C L (彭长连). Effect of human activity on $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in tree rings of *Pinus massoniana* on Dinghushan [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1997, 17(2):124-132. (in Chinese)
- [6] Peng C L (彭长连), Lin Z F (林植芳), Lin G Z (林桂珠), et al. Effect of tourism and industrialization on the atmospheric quality of subtropical forests and on chlorophyll fluorescence of two species of woody plants [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 1998, 40

- (3):270-276. (in Chinese)
- [7] Smith W H. Translated by Wang J X (汪嘉熙). Air Pollution and Forests [M]. Beijing: Meteorological Press, 1986. 243-248, 263-272. (in Chinese)
- [8] Hu D Q (胡迪琴), Lin Y (林原), Liang Y X (林永禧). The influence of fluorine pollution on plants and fruit trees [J]. Guangzhou Envir Sci (广州环境科学), 1997, 12(3):36-39. (in Chinese)
- [9] Kong G H (孔国辉), Wang J X (汪嘉熙), Chen Q C (陈庆诚). Air Pollution and Plants [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1988. 9-23, 222-223, 104, 109. (in Chinese)
- [10] Zheng Y B (郑有斌). The effects of acid deposition on Nansan *Pinus masoniana* forest in Chongqing [J]. Chongqing Envir Sci (重庆环境科学), 1991, 13(25): 41-42. (in Chinese)
- [11] Wen D Z (温达志), Zhou G Y (周国逸), Kong G H (孔国辉), et al. An status report on the effects of acid rain on plants, soils and surface waters of three selected terrestrial ecosystems in lower subtropical China [J]. Chin J Ecol (生态学杂志), 2000, 19(5): 11-18. (in Chinese)
- [12] Yu S W (余叔文), Wang J X (汪嘉熙), Zhu C L (朱成路), et al. An Atlas of Air Pollution on Injured Symptoms of Plants [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1980. 1-15, 34-35. (in Chinese)
- [13] Jiao Y (焦有), Yang Z P (杨占平). Fluorine harm and control [J]. Chin J Ecol (生态学杂志), 2000, 19(5): 67-70. (in Chinese)
- [14] Hu X C (胡羨聪), Zhang D Q (张德强), Kong G H (孔国辉), et al. The effects of SO₂ and fluoride on physio-ecological changes in plant leaves [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4): 372-378. (in Chinese)
- [15] Zhang D Q (张德强), Chu G W (褚国伟), Yu Q F (余清发), et al. Decontamination ability of garden plants to absorb sulfur dioxide and fluoride [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4):336-340. (in Chinese)
- [16] Liu X Z (刘世忠), Xue K N (薛克娜), Kong G H (孔国辉), et al. Effects of air pollution on the growth of 35 garden plants [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11 (4):329-335. (in Chinese)
- [17] 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 Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4): 341-347. (in Chinese)
- [18] Wen X (温学), Kong G H (孔国辉), Liu N (刘楠), et al. Air pollution monitoring by plants and plant resistance [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4): 348-357. (in Chinese)
- [19] Kong G H (孔国辉), Lu Y D (陆耀东), Liu X Z (刘世忠), et al. Injury symptoms of 38 woody species exposed to air pollutants [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4): 319-328. (in Chinese)
- [20] Wen D Z (温达志), Kong G H (孔国辉), Zhang D Q (张德强), et al. Ecophysiological responses of 30 garden plant species exposed to short-term air pollution [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 2003, 27(3): 311-317. (in Chinese)
- [21] Zhang D Q (张德强), Kong G H (孔国辉), Wen D Z (温达志), et al. Analysis of the resistance of garden plants to air pollution and the purification of sulfur dioxide (SO₂) and lead (Pb) by plants [J]. Guangzhou Envir Sci (广州环境科学), 2003, 18(1): 22-25. (in Chinese)
- [22] Peng C L (彭长连), Wen D Z (温达志), Sun Z J (孙梓健), et al. Response of some plants for urban greening to air pollutants [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2002, 10(4): 321-327. (in Chinese)
- [23] Su X (苏行), Hu D Q (胡迪琴), Lin Z F (林植芳), et al. Effect of air pollution on chlorophyll fluorescence characters of two afforestation plants in Guangzhou [J]. Acta phytoecol Sin (植物生态学报), 2002, 26(5):599-604. (in Chinese)
- [24] Liu N (刘楠), Wen X (温学), Kong G H (孔国辉), et al. Preliminary selection of plants with high resistance to SO₂ for urban greening [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 2003, 11(4): 364-371. (in Chinese)
- [25] Jacobson J S, Weinstein L H, Mccune D C, et al. The accumulation of fluorine by plants [J]. J Air pollut Contr ASS, 1966, 16, 412-417.
- [26] Ormrod D P. Pollution in Horticulture [M]. Newyork: Elsevier Scienific Publishing Company, 1978. 16.
- [27] Benedict H M, Ross J M, Wade R W. The disposition of atmospheric fluorides by vegetation [J]. Int J Air Wat Pollut, 1964, 8:279-289
- [28] Mudd J B. Sulfur dioxide [A]. In: Mudd J B, Kozlowski T T. Responses of Plants to Air Pollution [C]. New york: Academic Press, 1975. 16.

附录: 园林绿化植物对大气污染的敏感性反应及其对污染物的积累

Appendix: Sensitivity responses of garden plants to air pollution and pollutant accumulation in plant leaves

