

大气污染对 35 种园林植物生长的影响

刘世忠¹ 薛克娜² 孔国辉¹ 胡羨聪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 528000)

摘要:对广东省佛山市大气监测的结果表明,酸性硫化物和毒性氟化物是陶瓷工业产生的主要污染物质。采用现场盆栽试验方法,比较分析了生长在佛山市陶瓷城附近高浓度 SO₂ 和氟化物大气污染环境下的 35 种园林绿化植物的株高、基径、冠幅等生长指标的差异,并采用综合生长指标评价方法对参试植物进行相应的抗性分级,选出 8 种抗性植物(铁冬青、菩提榕、环榕、仪花、小叶榕、红花油茶、幌伞枫、白桂木),17 种中等抗性植物(小叶胭脂、腊肠树、毛黄肉楠、红桂木、茶花、吊瓜、火焰木、铁力木、柳叶楠、猫尾木、灰莉、密花树、海南红豆、复羽叶栎树、灰木莲、大头茶、印度紫檀),8 种敏感植物(华润楠、海南木莲、格木、日本杜英、蓝花楹、观光木、蝴蝶树、白木香、乐昌含笑、无忧树)。

关键词:大气污染;园林植物;生长;抗性;陶瓷工业;

中图分类号:X503.235

文献标识码:A

文章编号:1005-3395(2003)04-0329-07

Effects of Air Pollution on the Growth of 35 Garden Plants

LIU Shi-zhong¹ XUE Ke-na² KONG Guo-hui¹ HU Xian-chong² LU Yao-dong² WU Zhi-yang²

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

2. Foshan Institute of Forestry Science, Foshan 528000, China)

Abstracts: Air monitoring data showed that acidic sulfate and toxic fluoride were the major source of pollutants from ceramic industry in Foshan city, Guangdong Province. Thirty-five garden plant species were grown in pots at two polluted sites near ceramic factories and a relatively clean site as control to measure the growth of plant height, basal diameter, crown cover, and the complex growth rate as indexes of pollution tolerance of the species. One to two-year-old seedlings incubated in pots for about 5 months of exposure to air pollutants were examined. The results indicate that all the species tested can be grouped into three types: I. tolerant species (*Ilex rotunda*, *Ficus religiosa*, *Ficus annulata*, *Lysidice rhodostegia*, *Ficus microcarpa*, *Camellia semiserrata*, *Heteropanax fragrans*, *Artocarpus hypargyreus*); II. middling tolerant species (*Artocarpus styracifolius*, *Cassia fistula*, *Actinodaphne pilosa*, *Artocarpus nitidus* ssp. *lingnanensis*, *Camellia japonica*, *Kigelia africana*, *Spathodea campanulata*, *Mesua ferrea*, *Machilus salicina*, *Dolichandrone caudafelina*, *Fagraea ceilanica*, *Myrsine seguinii*, *Ormosia pinnata*, *Koelrcuteria bipinnata*, *Manglietia glauca*, *Gordonia axillaries*, *Pterocarpus indicus*); and III. sensitive species (*Machilus chinensis*, *Manglietia hainanensis*, *Erythrophloeum fordii*, *Elaeocarpus japonicus*, *Jacaranda mimosifolia*, *Tsoongiodendron odorum*, *Heritiera parvifolia*, *Aquilaria sinensis*, *Michelia chapensis*, *Saraca chinensis*).

Key words: Air pollution; Garden plant; Growth; Resistance; Ceramic industry

陶瓷工业是广东省佛山市的传统产业和经济支柱产业之一,目前,佛山拥有陶瓷生产企业 350 多家,总产值超过 200 亿,约占该市国民生产总值的

1/5^[1]。陶瓷业在创造巨大经济效益的同时,由于消耗大量的燃料,产生大量的大气污染物,主要为硫化物、氟化物、粉尘等。据佛山市南海区环保局统计资

收稿日期:2003-07-07 接受日期:2003-08-08

基金项目:佛山市科学技术局科技发展专项资金(0102007A)资助

料,2001年南海区煤炭消耗总量为 1.01 Mt, 燃油消耗总量为 1.20 Mt, 燃料燃烧产生工业废气 345.6 亿标 m^3 , 排放二氧化硫 42 185 t, 烟尘 5 333 t, 工业粉尘排放量 1 605 t, 陶瓷业和火力发电业为主要排污行业^[2]。由此产生的诸多环境问题已成为制约南海以及佛山地区经济良性发展和严重危害居民健康的主要因素之一。

