

# 园林绿化植物对大气二氧化硫和氟化物污染的净化能力及修复功能

张德强<sup>1</sup> 褚国伟<sup>1</sup> 余清发<sup>1</sup> 刘世忠<sup>1</sup>  
陆耀东<sup>2</sup> 胡羨聪<sup>2</sup> 薛克娜<sup>2</sup> 孔国辉<sup>1</sup>

(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:** 研究 32 种盆栽于佛山市污染区的城市园林绿化植物对大气二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和氟化物的净化能力及其对大气污染的修复功能。结果显示, 竹节树、傅园榕等 14 种植物对 SO<sub>2</sub>、氟化物等污染气体不但具有较强的抗性, 而且具有较高的吸收净化能力, 叶片平均含硫量达 17 442 (11 754-27 658 mg kg<sup>-1</sup> DW), 是清洁区 (5 988 mg kg<sup>-1</sup> DW) 的 2.9 倍; 平均含氟量达 3 725.9 (1 954.9-5 331.7 mg kg<sup>-1</sup> DW), 是清洁区 (170.3 mg kg<sup>-1</sup> DW) 的 21 倍。表明这些植物对大气 SO<sub>2</sub>、HF 复合污染具有很好的净化能力和修复功能, 是值得推广的城市园林绿化树种。

**关键词:** 园林绿化植物; 大气污染; 净化能力; 植物修复

中图分类号: Q948.116

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2003)04-0336-05

## Decontamination Ability of Garden Plants to Absorb Sulfur Dioxide and Fluoride

ZHANG De-qiang<sup>1</sup> CHU Guo-wei<sup>1</sup> YU Qing-fa<sup>1</sup> LIU Shi-zhong<sup>1</sup>  
LU Yao-dong<sup>2</sup> HU Xian-cong<sup>2</sup> XUE Ke-na<sup>2</sup> KONG Guo-hui<sup>1</sup>

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

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

**Abstracts:** Seventy-five species of garden plant seedlings were potted under contaminated environment at Dongcun (DC) and Wuxing (WX) near ceramic industry sites in Foshan City, Guangdong, and at botanical garden (control). The contents of sulphur and fluorine in the leaves of the thirty-two surviving species were measured after 128 days, among which 14 species including *Ficus religiosa*, *F. microcarpa* var. *fuyuensensis*, *Lysidice rhodostegia*, *Carallia brachiata*, *Ilex rotunda*, etc. had great ability to absorb air pollutants SO<sub>2</sub> and fluoride. Average sulphur and fluorine contents in leaves of these species pot-grown at contaminated sites were 17 442 mg kg<sup>-1</sup> DW and 3 725.9 mg kg<sup>-1</sup> DW, respectively, which were 1.9 times and 20 times higher than those at control site, respectively, showing that these species were more tolerant to SO<sub>2</sub> and fluoride pollutants.

**Key words:** Garden plants; Air pollution; Decontamination ability; Phytoremediation

园林植物是城市生态环境的重要组成部分, 对于一定浓度范围内的大气污染物, 不仅有一定的抵抗能力, 而且也有相当程度的吸收净化能力。不同植物种类, 因其生态功能上的差异, 其环保功能有显著不同。在环境污染区选择抗性强和吸收净化能

力强的绿化植物, 构建不同类型的人工绿化生态工程体系, 可有效改善生态环境, 缓解环境污染, 并对实现城市林业的可持续发展和生态公益林的构建有重要意义。

利用植物吸收甚至去除环境中污染物的技术,

收稿日期: 2003-06-12 接受日期: 2003-08-29

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

称为植物修复(phytoremediation)<sup>[1]</sup>。美国国家环保局所定义的广义上的植物修复技术是指利用植物提取、吸收、分解、转化或固定土壤、沉积物、污泥或地表、地下水中有毒有害污染物技术的总称<sup>[2]</sup>。植物修复研究目前更多侧重于对土壤和水体中的重金属<sup>[2-11]</sup>和有机污染物<sup>[12-14]</sup>以及环境中的放射性物质<sup>[15]</sup>等的吸收和去除。利用植物修复技术治理大气污染尤其是近地表大气混合物污染则是近年来国际上正在加强研究和迅速发展的前沿性新课题,而我国在这方面的研究才刚刚起步,现有的报道也仅是综述性的文章<sup>[16]</sup>,还没有真正开展实质性的试验研究。