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 **** Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
抗性强 Most torelant							
高山榕 <i>Ficus altissima</i>	大乔木	N,C	V	喜光,耐早耐瘠,抗风抗大气污染;树冠广阔,树姿稳健壮观	叶色青绿,在污染特严重地方(4,8),叶缘现棕斑块;一年内叶仍未见伤害(2,3)	S0.05(3), pb0.489(3)	庭园,行道, 工矿区
环榕 <i>F. annulata</i>	大乔木	N,C	V	喜光,耐早耐瘠,速生;树冠圆伞形,树姿美观,叶色翠绿,气根不发达	叶色常年青绿,在严重污染地方及城市交通频繁处常年旺盛生长,常年保持绿树冠,叶受害较少(13,14,3)	S1.644(13), S6.449(14), F2082(13), F4309(14)	庭园,行道
小叶榕 <i>F. microcarpa</i>	大乔木	N,C	V	喜光,耐寒耐湿,耐瘠薄,抗风抗大气污染,耐强度修剪,生长迅速,寿命极长;树冠宽阔,树姿雄伟壮观,绿荫效果极佳,果为鸟类所喜食,并有大量气根入土形似树干,形成“独木成林”景观	叶色青绿,叶面受影响较小,叶面无或极小出现伤害症状(2-11)。试验一年后仍保持有浓密树冠,少数叶片背面有斑点。(13,14)	S0.606(3), S0.522(2), pb0.224(3), S3.284(13), S14.581(14), F4630(14), F1810(13),	庭园,行道, 防风,工矿区
傅园榕 <i>F. microcarpa</i> var. <i>fuyuenis</i>	灌木	C	V	喜光,耐早耐瘠,抗大气污染特强,叶色终年翠绿	试验一年仍保持完好树冠,叶色保持亮绿,叶密,无伤害症状(13,14)	S11.364(13), S15.063(14), F4917(14), F2015(13)	庭园,行道, 工矿区
印度榕 <i>F. elastica</i>	大乔木	E,C	V	喜光,耐半荫,耐早耐瘠,抗风抗大气污染,速生,萌发力强;树冠广阔,树姿优美,叶色终年翠绿	叶色青绿,生长正常,无伤害症状(1)	S0.013(3), pb1.673(3), pb2.685(2)	庭园,行道
菩提榕 <i>F. religiosa</i>	半常绿 乔木	E,C	M-V	喜光,抗风抗大气污染,不耐干旱,速生,萌发力强;树冠广阔,树姿及叶形优雅,绿荫效果好	次年发叶较少,但仍保持清绿的树冠(13,14)	S4.060(13), S16.985(14), F1568(13), F4135(14)	庭园,行道
黄榕 <i>F. microcarpa</i> cv. Golden leaves	灌木	C	V	喜光,耐早耐瘠;叶色金黄,鲜明亮丽	盆栽试验一年,生长正常,无伤害症状(1,2)	S0.020(3), S0.333(2), pb0.998(3), pb0.018(2)	庭园,绿篱, 绿带
对叶榕 <i>F. hispida</i>	小乔木	N	V	喜光,耐早耐瘠,耐水湿	叶色青绿,无伤害症状,生长正常。(4,5,8)		公益林, 护堤
垂枝榕 <i>F. benjamina</i>	乔木	N,C	V	喜光,耐瘠耐潮耐湿耐修剪,不耐干旱,抗风抗大气污染	叶色青绿,无伤害症状(1),盆栽一年,生长结实正常,无伤害症状,叶型稍变小(2,3)	S0.333(3), S0.019(2), pb1.670(3), pb14.722(2)	庭园,行道
五指毛桃 <i>F. hirta</i>	灌木	N	V	喜光,速生,根作药用	叶色青绿,很少出现伤害症状,生长良好(5,8,13)		药用,庭园
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	落叶 乔木	N	V	喜光,喜肥,喜湿,亦耐早瘠、冷和湿,速生,抗大气污染,萌生力特别强	树冠茂盛,但叶色黄绿,受害后叶易脱落,但其萌生力强,短期内又形成新树冠(4,5,8)		公益林, 工矿区

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 *** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
茶花 <i>Camellia japonica</i>	小乔木	N,C	V	喜半荫,耐寒,不耐强光直射,不耐旱瘠,不耐高温;枝叶密生,花大,色彩艳丽,花期特长,名贵木本花卉,抗大气污染力特强	叶色深绿发亮,一年试验中仅少数叶片受害,脱落少,生长、开花正常,是盆栽试验 73 种植物中抗性最强之一(13,14)	S1.551(13), S7.551(14), F321(13), F1622(14)	庭园
红花油茶 <i>Camellia semsierrata</i>	乔木	N,C	V	喜半荫,耐旱,分布于低山丘陵山林中,花多大且鲜红,果硕大,抗大气污染力特强。	叶色深绿发亮,一年试验中仅少数叶片受害,脱落少,生长正常,是盆栽试验 71 种植物中抗性最强之一(13,14)	S4.856(13), S9.653(14), F352(13), F1560(14)	庭园,行道
石笔木 <i>Tuacheria spectabilis</i>	乔木	N	M-V	耐半荫,花白色,大而美丽;叶色泽浓绿光亮,生长快	叶色青绿,发叶多,生长快,一年试验中少数叶受害(13,14)	S10.531(13), F747(13)	庭园,行道
米碎花 <i>Eurya chinensis</i>	灌木	N	M-V	喜光,耐旱,喜酸性土壤,花多,味香,密源植物	叶色青绿,花果多,叶面无伤害症状(4,5,8)		庭园,绿篱,蜜源
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	乔木	N	M	耐半荫,速生,常分布于海拔 500 m 以下山林中	嫩叶较易受害,叶片伤斑面积较大,但萌生力强,速生,次年仍可长成新树冠(13,14)	S3.045(13), F1976(13), F4157(14)	公益林
红花夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	小乔木,灌木	E,C	V	喜光,耐瘠,耐高温,不耐寒,耐海潮,抗风抗大气污染,速生;树冠半球形,盛花时,满树红花鲜艳夺目,优良木本花卉	叶色正常,少受害,生长,开花正常(2,3,4)	S0.641(3), S0.640(2), F2043(13)	庭园,绿带,行道,工矿 区
黄花夹竹桃 <i>Thevetia peruwiana</i>	灌木	E,C	M	喜光,耐湿,耐半荫,抗风抗大气污染,抗病虫害;分枝多,叶茂密,叶色翠绿,花大色艳,花期长	嫩叶和枝梢较易受害,但萌生力较强,翌春生长恢复较快(13,14),可形成新树冠(13)	S9.149(13)	庭园,绿篱,绿带,工矿 区
竹节树 <i>Carallia brachiata</i>	乔木	N	M, V	喜光,干直,叶密,常年亮绿,树形美丽,发芽多,耐旱、瘠,适应性强,喜温暖湿润空气,稍耐阴	在长期污染环境中能较正常生长和自然繁殖,叶型稍变小,现存树可高达 10 m,下层幼树多(13),幼树常见(5,13)	S15.873 (14), F5289(14)	庭园,行道
牛乳树 <i>Mimusops elengi</i>	乔木	E,C	V	喜光,耐旱耐瘠,抗大气污染;叶色翠绿,终年不凋,花有幽香	叶色浓绿亮泽,无伤害症状,生长、开花正常(2,3)	S0.018(3), S0.351(2), pb0.533(3)	庭园
光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	小乔木	N	M-V	喜光,耐半荫,常分布于低丘山林中	在长期污染环境中能正常生长,开花结实,发叶多,且少脱落,叶型稍变小,2-10 m 幼树多(8,13)	S12.453(13), F2152(13)	庭园,公益林,材用
银柴 <i>Aporosa chinensis</i>	小乔木	N	M	树冠广阔,枝、叶密,树干直,喜光,耐半荫,耐旱瘠,适应性强	在长期污染环境中能较正常生长、结实,叶型稍变小,现存树 3-12 m (4,5,13)	F4201(13)	公益林
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	乔木	N	V	喜光,耐荫,不耐寒,喜湿润,不耐干旱,速生;树冠圆伞形,四季常青,花多,清香,蜜源植物,抗大气污染强	叶色浓绿亮泽,甚少伤害,生长开花结果正常,自然繁殖良好(4,5,8,13)	S14.507(13), F2296(13)	庭园,公益林,优良蜜源植物
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	乔木	N,C	M-W	喜光及喜肥湿,不耐寒,不耐旱;树姿幽雅,树冠常呈数层伞状重叠,叶稠密,速生	叶色浓绿亮泽,无伤害症状(7,10),试验一年,仍可形成新树冠,但顶端优势不明显(13,14)	S7.992(13), S12.897(14), F1752(13)	庭园,路树,公益林
鹅掌藤 <i>Schefflera arboricola</i>	半蔓性灌木	N	M-V	耐半荫;叶浓枝密,叶色终年光鲜翠绿	叶色浓绿亮泽,无伤害症状(5,7,8,10),叶稍变小,生长正常(2,3)	S0.103(3), S0.049(3), pb0.862(3)	庭园,盆景