利用植物对大气污染物的吸附、吸收、转移等净化能力作为防治空气污染的一种有效的补充措施,正日益为人们所重视和利用,其前提是利用科学的方法,筛选出抗性较强的植物。以往较多采用熏气等方法观测单一大气污染物质对植物的伤害程度来确定植物的抗性等级^[3-7],或者通过一个或多个生理指标的测定来评价植物的抗性^[8-11],但前者模拟大气污染环境,试验结果无法直接应用于真实复杂的实际环境,而后者则需要配备高精仪器设备,研究条件受到一定的限制。利用污染现场栽培,观测植物在复合大气污染环境下的生长差异来筛选抗性植物,少见报道^[12],而且利用这种方法筛选出的抗性植物可以不再经过中试,直接应用于污染地区的园林绿化,因此具有一定的现实可行性。

本文通过研究植物在高浓度 SO_2 和氟化物大气污染环境下的生长差异,采用综合生长指标评价方法对参试植物进行相对抗污染能力分级。建议将其中抗污染能力强的植物种类,推广应用到佛山地区及其它类似的污染地区的园林绿化工程中,从而有效地改善当地人民群众的生产生活环境,增加城市园林绿化植物的多样性和选择性。

1 试验地环境概况

试验在大气污染强度不同的 2 个地点进行:五星试验点(WX),位于佛山市南海区五星,附近有多家大型陶瓷厂,代表典型污染区;东村试验点(DC),位于佛山禅城区东村,紧靠陶瓷生产车间,周围陶瓷生产企业众多,代表重度污染区;同时选取广州华南植物园(BG)作为相对清洁区对照点。据试验期间现场监测,五星点和东村点的硫酸盐化速率和氟化物含量分别达 $2.160 \text{ mg SO}_3 \text{ 100 cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $44.131 \text{ } \mu\text{g F 100 cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $9.978 \text{ mg SO}_3 \text{ 100 cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $54.368 \text{ } \mu\text{g F 100 cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$,分别为对照点的 15.21 倍、17.43 倍和 70.26 倍、21.47 倍。可见两污染试验点的大气污染情况都非常严重,尤以东村点为甚,两污染点的主要污染物均是源于陶瓷工业的酸性硫化

物和氟化物。

表 1 2002 年 6-10 月各试验点部分大气污染物监测结果
Table 1 The concentration of air pollutants at different experimental sites (average from Jun. to Oct., 2002)

试验点 Test sites	硫酸盐化速率 ($\text{mg SO}_3 \text{ 100cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) Sulfation rate	氟化物 ($\mu\text{g F 100cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) Fluoride content
华南植物园 South China Botanic Garden (BG)	0.142±0.101	2.532±0.817
五星 Wuxin (WX)	2.160±0.523	44.131±16.463
东村 Dongcun (DC)	9.978±1.205	54.368±11.303

2 材料和方法

试验材料 试验植物 35 种,全部为乔木或小乔木。每个试验点每种植物 5 个重复,苗木苗龄为 1-2 a 生,个别种为无性繁殖。试验植物于 2002 年 3-4 月上盆,栽培土壤、施用肥料一致,置于佛山市林业科学研究所(南海区小塘镇)内统一管理,待苗木生长稳定正常后,于 2002 年 6 月 3 日-6 日先后将试验苗木送至五星、东村和对照点华南植物园进行盆栽摆放。为使每种参试植物在试验地内所处的小生境尽可能一致,以消除因不同位置、不同风向对植物影响的差异,盆苗摆放时,不同种类分散摆放,同一种的 5 个重复植株在场地内呈梅花型分布。试验期间各试验点进行一致的水肥管理。

测定 记录每株植物的基径、株高、冠幅等。第一次测定在苗木进入试验场地前 2-3 d 完成,第二次测定在当年生长季节将结束时(2002 年 10 月 25 日)进行。

数据处理和植物生长状况评价方法 以相对清洁区华南植物园的净增长量(株高、基径、冠幅)为基数(100%),以污染区测定的相应数值与之相比,得出污染区各项生长量比值,表示污染区植物相对于清洁区植物的相对生长优劣程度。计算方法为:

$$R = I_p / I_c \times 100\%$$

式中 R 为污染区植物的株高(或基径、或冠幅)增长量相对于清洁区增长量的比值; I_p 为污染区植物的株高(或基径、或冠幅)增长量; I_c 为相对清洁区植物的株高(或基径、或冠幅)增长量。生长量比值越大,表示参试植物在污染区生长受影响程度越小。