大气污染的植物修复是一种以太阳能为动力,利用植物的同化或超同化功能净化污染大气的技术<sup>[16]</sup>。事实上,大气污染的植物净化作用很早就被注意到并得到应用,如在公路两旁种植植物以减轻汽车造成的污染,在化工厂附近种植植物来减轻污染并美化环境等。鲁敏等<sup>[17]</sup>利用短时间(8 h)的熏气试验研究了28种园林植物对硫、氟、氯的净化能力,但这一试验并不能指出参试植物的抗性强度。随着植物修复技术理论体系的发展,大气污染的植物修复近年才被明确提出。目前的研究更多是在试验和筛选对大气污染有较强的抵抗能力并且对污染物有较强的吸收净化能力的植物,以期通过这些试验寻找出对大气污染具有一定修复功能的种类。

本研究在陶瓷工业废气污染严重的地区进行。

陶瓷工业废气主要以氟化物、SO<sub>2</sub>和粉尘污染为主,属化学污染和物理污染(大气污染主要有物理污染、生物污染和化学污染),本试验侧重研究植物对化学污染的净化能力。这一研究为进一步开展大气污染植物修复研究及种类的选择提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验方法与材料的选择

在对污染地区周围现存植物生长状况进行广泛调查基础上,结合原有的研究资料<sup>[18]</sup>,选择75种园林绿化植物作为试验对象。2001年以营养袋统一进行种苗繁殖,2002年2月4日袋苗上盆(苗龄1-2 a生,个别为插条繁殖),待盆苗定根后,选取生长状况良好,大小、高矮基本一致的盆苗,于2002年6月3日-6日分别移至3个试验地,每种苗木每个试验点放置5盆,并同时开始大气环境质量的监测。试验地分别设在陶瓷工业发达的佛山市禅城区的东村(DC)和五星(WX)两地,华南植物园(BG)则作为相对清洁区对照点。因东村试验地环境条件恶劣,近一半的种在采样之前(10月中)已枯死,本文研究的是存活下来(至少在某一污染区)的32种。各试验点的大气环境状况见表1。

### 1.2 样品采集与分析方法

试验过程中统一肥水管理。植物生长季结束前(2002年10月12日)统一采集成熟叶片为植物样

表1 6-10月各试验点部分大气污染物监测结果(平均值)

Table 1 The concentration of air pollutants at different test sites averaged from Jun. to Oct, 2002

试验点 Test sites	硫酸盐化速率 Sulfation rate (mg SO <sub>3</sub> 100 cm <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	氟化物 Fluoride (μg F 100 cm <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	降尘 Dustfall (mg m <sup>-3</sup> month <sup>-1</sup> )
植物园 BG	0.142±0.101	2.532±0.817	7.265±3.79
五星 WX	2.160±0.523	44.131±16.463	20.090±9.34
东村 DC	9.978±1.205	54.368±11.303	9.013±3.07
二级标准 Standard <sup>1)</sup>	0.25	3.0	8.0

品。为了保证所采样品叶龄一致,所有参试苗木在移往试验地前,将尚未展开的新叶挂上细小塑料牌以作标记,采样时只取小塑料牌以上的几片叶,以保证所采样品在污染环境中的生长时间一致。叶片用自来水冲洗干净,自然风干,60℃烘干,粉碎过60目筛,装瓶备用。大气硫酸盐化速率和氟化物测定采用静态挂片取样法取样,每月取样一次,每次放置挂片时间为20 d。

植物叶片S、F含量分别采用氧瓶燃烧-硫酸钡比浊法、标准添加法—氟离子选择电极测定<sup>[19]</sup>。大气硫酸盐化速率、氟化物分别采用:挂片法-硫酸钡比浊、碱片法—氟离子选择电极测定<sup>[20]</sup>。

植物叶片对S、F的相对吸收量:由污染区植物叶片污染物含量减去相对清洁区植物叶片含量求得。除少数几个非盆栽树种外,所有参试植物的吸收量是采样时的吸收量,与污染物接触时间约4个