植物种 Species	生活型 Life form	来源* Plant source	生长势** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量**** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	乔木	N,C	M	喜光,耐寒,不耐干旱,抗大气污染,生长缓慢;株形秀丽,树冠园整,花极芳香,著名木本花卉	叶色青绿,新叶易受害,翌春仍可发新枝叶(13,14)。叶先端有块状伤斑出现(7)		庭园,行道,工矿区
扭肚藤 <i>Jasminum elongatum</i>	藤状灌木	N	V	喜光,花洁白,芳香,抗大气污染强	叶色青绿亮泽,多处野外所见叶片极少受害,生长、花果正常,呈大丛分布(4,5,8,13)		庭园
山指甲 <i>Ligustrum sinense</i>	灌木	N,C	M	喜光,耐寒,耐瘠薄,耐修剪,不耐水湿;分枝茂密,盛花期,满树白花如皑皑白雪,甚为美丽	叶色青绿,叶片无伤害症状,生长、开花结果正常(7,8)		庭园,绿篱
扁桃 <i>Mangifera persiciformis</i>	乔木	N,C	M-V	喜光,不耐寒,抗风抗大气污染;树冠球形,枝叶繁茂,根系深直,优良行道树	叶色青绿,叶片无明显伤害症状,但抽叶较少(2,6)	S0.212(3), S0.275(2)	庭园,行道
红车 <i>Syzygium rehderianum</i>	小乔木	N	V	耐半荫	叶色青绿,无伤害症状,能自然繁殖,现存树高 2-5 m(5,8)		公益林
山黄麻 <i>Trema tomentosa</i>	小乔木	N	V	喜光,耐旱耐瘠,适应性广,速生,萌生力强,抗大气污染强	长期在污染环境 中生长,开花结果正常,周围幼树多,萌生能力强,叶受害脱落后新叶易形成新树冠(4,5,8)	S10.432(13), F3774(13)	公益林
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	落叶乔木	N,C	M-V	喜光,耐干旱贫瘠,亦耐寒耐湿,抗风抗大气污染;树冠椭圆状伞形,叶多而密,绿荫效果好	长期在污染环境 中生长亦较正常,叶片易脱落易再生,现存树高 3-7 m(4,8)		庭园,行道,工矿区
桃花心木 <i>Swietenia mahagoni</i>	乔木	E,C	V	喜光,耐旱耐瘠,抗风抗大气污染,生长较慢;树冠半球形,树姿雄伟,叶色终年绿	叶色青绿,无伤害症状,叶型变小,生长正常(2,3,6,11)	S0.681(3), S0.484(2), pb0.190(3)	庭园,行道
海桐花 <i>Pittosporum tobira</i>	灌木	N,C	M-V	喜光,耐荫,耐盐碱,耐寒,耐修剪,抗风;树冠近球形,叶浓绿光亮,花洁白芳香,优良观叶观果植物	叶色青绿,花果正常,叶无伤害症状,但叶型变小,节间缩短(2,3,6)	S0.236(3), S0.115(3), pb0.02(2)	庭园,绿篱,绿带
越南山龙眼 <i>Helicia cochinchinensis</i>	乔木或灌木	N	M-V	喜光,宜温暖湿润环境,但耐旱瘠,干直,树冠大,抗大气污染强	长期在污染环境 中,生长较正常,能自然繁殖,但叶型明显变小(13)		公益林
抗性中等 Less torelant							
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	小乔木	N	V-M	喜光,抗风抗大气污染,不耐旱瘠和严寒;树冠直,分枝多,叶色终年翠绿亮泽,花色洁白,优良木本花卉	叶色青绿,花果正常(9),试验一年,只少数叶片现伤害症状(13,14)	S1.085(13), S10.463(14), F606(13), F2711(14)	庭园
腊肠树 <i>Cassia fistula</i>	落叶乔木	E,C	M-W	喜光,不耐干旱、严寒;树冠椭圆状伞形,花多美丽,果似大型腊肠,优良观花观果植物	叶色黄绿,部分叶有脱绿斑(11),在污染区试验 7 个月,部分或全部嫩叶干枯,但可再发新枝(13,14)		庭园,行道
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	乔木	N	M-W	喜光,喜肥,耐荫,不耐严寒,树型优美,抗风,花多	叶色黄绿,叶型变小,早落(2,3);在污染区试验 7 个月,受害叶 10%-30%或 90%小叶受害(13,14)		庭园,行道,公益林