3 结果和分析

3.1 植株高增长量

由表2可见,五星点株高增长比值大于60%的有:幌伞枫、腊肠树、灰莉、复羽叶栾树、火焰木、铁力木、环榕等18种植物,且前4种植物的增长比值甚至大于100%,小于30%的只有蝴蝶树、无忧树2种,其余15种则介于30%至60%之间;东村点所有植物株高增长比值均小于100%,大于60%的只有腊肠树、环榕、幌伞枫、猫尾木、菩提榕5种,介于60%至30%之间的有铁冬青、火焰木、毛黄肉楠等17种,小于30%的则有格木、蝴蝶树等13种,格木、蝴蝶树、白木香3种甚至小于10%。结果表明,

五星点有18种植物株高生长未受较大的影响,而东村则只有5种。至于受大气污染影响较大,株高生长明显受抑制的,五星只有2种,而东村则达13种之多,由此亦反映出东村点大气污染明显比五星严重。

3.2 植株基径增长量

由表3看出,五星点植物基径增长比值大于60%的有红花油茶、红桂木、白桂木、毛黄肉楠、环榕等17种,其中红花油茶大于100%,而小于30%的只有观光木1种,其余17种介于30%~60%。东村点基径增长比值大于60%的则有环榕、红花油茶、小叶榕、幌伞枫等11种,其中环榕、小叶榕、红花油

表2 3个试验点的植株高增长量
Table 2 Increment of plant height(cm) from the beginning of June to 25 October

种类 Species	植物园对照点 BG site	五星 WX site		东村 DC site	
	增长量 Increment (Control)	增长量 Increment	增长比值 %	增长量 Increment	增长比值 %
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	21.80±3.56	35.20±14.86	161.47	15.80±4.09	72.48
腊肠树 <i>Cassia fistula</i>	13.40±8.41	16.40±14.98	122.39	12.60±16.73	94.03
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	17.80±8.41	19.40±13.61	108.99	3.60±4.34	20.22
复羽叶栾树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	34.40±8.79	36.40±5.98	105.81	16.60±5.22	48.26
火焰木 <i>Spathodea campanulata</i>	60.40±18.31	58.00±4.18	96.03	33.40±4.04	55.30
铁力木 <i>Mesua ferrea</i>	9.80±9.26	8.00±6.67	81.63	4.80±5.02	48.98
环榕 <i>Ficus annulata</i>	74.80±18.21	58.40±22.91	78.07	57.80±14.60	77.27
红桂木 <i>Artocarpus nidus ssp. lingnanensis</i>	81.20±17.34	62.00±2.00	76.35	34.80±13.70	42.86
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	52.00±9.41	39.40±15.18	75.77	30.80±12.83	59.23
格木 <i>Erythrophloeum fordii</i>	10.60±8.47	7.80±7.05	73.58	0.20±0.45	1.89
柳叶楠 <i>Machilus salicina</i>	39.60±4.28	28.40±8.59	71.72	17.00±8.97	42.93
猫尾木 <i>Dolichandrone cauda-felina</i>	71.80±20.69	47.80±7.46	66.57	49.60±18.88	69.08
密花树 <i>Rapanea nerrifolia</i>	20.80±6.38	13.60±7.13	65.38	10.00±6.20	48.08
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	65.00±15.48	42.40±24.75	65.23	7.00±6.00	10.77
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i>	71.20±14.43	44.60±6.88	62.64	26.20±7.98	36.80
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	62.40±13.76	39.00±12.94	62.50	20.00±7.25	32.05
吊瓜 <i>Kigelia africana</i>	57.80±31.31	35.40±27.96	61.25	9.60±10.14	16.61
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	60.33±12.66	36.67±15.70	60.77	21.67±17.62	35.91
灰木莲 <i>Manglietia glauca</i>	58.20±18.69	34.60±12.26	59.45	22.40±11.97	38.49
茶花 <i>Camellia japonica</i>	15.20±7.40	8.80±7.79	57.89	4.20±4.76	27.63
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	58.00±12.98	33.40±12.22	57.59	30.80±9.93	53.10
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	36.40±16.38	20.40±9.29	56.04	5.20±3.42	14.29
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	38.40±12.28	21.00±15.56	54.69	9.60±7.23	25.00
小叶胭脂 <i>Artocarpus styracifolius</i>	108.00±16.42	57.20±31.28	52.96	32.80±13.26	30.37
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	45.00±15.87	23.40±10.31	52.00	16.60±7.60	36.89
菩提榕 <i>Ficus religiosa</i>	58.80±53.90	26.20±8.14	44.56	35.40±33.65	60.20
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	22.00±12.35	9.80±6.10	44.55	10.40±7.23	47.27
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	56.40±16.77	25.00±8.19	44.33	25.80±10.85	45.74
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	75.20±16.51	32.60±8.62	43.35	9.40±4.98	12.50
白木香 <i>Aquilaria sinensis</i>	75.00±4.36	30.00±9.92	40.00	7.20±8.93	9.60
印度紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	104.20±38.73	37.00±12.00	35.51	44.20±13.46	42.42
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	33.40±5.60	11.60±12.86	34.73	9.80±11.86	29.34
蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	78.00±6.44	26.40±4.62	33.85	18.40±10.38	23.59
无忧树 <i>Saraca chinensis</i>	30.40±17.94	8.40±5.32	27.63	4.60±9.74	15.13
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i>	33.60±6.35	4.20±2.59	12.50	1.40±1.67	4.17