1) 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;氟化物见GB3095-1996

月(128 d)。

## 2 结果和分析

### 2.1 对大气 SO<sub>2</sub> 的吸收净化

植物在能够忍受的浓度范围内,对大气 SO<sub>2</sub> 的吸收具有累积性,而且其吸收量与大气 SO<sub>2</sub> 浓度成正比。但不同的植物,因形态、结构等的不同,对大气 SO<sub>2</sub> 吸收净化量有很大差异。参试的 32 种植物在不同环境中生长相同时间后叶片的含硫量见表 2。由于东村的大气环境质量极为恶劣(表 1),采样时仅有菩提榕等 14 种植物能存活,五星也只有 32 种植物能存活。同种植物生长在东村的叶片含硫量比五星的更高,证明植物对 SO<sub>2</sub> 的吸收量与大气 SO<sub>2</sub> 浓度成正比。从吸收量来看,生长在东村的菩提榕的吸收量最大,1 kg 干叶可吸硫 16 985 mg(下同),其次是仪花(15 898)、竹节树(15 873)、傅园榕(15 063)、小叶榕(14 581)和铁冬青(14 526)等,其硫含量是清洁区的 1.5–6 倍。这些植物在恶劣的环境中长势良好,不但表现出很强的抗性,而且对大气 SO<sub>2</sub> 有很强的吸收净化能力,是很有潜力的城市绿化优良树种。

从表 2 的试验结果还可以看出,尽管一些植物种类在 SO<sub>2</sub> 浓度较高的地方难以成活,但在 SO<sub>2</sub> 不很严重的地区却长势良好,而且对 SO<sub>2</sub> 有很强的吸收净化能力,如生长在五星的红木莲(1 kg 干叶吸收 S 达 21 093 mg,下同),刺果番荔枝(16 128),石笔木(10 531),黄花夹竹桃(9 149)等,其叶片含硫量是清洁区的 2–4 倍多。另外,在五星试验地附近生长的树种中还发现了一些非常有潜力的种类,如鸭脚木、光叶山矾、尾叶桉和山黄麻等,1 kg 干叶吸收 S 分别为 14 507、12 453 和 10 432 mg,其叶片硫含量是清洁区的 2–4 倍。尽管这些树种比参试植物接触污染物时间更长,但其对 SO<sub>2</sub> 的吸收能力仍然非常强,更重要的是它们在污染的环境中能长期正常生长,这无疑为选择城市绿化优良树种及大气污染植物去污种类提供了更广阔的空间。

### 2.2 对大气氟化物的吸收净化

植物叶片氟含量与硫含量一样,与大气污染物浓度密切相关。通过表 2 的结果计算得出,清洁对照点的叶片含氟量平均为 155.43(30–1 477 mg kg<sup>-1</sup>DW),五星为 1 849.54(653–4 515 mg kg<sup>-1</sup>DW),东村则是 3 725.86(1 954–5 331 mg kg<sup>-1</sup>DW),与各自生长环境大气中氟化物浓度成正比。东村和五星两地大气

氟化物的浓度差别不大(54.368 和 44.131 mg kg<sup>-1</sup>),但两地植物叶片氟含量差异大,可能是五星的降尘量远大于东村(20.09 和 9.013 mg m<sup>-3</sup> month<sup>-1</sup>,表 1),大量的降尘影响了叶片气孔的开放和导度,降低了污染物进入叶片的通量。

不同植物对大气氟化物的吸收能力差异很大。污染区(东村)与相对清洁对照区相差最大达 100 多倍,最小的也有 2 倍多(表 2)。从相对吸收量来看,在东村试验点,竹节树具有最大的吸收量,1 kg 干叶吸 F 达 5 289.28 mg,其次是傅园榕(4 917.42 mg)、小叶榕(4 630.25 mg),密花树(4 603.10 mg)等,最小的红花油茶,吸收量也有 1 560.84 mg(表 2)。表明这些植物对大气氟化物不但有较强的抗性,而且有很高的吸收能力,对氟化物污染有很好的净化功能。在污染相对较轻的五星试验点,也有一批对大气氟化物污染具有一定抗性和吸收净化能力的植物种类,如刺果番荔枝、黄花夹竹桃、小叶胭脂等,还有一些当地生长的种类,如银柴、山黄麻、光叶山矾、鸭脚木等。

### 2.3 对 SO<sub>2</sub>、氟化物复合污染的净化能力及修复功能分析

利用植物修复大气污染,不但能为人们提供风景园林美学上的视觉享受,还能净化空气、美化环境、吸收有害物质、降低噪音、调节小气候,为人们提供舒适的生活环境并满足人们对保健的要求。