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 *** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
格木 <i>Erythrophleum fordii</i>	大乔木	N	V-M	喜光, 不耐寒, 喜酸性土壤, 喜肥喜水; 树冠宽阔, 枝叶繁茂, 绿荫效果极佳	叶色青绿, 无伤害(8); 在污染区7个月, 个别株嫩叶全落, 或全株仅留数叶或全株干(13, 14)		庭园, 行道, 公益林
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	乔木	N,C	M	喜光, 喜高温湿润, 耐寒耐半荫, 抗风抗污染, 速生; 树冠圆伞形, 浓绿美观,	部分叶先端干(2, 3, 11); 叶色深绿亮泽, 受害叶10%~60%, 以嫩叶为重(13, 14)	S0.309(3), S0.287(2), S2.701(13), F1121(13)	庭园, 行道, 公益林
亮叶猴耳环 <i>Archidendron lucidum</i>	乔木	N	M	喜光, 稍耐荫	叶色青绿, 现脱绿斑, 现有树可高达3~6 m, 可自然繁殖(8)		庭园, 公益林
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i>	乔木	N	M-W	喜光, 幼树稍耐荫, 枝叶浓密, 树冠宽阔, 树形美丽, 不耐寒, 忌积水, 速生	经7个月试验, 较多叶片受害, 嫩叶多脱落(13), 叶普遍现棕斑, 部分枝芽干(14), 但萌发新叶能力较强	S0.768(13), S6.864(14), F1029(13), F2135(14)	庭园, 行道
长柄银叶树 <i>Heritiera angustata</i>	乔木	N,C	W	喜光, 喜高温多湿, 但耐旱瘠, 树姿清秀, 叶面深绿, 叶背银白色, 夏季开红花	60%叶片受害, 叶尖及叶肉现棕斑(13), 嫩叶全落, 60%植株干枯(14)		庭园, 公益林
红桂木 <i>Artocarpus nitidus</i> subsp. <i>lingnanensis</i>	乔木	N,C	M-W	干直, 树冠宽阔, 叶常年深绿, 喜光, 耐半荫, 不耐干旱和严寒, 宜肥沃湿润土	经7个月试验, 少数嫩叶脱落(13), 但在污染较重处则枝叶全干(14), 但萌发新叶能力较强		庭园, 行道
红胶木 <i>Tristania conferta</i>	乔木	E,C	M-V	喜光, 耐旱耐瘠耐酸, 速生	叶色青绿, 叶尖出现干枯, 树冠稀疏, 但速生, 萌生能力强(2, 3)	S0.252(3), S0.205(2), pb0.737(3), pb1.362(2)	庭园, 行道, 公益林
大叶紫薇 <i>Lagerstroemia speciosa</i>	落叶乔木	E,C	M-V	喜光, 耐半荫, 耐旱耐瘠耐寒, 抗风; 树冠半球形, 叶大而密, 花多而大, 色彩艳丽	叶色青绿, 未见伤害症状, 生长、开花结果正常(7, 9, 10)		庭园, 行道
小叶胭脂 <i>Artocarpus styracifolius</i>	乔木	N	M-W	喜光, 幼树稍耐荫, 枝叶繁茂, 树冠大, 卵形, 干直, 耐旱, 速生	在污染区盆栽7个月, 嫩叶多脱落, 但发新叶多, 仍存绿色树冠(13)或芽叶全脱落(14)	S5.064(13), F2030(13)	庭园, 公益林
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	乔木	N	M-W	喜光, 幼树耐荫, 生长快, 树冠宽阔, 萌生力强, 叶片对大气污染敏感, 常分布低-中海拔杂木林中	叶先端多干枯(8), 在污染区盆栽7个月, 芽多受害后萌生, 新叶多受害(13), 多数枝叶全干(14)		公益林
假柿木姜子 <i>Litsea monopetala</i>	乔木	N	M	喜光, 耐旱, 速生, 分布于丘陵灌丛、疏林中	叶色黄绿, 叶缘块状棕斑(4), 少数叶先端干枯(8), 现存树高4~6 m		公益林
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	乔木	N,C	M-W	喜光, 耐半荫, 耐瘠薄, 耐霜冻, 抗风, 抗大气污染; 树冠伞形, 叶色终年浓绿亮泽, 果数量多, 颜色鲜红夺目, 果期长, 优良观果植物	顶端优势明显, 叶色青绿, 小树多(5, 8), 叶面无伤害症状, 多次落叶, 多次萌生(2, 3), 在污染区盆栽7个月, 大量落叶	S0.270(2), pb0.662(2), S14.526(14), F617(13)	庭园, 行道, 公益林
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	灌木或小乔木	N,C	V-W	喜半荫, 耐荫蔽, 不耐旱严寒; 分枝茂密, 枝叶深绿, 花大而香, 分布于丘陵山地密林或石炭岩山地阔叶林中	叶色亮绿有光泽, 枝叶茂盛, 无伤害(2, 3, 5, 8); 芽、叶经多次受害后萌生, 生长茂盛(13), 全株干枯(14), 甚而芽干, 但萌生力强, 翌春形成新树冠(13, 14)	S2.561(3), F987(2), S0.239(3), S0.488(2), pb0.514(3), pb0.645(2)	庭园