表 3 3 个试验点的植株基径增长量
Table 3 Increment of basal diameter (cm)

种类 Species	植物园对照点 BG site	五星 WX site		东村 DC site	
	增长量 Increment (Control)	增长量 Increment	增长比值 %	增长量 Increment	增长比值 %
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	0.25±0.10	0.33±0.11	134.15	0.28±0.14	112.2
红桂木 <i>Artocarpus nitidus</i> ssp. <i>lingnanensis</i>	0.91±0.48	0.90±0.07	98.91	0.77±0.34	84.03
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i>	1.07±0.07	0.94±0.25	87.80	0.62±0.22	57.79
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	0.78±0.13	0.67±0.12	85.86	0.67±0.24	86.12
环榕 <i>Ficus annulata</i>	1.22±0.11	1.03±0.15	84.29	1.52±0.22	124.39
腊肠树 <i>Cassia fistula</i>	0.54±0.11	0.42±0.12	77.04	0.35±0.03	64.44
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	1.85±0.32	1.40±0.21	76.06	1.61±0.23	87.00
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	1.45±0.22	1.10±0.16	75.97	1.10±0.37	75.69
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	1.09±0.25	0.78±0.29	72.06	1.14±0.20	104.6
吊瓜 <i>Kigelia africana</i>	1.69±0.60	1.21±0.38	71.65	0.76±0.24	45.20
铁力木 <i>Mesua ferrea</i>	0.45±0.10	0.32±0.22	70.67	0.10±0.06	22.67
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	0.31±0.12	0.21±0.09	69.03	0.12±0.09	38.06
蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	1.23±0.07	0.82±0.21	66.83	0.73±0.21	59.35
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	0.59±0.04	0.39±0.08	66.10	0.32±0.11	54.24
猫尾木 <i>Dolichandrone cauda-felina</i>	1.42±0.20	0.89±0.09	62.62	0.83±0.13	58.39
小叶胭脂 <i>Artocarpus styracifolius</i>	1.39±0.14	0.85±0.38	61.33	0.72±0.27	52.09
火焰木 <i>Spathodea campanulata</i>	2.46±0.25	1.50±0.28	61.04	1.57±0.09	63.72
灰木莲 <i>Manglietia glauca</i>	0.77±0.03	0.44±0.14	57.51	0.27±0.16	34.46
格木 <i>Erythrophloeum fordii</i>	0.59±0.26	0.33±0.15	56.12	0.12±0.08	20.41
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i>	0.40±0.05	0.22±0.26	55.22	0.05±0.01	11.94
柳叶楠 <i>Machilus salicina</i>	0.96±0.18	0.52±0.24	54.28	0.22±0.16	23.17
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	0.97±0.15	0.52±0.15	53.7	0.25±0.07	25.72
密花树 <i>Rapanea nerifolia</i>	0.53±0.09	0.28±0.10	53.61	0.32±0.23	61.60
茶花 <i>Camellia japonica</i>	0.43±0.21	0.22±0.09	50.93	0.26±0.18	61.68
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	1.49±0.08	0.74±0.26	49.87	0.11±0.12	7.12
无忧树 <i>Saraca chinensis</i>	0.62±0.17	0.30±0.15	48.7	0.04±0.05	6.17
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	0.76±0.37	0.37±0.39	48.28	0.19±0.17	25.33
菩提榕 <i>Ficus religiosa</i>	1.52±0.24	0.72±0.23	47.63	0.46±0.15	30.47
复羽叶栾树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	0.96±0.10	0.45±0.09	47.07	0.25±0.04	26.15
白木香 <i>Aquilaria sinensis</i>	1.73±0.42	0.78±0.18	45.15	0.33±0.13	18.94
印度紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	1.12±0.30	0.48±0.20	42.75	0.25±0.11	22.00
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	1.44±0.25	0.59±0.17	41.25	0.19±0.14	13.33
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	0.70±0.16	0.25±0.27	36.08	0.14±0.09	19.60
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	1.01±0.48	0.32±0.26	31.55	0.03±0.04	2.58
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	0.35±0.23	0.10±0.07	28.81	0.13±0.06	36.16