植物对大气 SO<sub>2</sub>、氟化物污染的修复过程主要是滞留和去除。滞留是一个物理过程,包括截获、吸附和滞留等,其滞留的效果取决于植物的表面结构,如叶面形态、粗糙度、叶的着生角度和表面分泌物等,但这一过程对气体污染的修复是极其有限的,更多的是靠去除过程来达到修复的目的。去除过程包括吸收、转化、同化或超同化等。

鲁敏等<sup>[7]</sup>利用熏气试验表明,在 SO<sub>2</sub> 浓度为 1.8 mg m<sup>-3</sup> 下熏气 8 h,28 种植物吸硫量介于 310–2 350 mg kg<sup>-1</sup>(干叶重,下同);在 HF 浓度为 0.5 mg m<sup>-3</sup> 下熏气 8 h,植物吸氟量介于 30–1 380 mg kg<sup>-1</sup>。然而,修复大气污染的植物种类,必须对污染物具有抗性强、吸收量大的特点,显然,短时间的熏气,并不能鉴别植物的抗性强弱。本试验的参试植物在污染地区生长 128 d,存活的植物都具有较强的抗性。从表 2 的试验结果可以看出,表现最为理想的种类有红树科的竹节树,在 SO<sub>2</sub>、氟化物污染严重的东村,不但长势良好,而且 1 kg 干叶可

表2 不同试验点植物叶片S和F含量  
Table 2 S and F contents in the leaves of plants grown at different sites

种类 Species	植物园 BG		五星 WX		东村 DC	
	S(g kg <sup>-1</sup> )	F(mg kg <sup>-1</sup> )	S(g kg <sup>-1</sup> )	F(mg kg <sup>-1</sup> )	S(g kg <sup>-1</sup> )	F(mg kg <sup>-1</sup> )
红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	7.153±0.89	30.7±3.56	28.246±3.86	1567.3±113.6	/	/
菩提榕 <i>Ficus religiosa</i>	5.813±0.77	106.2±9.32	9.874±1.75	/	22.798±2.23	4401.7±312.2
仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	3.745±0.56	42.5±5.68	/	/	19.643±2.08	5331.7±386.2
竹节树 <i>Carallia brachiata</i>	11.784±2.16	76.2±13.88	/	1645.0±134.5	27.658±2.58	4211.6±276.5
傅园榕 <i>Ficus microcarpa</i> var. <i>fuyuensis</i>	6.050±1.56	69.9±8.38	17.414±2.91	2085.6±323.7	21.113±2.37	4987.3±315.3
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	5.885±0.98	36.2±4.78	5.574±0.82	653.9±89.5	20.411±1.87	/
小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i>	5.290±0.76	113.1±6.87	8.574±1.26	1923.5±188.4	19.871±2.76	4743.3±333.3
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	4.395±0.86	56.5±6.38	12.388±1.61	1809.1±95.8	17.293±2.12	/
密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	6.356±0.71	64.5±5.23	8.329±0.95	1446.9±145.3	15.340±1.54	4667.6±267.9
红花油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	5.675±0.61	608.8±28.39	10.532±1.53	961.0±129.4	15.328±1.67	2169.7±187.6
大头茶 <i>Gordonia axillaries</i>	4.320±0.72	307.9±22.31	5.405±0.84	914.3±95.3	14.783±1.81	3019.6±127.7
茶花 <i>Camellia japonica</i>	5.605±0.78	640.9±48.59	7.156±0.97	962.6±92.1	13.156±1.76	2263.1±234.7
海南木莲 <i>Manglietia hainanensis</i>	8.343±1.29	37.7±4.67	12.183±1.43	1714.7±165.7	12.902±1.83	/
白桂木 <i>Artocarpus hypargyreus</i>	5.268±0.61	50.52±13.42	6.036±0.84	1080.4±75.7	12.132±1.43	2185.6±201.8
环榕 <i>Ficus annulata</i>	5.305±0.51	124.3±11.25	6.949±0.76	2207.2±188.9	11.754±1.51	4433.7±258.7
铁力木 <i>Mesua ferrea</i>	4.662±0.53	68.5±7.13	7.550±0.81	2128.2±321.2	/	3591.1±298.4
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	5.532±0.79	42.5±4.98	8.233±1.03	1164.3±88.7	/	/
无忧树 <i>Saraca chinensis</i>	4.115±0.48	46.2±4.76	8.468±1.39	1658.5±125.9	/	/
灰莉 <i>Fagraea ceilanica</i>	6.078±0.77	99.1±14.87	8.639±0.94	1086.3±79.5	/	/
小叶胭脂 <i>Artocarpus styracifolius</i>	4.025±0.59	114.4±12.58	9.089±1.63	2144.7±203.5	/	/
火焰木 <i>Spathodea Campanulata</i>	6.521±0.87	55.1±5.12	11.410±1.77	1722.7±145.3	/	/
灰木莲 <i>Manglietia glauca</i>	6.929±0.96	56.5±6.89	13.161±1.11	1510.9±115.3	/	/
吊瓜树 <i>Kigelia africana</i>	5.360±0.81	68.1±13.89	8.396±1.08	670.8±83.2	/	/
毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	5.083±0.62	43.3±5.32	8.128±1.27	2020.3±191.4	/	/
石笔木 <i>Tuacheria spectabilis</i>	4.405±0.55	89.2±17.32	14.936±1.17	836.2±76.2	/	/
黄花夹竹桃 <i>Thevetia peruviana</i>	7.721±0.83	31.1±2.34	16.869±1.23	2074.2±173.5	/	/
刺果番荔枝 <i>Annona muricata</i>	6.659±0.92	43.1±5.36	22.788±1.18	2210.1±178.6	/	/
山黄麻 <i>Trema orientalis</i>	6.959±0.81	71.7±9.14	17.391±1.54	3845.9±167.5	/	/
光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	6.364±0.77	1477.7±97.52	18.817±1.63	3630.4±283.6	/	/
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	5.185±0.71	33.2±3.47	19.692±1.71	2329.2±201.2	/	/
尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i>	4.086±0.61	50.3±4.15	17.418±2.54	3425.6±210.8	/	/
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	/	313.5±22.38	/	4515.2±368.5	/	/