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 **** Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
腺叶野樱 <i>Laurocerasus phaeostica</i>	乔木	N	V	耐荫,喜湿喜肥,干直,树冠大	叶色青绿,无伤害症状,树冠下层干枝多,树高 8 m,胸径约 25 cm(5)		庭园,公益林
火焰木 <i>Spathodea campanulata</i>	乔木	E,C	M-W	喜光,不耐寒,不抗风,日照越充足,开花越多,花期越长;树冠广阔,树姿优雅,绿荫效果好,花橙红色,灿烂夺目,珍贵木本花卉	在污染区盆栽 7 个月,叶片大部分脱落(13),或较多叶片,枝梢,芽干(14),翌春恢复较好,并长成新树冠(14)	S4.888(13), F1667(13)	庭园,行道
复羽叶栲树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	落叶乔木	N,C	M-W	喜光,耐干旱耐寒,抗风,生长迅速,萌发力强;树冠伞形,花金黄灿烂,果期殷红丛丛,优良观花观果植物	在污染区盆栽 7 个月,大部分小叶脱落,芽经多次萌生(13),叶、芽枝全干枯(14),翌春发芽较多,但再次受害,树冠小而叶稀(13,14)		庭园,行道,公益林
猫尾木 <i>Dolichandrone cauda-felina</i>	乔木	N,C	M-W	喜光,稍耐荫,速生,喜肥润土,树冠婆娑浓郁,花大而美丽,果形奇异,酷似猫尾	叶色青绿,叶尖干,少数叶现伤斑(9),叶普遍受害,叶缘背卷(13),全部落叶,芽干(14),翌春新长树冠小,叶稀(13,14)		庭园,行道
灰木莲 <i>Manglietia glauca</i>	乔木	N,C	W	耐荫,速生;树冠伞形,花大而多,花期长	在污染区盆栽 7 个月,大部分芽干,只存少量新叶(13),或大部分枝干枯,翌春枝枯(14),或形成稀疏树冠(13)	S6.23(13)2, F1454(13)	庭园,行道
吊瓜树 <i>Kigelia africana</i>	乔木	E,C	V-W	喜光,喜肥喜湿,耐旱,速生;圆伞形树冠,绿荫效果极佳,花期,一串串长长的花序悬垂,果期,硕大的浆果悬挂树上,经久不落,形态独特奇异	少数叶现伤斑,叶型变小,早落(3);少数嫩叶脱落(13),或叶缘干卷,嫩叶全落(14),翌春可形成新树冠,但叶稀疏(13,14)	F602.6(13), F1886(14), S1.568(3), S1.399(2), pb0.253(3), S3.035(13)	庭园,行道
密花树 <i>Rapanea nerifolia</i>	小乔木	N	M-W	耐荫,枝叶繁茂,树冠广卵形,干直,常生长于山地林中	试验七个月,少数嫩叶,芽枝干(13),或叶全受害脱落,枝干(14)。翌春可长新树冠(13),或少量发新枝(14)	S1.973(13), S8.984(14), F1382(13), F4603(14)	公益林
荷花玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	乔木	E,C	M	喜光,耐寒,不耐瘠薄,不甚耐旱,抗风;树姿艳丽壮健,叶大浓郁,花色洁白如玉,美艳照人,著名木本花卉	叶色暗绿,叶缘略背卷(7)		庭园,行道
九里香 <i>Murraya exotica</i>	灌木	N,C	M	喜光,耐半荫,不耐干旱、严寒,耐强度修剪;树姿优美,四季常绿,花期长,花多而密,芳香四溢,红色浆果艳丽夺目,优良木本花卉	叶色黄绿或偏黄,先端现脱绿斑点(6,8)		庭园,绿篱,绿带
降真香 <i>Acronychia pedunculata</i>	小乔木	N	M	喜光,耐半荫,耐旱,为荒山的先锋种	叶黄绿色,自叶缘出现伤斑(6,7,9)		公益林
三叉苦 <i>Evodia lepta</i>	小乔木	N	M	喜光,速生,耐旱,为荒山的先锋种	叶色青绿,无伤害症状(4,6,9)		公益林

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 *** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i>	小乔木	N,C	M	喜光,耐半荫,不耐旱,不耐寒,萌发力强,耐修剪;枝叶繁茂,叶色翠绿亮泽,果期串串红果形如珊瑚,绚丽可爱	叶色黄绿,叶尖和叶缘出现干焦,叶肉现棕色斑块(8)		绿篱,公益林
大叶榕 <i>Ficus lacor</i>	半落叶乔木	N,C	M	喜光,耐旱耐瘠,抗风;树冠宽阔,绿荫效果好	叶色黄绿,部分叶出现斑块状脱绿(4),或叶缘有大块伤斑(11)		庭园,行道
红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	乔木	N	M	较耐荫,喜肥,喜酸性土壤,不耐寒,不耐旱瘠,忌积水	叶型变小,先端现棕色伤斑,结果少或无结果,株高 3-8 m(8)		公益林
蒲桃 <i>Syzygium jambos</i>	乔木	N,C	M	喜光,喜水湿,不耐旱瘠,抗风;树冠广阔,分枝多,叶色浓绿,花洁白素雅	叶色青绿或黄绿,叶先端多干枯,叶明显变小,但仍开花结果(11)		庭园,行道
土密树 <i>Bridelia tomentosa</i>	小乔木	N	M	喜光,耐半荫,耐旱	叶色清绿,无伤害症状,可开花结实(9)		公益林
蝴蝶果 <i>Cleidiocarpon cavaleriei</i>	乔木	N,C	M	喜光,耐寒;树姿挺拔庄重,枝叶浓密,绿荫效果好	叶色青绿,无伤害症状,叶型较小,但无伤害症状(2,3)	S0.371(3), S0.286(2), pb0.452(3)	庭园,行道
秋枫 <i>Bischofia javanica</i>	乔木	N,C	M	喜光,速生,抗风;树冠圆盖形,树姿壮观,树叶繁茂	叶色青绿,无伤害症状,但叶片早落(2,3)	S0.343(3), S0.266(2)	庭园,行道
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	乔木	N,C	M	喜光,耐半荫,不耐旱瘠,忌积水,速生,抗风;树冠宽阔,树姿雄伟,枝叶茂密,绿荫效果佳	叶色青绿,叶肉有脱绿斑点,叶尖多干(8),叶型明显变小,但无伤害症状(4,8)		庭园,行道,公益林
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	小乔木	N	M	喜光,耐旱耐瘠,抗风,不耐寒;分枝繁茂,树姿优美	叶色黄绿或偏黄,叶尖、叶缘普遍现点斑状伤斑(4,5,8)		庭园,公益林,防火林
阔叶合欢 <i>Albizia lebbek</i>	半落叶乔木	E,C	M	喜光,耐半荫,耐旱耐瘠,抗风,速生,枝叶繁茂,花序形似粉扑,素雅芳香	叶色黄绿,叶面微绉,现脱绿斑,植株生长正常(11)		庭园,行道
木棉 <i>Bombax ceiba</i>	乔木	N,C	M	喜光,耐半荫,耐旱耐瘠,抗风,不耐水湿,速生;花先叶开放,火红的花朵灿烂耀眼,著名木本花卉	叶色黄绿,叶面现点状伤斑,叶型变小,植株生长正常(2,3,7)	S0.889(2)	庭园,行道
多花山竹子 <i>Garcinia multiflora</i>	乔木	N	W	较耐荫,喜温、湿环境,树干直,自然繁殖能力强	叶色青绿亮泽,顶端优势明显,无伤害症状(5,8)		庭园,公益林
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	乔木	N,C	M-W	喜光,喜肥,速生,耐干旱,适应性强,树冠圆锥状塔形,花洁白芳香,花多而花期长,优良木本花卉	试验 18 周,少数叶先端干,个别株全落叶(13),叶全落,枝、芽干枯(14);翌春生成稀疏树冠		庭园,行道,公益林
荷木 <i>Schima superba</i>	乔木	N	M	喜光,耐寒,抗风;树姿挺拔,叶色四季葱绿,叶质厚,耐火烧,优良防火树种	叶色黄绿,叶尖叶缘大块褐斑或干枯,叶明显变小,枯株多(8)		庭园,公益林,防火林
抗性弱 Most sensitive							
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	乔木	N	W	喜光,耐旱耐瘠,对空气污染十分敏感	本种是公认的敏感植物,叶枯黄脱落,枯树,死树普遍(8)		公益林,水源林