茶三种甚至超过 100%，小于 30% 的则有乐昌含笑、无忧树等 14 种，乐昌含笑、无忧树、海南木莲甚至小于 10%，其余 10 种位于 30%–60% 之间。植物的基径生长结果与株高生长结果非常接近，尤其是五星点，基径生长较正常和生长较差的分别有 17 种和 1 种，株高则为 18 种和 2 种。东村基径生长受影响较小、生长相对正常的有 11 种，影响较大、生长受抑制较明显的则有 14 种，与株高生长相比，受影响较小的种类明显增多，这可能因为基径增长是在植株基部，没有幼嫩部位，因此直接伤害较小，而株高增长则因幼嫩的顶芽易受伤害直接影响较大。

3.3 植株的冠幅增长量

大气污染对植物最直接最明显的就是对叶片

及嫩枝的损害，因此在株高、基径、冠幅 3 个生长指标中，冠幅是受污染影响最显著的。从表 4 可见，冠幅增长比值大于 60% 的，五星点有铁冬青、菩提榕、白桂木等 7 种，东村点则只有菩提榕、铁冬青、仪花等 6 种。在 30%–60% 之间的，五星有海南红豆、毛黄肉楠、茶花等 17 种，东村有小叶胭脂、茶花等 4 种。小于 30% 的，五星有蓝花楹、观光木、猫尾木等 11 种，东村则有蓝花楹、观光木、猫尾木等 25 种。东村更有蓝花楹、观光木、猫尾木等 17 种的比率小于 10%，其中蓝花楹、观光木、猫尾木、复羽叶栾树、火焰木、海南木莲 6 种植物的冠幅甚至近于零增长。总之，冠幅生长受污染影响较小的，五星和东村各仅有 7 种和 6 种，而影响较大、受明显抑制的，五星

表 4 3 个试验点的植株冠幅增长量
Table 4 Increment of crown cover (m²)