n=3

吸收 15 873 mg S 和 4 135.4 mg F (表 2), 净化功能极其显著; 类似种类还有桑科的小叶榕、傅园榕、菩提榕、环榕, 山茶科的大头茶、红花油茶, 苏木科的仪花, 紫金牛科的密花树, 山矾科的光叶山矾等, 这些植物对大气 SO<sub>2</sub>、氟化物污染不但有很强的抗性, 而且有很高的吸收净化能力, 是大气 SO<sub>2</sub>、氟化物污染严重地区空气净化植物的首选。除上述种类外, 表现较为理想的种类还有: 山茶科的茶花, 番荔枝科的刺果番荔枝, 夹竹桃科的黄花夹竹桃, 五加科的幌伞枫、鸭脚木, 大戟科的银柴, 榆科的山黄麻等, 这些植物对 SO<sub>2</sub>、氟化物污染抗性中等, 也有一定的吸收能力, 是 SO<sub>2</sub>、氟化物污染较轻的大气环境净化的理想种类。

### 3 讨论

大气污染是个复杂的环境问题, 植物能否有效地净化大气污染并去除大气污染物受许多因素的影响, 如气候因素、土壤条件、水热因子、污染物种类和浓度及植物本身的特性等。植物在生长季节因代谢旺盛, 具有较强的修复功能。尽管有些植物对大气污染有较强的修复功能, 但有可能造成二次污染。这些问题的研究是大气污染植物修复技术能否走向应用的关键, 也是植物修复研究的主要方向之一。

本试验研究的植物对 S、F 的吸收量是相对吸收量, 因为相对清洁区的大气环境质量较好, 植物叶片污染物含量接近本底值。因此, 相对吸收量基

本能说明植物对大气  $\text{SO}_2$ 、氟化物的吸收净化能力。事实上,植物对污染物的吸收净化量包括吸收污染物后向其他器官转移或部分被降解的量,还包括枝条(尤其是嫩枝)的吸收量,尽管有报道说枝条的吸收量很少甚至可以忽略不计<sup>[17]</sup>。