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 **** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
白兰 <i>Michelia alba</i>	乔木	E,C	M-W	喜光,耐半荫,不耐旱不耐寒;树干通直,分枝繁茂,树冠圆锥形,花洁白芳香,花多而花期长,优良木本花卉	叶色黄绿,叶尖叶缘干,叶面内卷,甚者芽枝干枯(6,9,10)		庭园,行道
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	乔木	N,C	W	喜光,喜排水良好酸性土壤,但适应性强;树冠圆锥状伞形,花洁白芳香,花多而花期长,优良木本花卉	试验 18 周,约 40%叶片受害,脱落(13),或全部叶尖干卷,个别株死(14)。翌春死亡(14),或少量发芽(13)	S0.563(3), 1.426(2), pb0.467(3)	庭园,行道, 公益林
石楠 <i>Photinia serrulata</i>	灌木, 小乔木	N	W	长于山地林中,耐旱,生长较慢	试验 18 周,40%叶片干枯(13),个别植株主干尚绿,多数植株干枯,翌春少数株可发芽(14)		公益林
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	乔木	N	W	喜光,喜酸性土壤,不耐早瘠;树干通直,枝繁叶茂,花芳香	试验 18 周,新叶全落,个别枝芽干枯(13),叶、芽全干(14)		庭园,行道, 公益林
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	乔木	N,C	W	耐荫,速生,喜深厚沙壤土;树冠卵形	试验 18 周,个别植株新叶全落,芽、枝干枯(13),叶全落,枝芽干(14);翌春少量发芽(13)或已死亡(14)	S3.841(13), S4.560(13), F1676(14)	庭园,行道, 公益林
红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	乔木	N	W	耐荫;花大,芳香,常分布于高丘陵林中	试验 16 周,30%叶片干卷,枝梢干枯(13),50%叶片脱落,枝梢及部分株干枯(14)	S21.093(13), F1536(13)	庭园,行道
华杜英 <i>Elaeocarpus chinensis</i>	小乔木	N	W	喜光,耐早瘠,常分布于常绿林中	两处试验地植株全死亡(13,14)		公益林
山玉兰 <i>Magnolia delavayi</i>	乔木或 灌木	N	W	喜光,喜温凉和湿润气候,耐旱耐瘠耐寒,叶色浓绿,花大芳香,良好木本花卉,分布于低山阔叶林中	试验 18 周,70%叶片干枯(13),全部植株死亡(14)	S0.296(3), S0.092(2), pb1.300(3), pb1.530(2)	庭园
醉香含笑 <i>Michelia macclurei</i>	乔木	N,C	W	喜光,速生,耐旱耐寒;树冠圆伞形,宽阔,花洁白芳香,多而花期长,分布于丘陵-低山密林中	试验 18 周,10%-20%叶片受害,嫩叶多干卷,叶型变小(13),50%-70%叶干卷,枝梢干枯(14)		庭园,行道, 公益林
阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	乔木	N,C	M-W	喜光,适应性强,耐寒,抗风;树冠圆球形,树形优美,花朵洁白芳香	调查区内植株叶尖、叶缘普遍出现伤斑,叶型变小(4,5,8)		庭园,行道, 工矿区
绒楠 <i>Machilus velutina</i>	乔木	N	W	耐半荫,耐干旱瘠薄,萌生力强	叶尖、叶缘干,部分叶片叶缘呈块状脱落(8)		公益林
柳叶楠 <i>Machilus salicina</i>	小乔木	N	W	耐荫,耐湿,常生于河岸灌丛中	试验 18 周,98%叶受害,个别株全落叶(13),芽普遍干枯,甚而全株干萎(14);翌春生成稀疏树冠(13)		护岸
赤果鱼木 <i>Crateva adansonii</i> subsp. <i>trifoliata</i>	乔木	N,C	W	喜光,耐旱耐湿;花色变化大,雅致美观	落叶季节比对照早,叶缘干枯(3)		庭园,行道
白木香 <i>Aquilaria sinensis</i>	乔木	N,C	W	喜光,耐荫,抗风,速生;分枝繁茂,干直,树姿优雅,花芳香,蒴果形态奇特	试验 18 周,叶片普遍脱落,90%芽、枝干萎(13),全株干枯(14)		庭园, 公益林