种类 Species	植物园对照点 (BG site)	五星 (WX site)		东村 (DC site)	
	增长量 Increment (Control)	增长量 Increment	增长比值 %	增长量 Increment	增长比值 %
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	0.48±0.06	0.65±0.34	134.65	0.55±0.18	113.88
菩提榕 <i>Ficus religiosa</i>	0.29±0.16	0.32±0.19	109.92	0.53±0.38	183.09
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i>	0.40±0.07	0.36±0.14	90.50	0.18±0.11	44.40
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	0.49±0.07	0.43±0.17	89.12	0.46±0.32	95.46
小叶胭脂 <i>Artocarpus styractifolius</i>	0.48±0.24	0.39±0.24	81.05	0.28±0.16	59.05
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	0.11±0.07	0.08±0.06	68.51	0.05±0.03	42.49
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	0.53±0.49	0.33±0.18	62.77	0.50±0.27	93.00
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	0.18±0.04	0.10±0.05	56.80	0.00±0.01	1.43
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	0.36±0.20	0.20±0.09	56.61	0.06±0.07	16.25
茶花 <i>Camellia japonica</i>	0.07±0.06	0.04±0.03	56.31	0.03±0.04	51.35
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	0.51±0.18	0.24±0.15	46.26	0.03±0.05	6.76
环榕 <i>Ficus annulata</i>	0.80±0.27	0.36±0.17	45.51	0.72±0.11	90.46
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	0.67±0.24	0.29±0.27	42.86	0.08±0.14	12.14
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	0.71±0.13	0.29±0.17	41.37	0.02±0.04	2.53
吊瓜 <i>Kigelia africana</i>	0.87±0.23	0.36±0.27	41.01	0.60±0.30	69.22
铁力木 <i>Mesua ferrea</i>	0.17±0.07	0.07±0.05	39.39	0.02±0.02	9.26
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	0.64±0.17	0.24±0.25	38.31	0.00±0.00	0.00
柳叶楠 <i>Machilus salicina</i>	0.47±0.20	0.18±0.13	37.42	0.09±0.07	19.85
火焰木 <i>Spathodea campanulata</i>	0.41±0.17	0.15±0.18	35.87	0.00±0.00	0.00
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	0.07±0.06	0.02±0.03	35.65	0.01±0.01	11.25
红桂木 <i>Artocarpus nitidus</i> ssp. <i>lingnanensis</i>	0.30±0.13	0.11±0.07	35.58	0.05±0.07	16.69
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i>	0.21±0.08	0.07±0.01	33.30	0.04±0.02	20.20
灰木莲 <i>Manglietia glauca</i>	0.56±0.19	0.18±0.11	32.26	0.04±0.07	7.70
印度紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	0.97±0.55	0.31±0.48	32.26	0.20±0.46	20.96
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	0.91±0.20	0.26±0.16	28.85	0.04±0.06	4.40
白木香 <i>Aquilaria sinensis</i>	0.53±0.09	0.14±0.11	25.97	0.00±0.01	0.74
无忧树 <i>Saraca chinensis</i>	0.46±0.11	0.12±0.12	25.83	0.00±0.00	0.07
腊肠树 <i>Cassia fistula</i>	0.41±0.21	0.10±0.23	25.67	0.00±0.01	0.99
格木 <i>Erythrophloeum fordii</i>	0.23±0.20	0.04±0.05	19.36	0.00±0.01	1.85
密花树 <i>Rapanea nerifolia</i>	0.18±0.05	0.03±0.03	19.31	0.01±0.01	7.22
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	0.60±0.22	0.11±0.09	17.96	0.08±0.11	13.50
复羽叶栎树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	0.33±0.11	0.06±0.08	17.24	0.00±0.00	0.00
猫尾木 <i>Dolichandrone caudafelina</i>	0.12±0.14	0.02±0.03	15.78	0.00±0.00	0.00
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	0.08±0.08	0.01±0.01	9.98	0.00±0.00	0.00
蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.04±0.06	0.00±0.00	0.00	0.00±0.00	0.00

有 11 种,东村则达 25 种之多(占总种数的 71%)。试验结果反映出冠幅受大气污染的影响较明显、较直接,也反映出东村污染较严重。

3.4 试验植物综合生长状况比较

由于植物对大气污染反应非常复杂,单一生长指标难于准确比较评价植物的受影响程度,本文采用综合生长比值(Complex Growth Rate, GRC)对参试植物进行比较排列。本试验的分析结果表明,大气污染对树木基径的影响最小,对株高影响次之,对冠幅影响最大。对基径、株高、冠幅分别赋以 0.25、0.30、0.45 的加权系数,计算各污染点的加权综合生长比值,计算公式为:

$$GRC = 0.25 \times R_{BD} + 0.30 \times R_H + 0.45 \times R_{CA}$$

式中 GRC 为综合增长比值, R_{BD} 、 R_H 、 R_{CA} 分别为基径、株高、冠幅的增长比值。综合增长比值越高,表示植物受大气污染影响越小,生长较为正常;反之,则受大气污染影响较大,生长受较严重的抑制。综合增长比值计算结果见表 5。

由表 5 可看出,两污染点植物的相对抗性强弱排列并不完全一致,但其排列的相对位置是基本稳定的,如五星点增长比值较高、相对抗性较强的铁冬青、幌伞枫、红花油茶、白桂木、腊肠树、仪花等种类,在东村点亦是排在相对抗性较强的位置;而增长比值低、相对抗性较弱的观光木、乐昌含笑、蓝花楹、白木香、无忧树、蝴蝶树、日本杜英等种类,在东