### 参考文献

- [1] Anderson T A, Guthie E A, Walton B T. Bioremediation in the rhizosphere [J]. *Envir Sci Technol*, 1993, 27(13):2630-2636.
- [2] USEPA (United States Environmental Protection Agency). *Introduction to Phytoremediation* [M]. Washington DC, USA. EPA 600-R-99-107, 2000.
- [3] Luo Y M (骆永明). Phytoremediation of metal-contaminated soil [J]. *Soil (土壤)*, 1999, 31:261-265. (in Chinese)
- [4] Luo Y M (骆永明). Environmental phytoremediation of contaminated soil and water — a green purgative technology [A]. In: *Chinese Soil Institute. Soil Science Forward 21th Century* [C]. 1999. 135-138. (in Chinese)
- [5] Tang S R (唐世荣), Huang C Y (黄昌勇), Zhu Z X (朱祖祥). Phytoremediation of contaminated soil and its research advance [J]. *Adv Envir Sci (环境科学进展)*, 1996, 4 (6):10-16. (in Chinese)
- [6] Zhao A F (赵爱芬), Zhao X (赵雪), Chang X L (常学礼). Bioremediation of contaminated soil [J]. *Chin J Soil Sci (土壤通报)*, 2000, 31 (1):43-47. (in Chinese)
- [7] Wei C Y (韦朝阳), Chen T B (陈同斌). A review of the status of research and application of phytoremediation for heavy metal [J]. *Adv Earth Sci (地球科学进展)*, 2002, 17(6):833-839. (in Chinese)
- [8] Wei C Y (韦朝阳), Chen T B (陈同斌). Hyperaccumulators and phytoremediation of heavy metal contaminated soil: a review of studies in China and abroad [J]. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 2001, 21(7):1196-1203. (in Chinese)
- [9] Chen T B (陈同斌). Proseminar of "Phytoremediation of Contaminated Environment" in "Youth Scientists Forum" of CSTA [J]. *Chin Sci Bull (科学通报)*, 2002, 47(3):238-239. (in Chinese)
- [10] Sang W L (桑伟莲), Kong F X (孔繁祥). Advance in phytoremediation research [J]. *Adv Envir Sci (环境科学进展)*, 1999, 7(3):40-44. (in Chinese)
- [11] Gong Y H (龚月华), Wang J R (王俊儒), Gao J F (高俊凤). Phytoremediation and its application in environmental protection [J]. *Agro-envir Prot (农业环境保护)*, 1998, 17 (6):268-270. (in Chinese)
- [12] Naranan M, Erickson L E, Davis L C. Simple plant-based design strategies for volatile organic pollutants [J]. *Envir Prog*, 1999, 18 (4):231-242.
- [13] Yi X Y (易筱筠), Dang Z (党志), Shi L (石林). Phytoremediation of soil pollution by organic contaminants [J]. *Agro-envir Prot (农业环境保护)*, 2002, 21 (5):477-479. (in Chinese)
- [14] Song Y F (宋玉芳), Xu H X (许华夏), Ren L P (任丽萍). Bioremediation of mineral oil and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils with two plant species [J]. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 2001, 12 (1):108-112. (in Chinese)
- [15] Whicker F W, Pinder III J E, Bowling J W, et al. Distribution of long-lived radionuclides in an abandoned reactor cooling reservoir [J]. *Ecol Monog*, 1990, 60(4):471-496.
- [16] Luo Y M (骆永明), Cha H G (查宏光), Song J (宋静), et al. Phytoremediation of air pollution [J]. *Soil (土壤)*, 2002 (3):113-119. (in Chinese)
- [17] Lu M (鲁敏), Li Y J (李英杰). Research on absorption and purgation ability of some garden plants under atmospheric pollution [J]. *J Shangdong Inst Arch Eng (山东建筑工程学院学报)*, 2002, 17(2):45-49. (in Chinese)
- [18] 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 purification of sulfur dioxide and lead [J]. *Guangzhou Envir Sci (广州环境科学)*, 2003, 18 (1):22-25. (in Chinese)
- [19] Yu S W (余叔文), Yan L Y (颜丽英). *Bio-monitoring Methods for Air Pollution* [M]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 1993. 11. (in Chinese)
- [20] Ministry of Urban and Rural Construction and Environmental Protection (城乡建设和环境保护局). *Analytical Method for Environmental Monitoring* [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1986. 201-205. 221-223. (in Chinese)