植物种 Species	生活型 Life form	来源* Plant source	生长势** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量*** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
印度第伦桃 <i>Dillenia indica</i>	小乔木	E,C	W	喜光, 不耐寒, 抗风, 速生; 树冠开展, 树姿优美, 叶色翠绿, 叶形及花均颇美丽	90%叶现大块棕斑, 手感干, 叶脆易碎(11); 全株死亡(13, 14)		庭园, 行道
方枝蒲桃 <i>Syzygium tephrodes</i>	灌木或 小乔木	N	W	耐荫, 枝叶浓密, 幼叶粉红, 十分艳丽	几近全部叶片受害, 叶先端或全叶干(13), 叶片全干, 部分植株主干干枯(14)		庭园, 公益林
肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	乔木	N,C	W	耐荫, 速生, 花多, 果熟时由淡红变深红, 十分美丽	试验 16 周, 全部叶片先端干枯(13), 枝梢及部分植株主干干枯(14); 翌春少量发芽(13)	S0.458(3), S0.14(2), pb0.405(3), pb0.283(2)	庭园, 行道, 公益林
窿缘桉 <i>Eucalyptus exserta</i>	乔木	E,C	W	喜光, 抗风, 速生, 耐旱, 极不耐污染	叶先端、叶缘普遍现伤斑, 甚而干卷(4, 5, 8, 9), 或全片林木死亡(13)		公益林
艳榄仁 <i>Terminalia superba</i>	落叶 乔木	E,C	W	喜光, 耐半荫, 耐湿, 速生, 抗风	试验 16 周, 对照区植株在大量发新叶, 试验区植株全部死亡(13, 14)		庭园, 行道
水石榕 <i>Elaeocarpus hainanensis</i>	乔木	N,C	W	喜半荫, 喜湿, 不耐干旱, 不耐寒, 抗风; 树冠圆锥形, 分枝多而密, 花期长, 花洁白美观, 优良木本花卉	试验 16 周, 对照区植株在大量发新叶, 试验区植株全部死亡(13, 14)	S0.877(2), pb0.317(3), pb0.754(2)	庭园, 行道
尖叶杜英 <i>Elaeocarpus apiculatus</i>	乔木	N,C	W	喜光, 不耐旱瘠, 抗风, 速生; 树冠塔形, 树姿优美, 优良木本花卉	试验 16 周, 叶片全落, 个别株死亡(13), 全部植株死亡(14)	S0.121(3), pb1.240(3), pb1.320(2)	庭园, 行道
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	乔木	N,C	W	秋冬叶色变红, 十分美丽, 常生于中海拔阔叶林中	试验 16 周, 多数植株叶片全落, 但仍继续发新芽(13), 全部植株干枯(14)		庭园, 公益林
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i>	乔木	N,C	W	喜光, 耐半荫, 生长极慢	试验 18 周, 叶普遍受害, 嫩叶全落, 但仍存绿树冠(13), 全部叶片受害, 芽干(14); 翌春长叶少量(13)		庭园, 行道, 护岸
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	乔木	N,C	W	喜光喜湿, 不耐干旱早寒, 抗风; 树冠广阔, 树姿优雅, 夏秋花果鲜红艳丽, 颇为美观	叶色黄绿, 叶缘现块状干枯(2, 3)	S1.157(3), S0.923(2), pb1.412(3)	庭园, 行道
大红花 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	灌木	E,C	M	喜光, 耐半荫, 不耐寒, 不耐旱瘠, 花期长, 花大色艳, 花多, 优良木本花卉	叶色黄绿, 叶面皱曲不平, 叶型变小, 多次落叶后多次萌生, 但能正常开花(2, 3, 7)		庭园, 绿篱, 绿带, 工矿 区
孔雀豆 <i>Adenanthera pavonina var. microsperma</i>	落叶 乔木	N,C	W	喜半荫, 喜肥, 速生; 树姿秀丽, 叶色翠绿, 种子鲜红光亮, 甚为美丽	试验 16 周, 叶色黄绿, 10%小叶先端干(13), 90%小叶脱落, 枝梢普遍干枯(14); 翌春死亡(13, 14)		庭园, 公益林
凤凰木 <i>Delonix regia</i>	落叶 乔木	E,C	W	喜光, 不耐旱瘠, 不抗风, 速生; 树冠广伞形, 树姿优雅, 花红似火, 甚为美观	试验 16 周, 叶色偏黄, 约 30%叶片脱落, 嫩叶先端多干枯(13), 叶片大部分脱落, 枝梢干(14); 翌春死亡(13, 14)		庭园, 行道
粉花决明 <i>Cassia nodosa</i>	落叶 乔木	E,C	W	喜光, 不耐寒, 树冠广阔, 花期长, 花色艳丽, 果形奇特, 优良木本花卉	试验 16 周, 70%叶片脱落(13), 除茎基部保持绿色, 其余全已干枯(14); 翌春死亡(13, 14)		庭园, 行道