表 5 两个污染点植物的综合增长比值
Table 5 Complex growth rate of plants grown at two polluted experimental sites

种类 Species	综合增长比值 Complex growth rate		两污染点平均 Average of two polluted sites
	五星 WX site	东村 DC site	
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	102.32	87.94	95.13
菩提榕 <i>Ficus religiosa</i>	74.74	108.07	91.40
环榕 <i>Ficus annulata</i>	64.97	94.99	79.98
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	74.86	67.29	71.08
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	59.56	81.72	70.64
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	79.97	58.24	69.10
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	86.74	48.96	67.85
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i>	81.47	45.47	63.47
小叶胭脂 <i>Artocarpus styracifolius</i>	67.69	48.71	58.20
腊肠树 <i>Cassia fistula</i>	67.53	44.76	56.15
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	64.22	44.77	54.49
红桂木 <i>Artocarpus niidus</i> ssp. <i>lingnanensis</i>	63.64	41.38	52.51
茶花 <i>Camellia japonica</i>	55.44	46.82	51.13
吊瓜 <i>Kigelia africana</i>	54.74	47.43	51.09
火焰木 <i>Spathodea campanulata</i>	60.21	32.52	46.37
铁力木 <i>Mesua ferrea</i>	59.88	24.53	42.21
柳叶楠 <i>Machilus salicina</i>	51.93	27.60	39.76
猫尾木 <i>Dolichandrone caudafelina</i>	42.73	35.32	39.02
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	62.53	14.01	38.27
密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	41.71	33.07	37.39
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	57.74	16.69	37.21
复羽叶栲树 <i>Koelrcuteria bipinnata</i>	51.27	21.02	36.14
灰木莲 <i>Manglietia glauca</i>	46.73	23.63	35.18
大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	50.11	18.86	34.49
印度紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i>	35.86	27.66	31.76
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	36.56	19.91	28.23
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	49.28	5.01	27.14
格木 <i>Erythrophloeum fordii</i>	44.82	6.50	25.66
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	41.93	8.22	25.08
蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	26.86	21.91	24.39
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	25.06	23.22	24.14
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i>	32.54	13.33	22.93
白木香 <i>Aquilaria sinensis</i>	34.97	7.95	21.46
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	31.29	11.43	21.36
无忧树 <i>Saraca chinensis</i>	32.09	6.11	19.10

村点亦处于相似的位置。虽然五星点和东村点的污染水平相差较大，特别是硫化物浓度相差达 5 倍（表 1），但两试验点均是源于陶瓷工业的以酸性硫化物和氟化物为主的大气污染，由于植物对相同污染物的生长反应是基本相同的，因此两污染点的试验结果是趋于一致的，这一结果与以往的研究结果亦近似^[3,5,12]，说明采用综合生长指标评价植物抗性的方法是可行的。

为消除试验间的误差，本文根据两污染点的平均综合增长比值的大小，将参试植物按相对抗性强弱分为 3 级，分级标准及结果如下：

抗性植物（综合增长比值 >60%，受污染影响较小）：铁冬青、菩提榕、环榕、仪花、小叶榕、红花油茶、幌伞枫、白桂木 8 种；

中等抗性植物（30% < 综合增长比值 < 60%，受污染影响较大）：小叶胭脂、腊肠树、毛黄肉楠、红桂木、茶花、吊瓜、火焰木、铁力木、柳叶楠、猫尾木、灰莉、密花树、海南红豆、复羽叶栲树、灰木莲、大头茶、印度紫檀 17 种；

敏感植物（综合增长比值 < 30%，受污染影响严重）：华润楠、海南木莲、格木、日本杜英、蓝花楹、观光木、蝴蝶树、白木香、乐昌含笑、无忧树 10 种。

4 小结

不同植物对同一大气污染物有不同的反应特点，且不同植物在不同时期有不同的增长模式，在幼龄阶段，有的植物主要表现为纵向生长，有的则为横向生长。同时，株高、基径、冠幅等对污染的反

应亦不完全一致。本文试验结果表明,冠幅对污染反应最显著,表现出的差别也最大,而株高、基径则没那么明显,尤其是基径。因此单一的生长指标无法准确反映植物对大气污染的反应。采用株高、基径、冠幅等多因子综合评价方法,则能较为全面准确地反映植物的抗性强弱。本研究中,参试植物在不同污染水平下的综合生长反应,相对一致,如环榕、小叶榕、腊肠树、幌伞枫、铁冬青等,在不同大气污染水平环境中,均表现出较强的抗性能力,显示综合生长指标评价方法是可行的。