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 *** ²⁾ Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
铁刀木 <i>Cassia siamea</i>	落叶 乔木	N,C	W	喜光,耐旱,抗风,不耐寒;树冠广阔,花香,颜色金黄,优良木本花卉	试验 16 周,90%叶片脱落,枝梢干枯(13),除株干部分存绿色,其余全干枯(14)		庭园,行道
台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	乔木	N,C	W	喜光,耐半荫,耐旱耐瘠,抗风,速生;树冠开阔,花期金黄色的花序艳丽夺目	在调查区内普遍出现伤害,主要表现为落叶,枝枯,死亡植株普遍(8)		庭园,行道, 防风林
软荚红豆 <i>Ormosia semicastraca</i>	乔木	N	W	喜光,花冠洁白,种子鲜红,相当艳丽	40%叶片受害,多为嫩叶干枯(13),多数植株干枯,或死亡(14);翌春长嫩叶数片(13)		庭园, 公益林
印度紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	乔木	E,C	W	喜光,速生,耐旱,抗风;树冠广阔,枝叶繁茂,绿荫效果好	试验 18 周,多数植株经多次伤害后仍在继发新叶(13),全部植株已干枯(14);翌春少量发叶(14)		庭园,行道
阿丁枫 <i>Altingia chinensis</i>	乔木	N	W	喜光,耐半荫,常生于山地常绿林中	试验 16 周,受害叶约 20%,多为叶尖干枯(13),枝梢全干,仅存绿色基干部分(13,14);翌春长新叶数片(13)		庭园, 公益林
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	落叶 乔木	N	W	喜光,耐旱耐瘠耐寒,抗风,速生,耐火烧;叶色季相变化明显,为优良“红叶”植物	调查区内植株普遍受害,叶型明显变小;树冠叶片稀疏,死亡株常见(8),枝梢干枯,试验 16 周落叶(13),枝梢全干枯,仅留绿色基干(14)		庭园,公益 林,防火林
杨梅 <i>Myrica rubra</i>	乔木	N	W	喜光,耐半荫,萌芽力强;树冠球形,枝繁叶茂	两处试验地植株全死亡(13,14)		庭园,公益 林,防火林
苦楝 <i>Melia azedarach</i>	乔木	N	W	喜光,耐旱耐瘠耐湿耐盐碱,速生	叶色黄绿,叶片多脱落,存留叶多现脱绿斑点,部分枝芽干枯(6,7)		庭园,行道, 公益林
香椿 <i>Toona sinensis</i>	落叶 乔木	N,C	W	喜光,喜肥,速生	试验 16 周,全部植株死亡(13,14)		庭园,行道, 公益林
无患子 <i>Sapinus mukorossi</i>	落叶 乔木	N	W	喜光,耐半荫,耐寒,不耐旱,抗风;树冠圆伞形,绿荫效果佳	试验 16 周,50%叶片受害,脱落(13),除主干绿色外,其余枝条均已干枯(14)		庭园,行道, 公益林
人面子 <i>Dracontomelon duperreanum</i>	乔木	N,C	W	喜光,耐寒,不耐干旱,抗风,树冠圆伞形,树姿优美,叶色四季翠绿,绿荫美化效果好	试验 16 周,对照区植株正在大量发叶,试验植株全部干枯(13,14)		庭园,行道
大果安息香 <i>Styrax macrocarpus</i>	乔木	N	W	耐荫,常分布丘陵林中或河谷地	试验 16 周,多数植株仅存叶数片,个别植株死亡(13),多数植株枝梢干枯(14)		庭园, 公益林
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	落叶 乔木	N,C	W	喜光,速生;树冠阔大婆娑,夏季枝叶繁茂	试验 16 周,枝梢多已干枯(13),多为植株下部茎干保持绿色,其余部分干枯(14)		庭园,行道, 公益林
糖胶树 <i>Alstonia scholaris</i>	乔木	N,C	W-M	喜光,树冠塔形,树形美观	试验 16 周,两试验地全部植株死亡(13,14);叶色青绿,叶子明显变小(3,6,11)		庭园,行道
黄蝉 <i>Allamanda schottii</i>	灌木	N,C	M	喜光,不耐干旱、严寒;枝叶繁茂,盛花期花多而密,花色明雅艳丽,优良木本花卉	试验 16 周,叶色青绿(2),黄绿(3),叶尖干,多次落叶后再萌生(2,3)		庭园,花篱

植物种 Species	生活型 Life form	来源 * Plant source	生长势 ** Growth vigour	特性 Habit and characteristics	敏感性反应 ¹⁾ Sensitivity responses	叶片污染物 累积量 ^{***2)} Accumulation levels of pollutants in leaves	适用范围 Suitable for
蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	落叶乔木	E,C	W	喜光,喜高温干燥气候,耐旱,抗风,不耐寒;树冠伞形,花先叶开放,盛花期,满树蓝花绽开,艳丽清秀,为珍奇木本花卉	试验 18 周,全部植株干枯(13,14)		庭园,行道
铁力木 <i>Mesua ferrea</i>	乔木	E,C	W	喜光,喜肥,较速生;树形优美,叶初时红色,非常优美	试验 18 周,80%叶片受害,多落叶,但仍在发新叶(13),枝叶全干,大量脱落(14);翌春少量发叶(13)	S2.888(13), F2059(13), F3522(14)	庭园,行道
无忧树 <i>Saraca chinensis</i>	乔木	N,C	W	喜光,喜肥,不耐干旱,不耐寒;树冠椭圆状伞形,树姿雄伟,叶大翠绿,花期长,花序大型,花多而密,盛花期花满枝头,红似火焰,甚为美丽	试验 18 周,90%小叶受害,嫩叶受害多,但仍存绿色树冠(13),多数叶、芽已干(14);翌春少量发叶(13)	S4.353(13), F1612(13)	庭园
刺果番荔枝 <i>Annona muricata</i>	乔木	N,C	W	喜光,原产热带美洲,现亚洲热带地有栽培	经 16 周试验,10%叶片受害,叶尖干卷或叶脱落(13),90%叶片脱落,个别植株干枯,翌春少量发叶(14)	S16.128(13), F2167(13)	庭园,材用,紫胶虫寄主树
尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i>	乔木	E,C	W	喜光,速生,耐旱耐瘠	受害普遍,叶片先端,叶缘现大块状伤斑,较多大树死亡(13)	S13.331(13), F3375(13)	行道,公益林

*N: 乡土植物 Native species; C: 栽培植物 Cultivated plant; E: 外来植物 Exotic species.

** 生长势分为 3 级:旺盛(V),中等(M),衰(W)。Growth vigor are classified into three categories: vigorous (V), moderate (M), weak (W)

*** 单位: S, Pb 累积量的单位为 g kg⁻¹DW; F 的单位为 mg kg⁻¹ DW。Units of accumulation content of S and Pb are g kg⁻¹DW, and that of F is mg kg⁻¹ DW.

1) 括号内阿拉伯数字为研究地代号(见表 1),表示某种植物的敏感性反应的记录,或污染物含量分析样品源于某研究地。Arabic numerals in the brackets are code numbers of environments and sites (see Table 1), to show the record of the sensitivity responses of the plants concern or to indicate the environment and site where the samples were collected for analysis of pollutant content.

2) 研究地 2、3、13、14 植物叶片中污染物累积量 = 污染区叶片中污染物含量 - 相对清洁区叶片中的污染物含量。Accumulation of pollutant contents in plant leaves in study sites of 2,3,13 and 14 is expressed as pollutant content in leaves at polluted site minus that at relatively clean