以往对植物抗性的研究,多采用不同浓度的单一污染物处理方法,用植物的不同反应阈值进行抗性分级。然而,实际的大气污染环境不可能是单一的污染物质,阈值的研究结果无法直接应用。合理的生理指标方法虽然是可行的,但需要配备高精仪器设备和专业人员,采用污染现场观测方法,可行而简单,并较能直接地反映不同植物对特定大气污染环境的响应特点,并且试验结果能直接推广应用于相类似的污染地区,因而具有较强的实际应用前景。

利用污染现场盆栽观测方法研究植物生长指标对大气污染的反应从而进行抗性植物筛选,只是对植物的外观特性的观测,试验的结果亦会出现一定的偏向性,特别对一些生长特快或特慢的种类。例如试验植物中的茶花,因其本身的生物学特性,生长较慢,在各个指标中表现较差,最后导致排位相对靠后,而实际上它是所有参试植物中唯一完全没有出现叶片表现伤害症状的种类,以往的研究也证实茶花是一种抗二氧化硫和抗氟耐氟植物^[3,13]。这说明单纯的生长指标也并不能完全准确地反映不同植物的抗性能力。植物生理生态指标的测定,能较为精确反映出植物抗性强弱的内在机理,但也会受各种客观条件的限制。因此采用综合方法能更好地准确地确定植物抗性的强弱。

本试验结果表明,桑科、山茶科植物对大气典型污染及重度污染均有较强的抗性,而木兰科植物的抗性普遍较弱,这一结果可为类似的污染区今后在筛选及引种新的园林植物种类时提供参考。

参考文献

- [1] www.people.com.cn/GB/other4583/5366/5368/20021016/843795.html
- [2] <http://huanbao.nanhai.gov.cn/zhiliang/2001.htm>
- [3] Kong G H (孔国辉), Wang J X (汪嘉熙), Chen Q C (陈庆诚). Air Pollution and Plants [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 1988. (in Chinese)
- [4] Liu Y Q (刘玉琴), Wu G Q (吴根千), Tan C (谭常), et al. On acute injury and relative resistance to sulfur dioxide of trees and shrubs for greening [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 1980, 22 (3): 260-265. (in Chinese)
- [5] Kong G H (孔国辉), Yi J D (易敬度), Ao H X (敖惠修), et al. The relative resistance of afforestation plants growing in Guangdong Province to sulfur dioxide and chlorine [J]. Acta Bot Austro Sin (中国科学院华南植物研究所集刊), 1983, (1): 15-22 (in Chinese)
- [6] Kong G H (孔国辉), Yu Q F (余清发), Yi J D (易敬度), et al. The reaction and relative resistance of plants to chlorine [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1984, 4(1):21-33. (in Chinese)
- [7] Chen S Y (陈树元), Bian Y M (卞咏梅), Wang J X (汪嘉熙). Effects of sulfur dioxide and hydrogen fluoride alone and in combination on several woody plants [J]. Chin J Ecol (生态学杂志), 1988, 7(2):17-20. (in Chinese)
- [8] Yu S W (余叔文), Tan C (谭常), Yang W D (杨卫东), et al. Studies on the response and resistance of plants to sulfur dioxide II. Permeability changes of plasma membrane and SO₂ injury [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 1979, 5:403-409. (in Chinese)
- [9] Han Y (韩阳), Wang Q Y (王秋雨), Han G X (韩光燮). The analysis of SOD activities in leaves of plants and the resistance classification [J]. J Liaoning Univ (Nat'l sci) (辽宁大学学报 自然版), 1995, 22(2):71-74. (in Chinese)
- [10] 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 municipal 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)
- [11] 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 plants species exposed to shortterm air pollution [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 2003, 27(3):311-317. (in Chinese)
- [12] Ao H X (敖惠修), Kong G H (孔国辉), Guan X L (关学良). The cultivation of plants resistant to sulfur dioxide and chlorine [J]. Guihaia (广西植物), 1984, 4(3):239-246. (in Chinese)
- [13] Cheng G J (陈国阶). Study on the resistance and tolerance of plants to air fluoride pollution [J]. Envir Sci (环境科学), 1979, (3):54-56. (in Chinese)