

惠州市植物叶片和叶面降尘的重金属特征^{*}

邱媛¹, 管东生¹, 陈华¹, 李小燕¹, 黄辉²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275;
2. 惠州市环境保护监测站, 广东 惠州 516000)

摘 要: 用 ICP-AES 测定了惠州市不同功能区的典型绿化树种大叶榕和紫荆叶片及其叶面降尘的重金属含量。结果表明, 不同功能区植物叶片和叶面降尘的重金属含量差异显著, 植物叶片综合污染指数为: 商业交通区>工业区>居民区>清洁区, 而叶面降尘的综合污染指数则为: 工业区>商业交通区>居民区>清洁区。大叶榕叶片的重金属含量略高于紫荆, 但差异不显著。降尘重金属污染严重, 尤其 Cd 含量达到了广东省土壤背景值的 120 倍以上, Pb 则为 12 倍以上。降尘重金属含量是叶片的 2~800 倍, 通过叶片气孔吸收的降尘重金属较少。植物叶片和降尘的重金属含量随交通流量的减少而降低。除 C 和 Cd 元素外, 大叶榕与紫荆叶片的重金属与叶面降尘中重金属相关性不显著。

关键词: 植物叶片; 重金属; 叶面降尘; 城市区域; 广东惠州市

中图分类号: X826 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 06-0098-05

随着经济发展和城市化步伐加快, 由工业、交通、民用燃煤等排放的废气大量增加, 造成污染加剧, 其中大气颗粒物及其衍生的相关污染是我国面临的一个新的大气环境问题^[1]。由于植物叶表面及叶肉组织可吸收富集多种污染元素, 其长时间与污染物作用, 更能表征排放源附近元素的输入特征, 植物的这种特性已被广泛应用于生物监测和生物指示^[2]。降尘是一个高效重金属富集物, 植物是有效的大气颗粒捕获器, 对来自大气的颗粒物扩散起缓冲和过滤作用^[3], 对大气污染物有一定的吸收和净化作用, 可调整大、中尺度污染水平。

国内外在植物叶片对大气中氮、硫和重金属等吸收的研究方面积累了丰富的经验^[4]。然而对城市植物叶片、叶面降尘的重金属含量及其相互关系报道较少。本研究惠州为例, 探讨了城市典型绿化乔木叶片、叶面降尘的重金属特征及其相关关系。

1 材料与方法

1.1 样品采集

(1) 采样点 (9 个): 根据土地利用性质, 对位于广东省珠江三角洲东北部的惠州市按功能分区进行布点采样, 分别为工业区 3 个 (寿华科技园、古塘坳工业园、惠城热电厂), 商业交通区 (简称

商交区: 东平广汕路段、环城西二路、下角中路), 居民区 2 个 (东湖花园四区、紫荆苑), 清洁对照区 (体育公园), 见图 1。

(2) 采样树种: 大叶榕 (*Ficus virens* var. *sub-lanceolata* (Miq.) Comer), 紫荆 (*Bauhinia blakeana*) 是惠州市较常见的绿化树种。对市内 30 条主要街道、3 个公园、5 处公共绿地、5 个居民区的绿化树种进行调查统计, 结果表明: 大叶榕、紫荆两种乔木占全市绿化树种的 24.6%, 故选取这两类较有代表性树种作为供试树种。

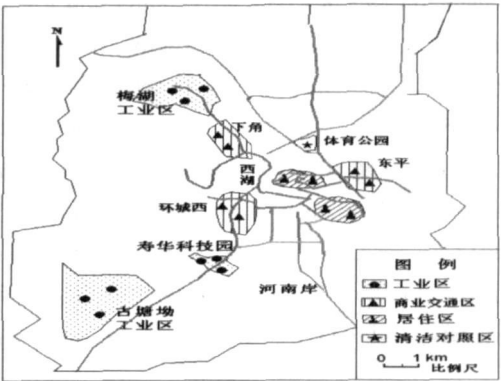


图 1 植物叶片与降尘采样点示意图
Fig 1 Sketch map of sampling sites

^{*} 收稿日期: 2006-12-18
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49571064); 广东省自然科学基金资助项目 (021740); 985 “GIS 与遥感的地质应用科技创新平台”; 惠州市科技局基金资助项目
作者简介: 邱媛 (1972 年生) 女, 博士研究生; 通讯联系人: 管东生; E-mail: eesgds@mail.sysu.edu.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3) 采样方法：当降雨量大于 15 mm 或风速大于 17 m/s 时，可认为植物叶片上的降尘被冲刷干净，可重新滞尘。本研究于 2005 年 9—10 月，雨后（降雨量为 18 mm）每隔 4 d 共进行 5 次采样。每树种约采集同一高度的成熟健康叶片 500 g 样品称重、纯净水清洗，用微孔滤膜（Φ0.45 μm）抽滤、收集降尘，共 27 个降尘样品，同时收集洗净叶片。采样植株高 7~14 m，胸径约 20~45 cm。

(4) 调查各采样点附近道路的交通流量。

1.2 样品测定

- (1) 将洗净的植物叶样品于烘箱内 70℃烘干至恒重，粉碎后过 60 目筛，称取 0.5 g 用 HNO₃-HClO₄ 法消解。
- (2) 所收集降尘样品于烘箱 70℃烘干至恒重，称取过 60 目筛样品 0.5 g 用 HNO₃-HClO₄ 法消解，开中山大学用 ICP-AES 测定叶片和降尘的重金属 Cr、Cu、Zn、Cd、Pb 的含量。

1.3 数据与图像处理方法

实验结果应用 SPSS11.0 统计软件进行 检验、ANOVA 方差分析、Pearson 相关分析等。图像由 MapInfo 7.0 和 Origin 6.10 制作完成。

植物中、叶片综合污染指数以清洁区为对照，
$$PI=1/n\sum_{i=1}^n(C_i/C_s)$$
，C_i、C_s 分别表示不同功能区和清洁对照区叶片重金属含量。以内梅罗污染指数 P_N 计算降尘重金属污染强度： $P_N=\{[(P_{均}^2)+(P_{最大}^2)/2]\}^{1/2}$ ， $P_i=C_i/C_s$ 式中 P_均 和 P_{最大} 分别是平均单项污染指数和最大单项污染指数；C_i 为降尘实测值，C_s 为广东省土壤元素背景值^[5]。

2 结果与分析

2.1 大叶榕与紫荆叶片重金属特征

ANOVA 方差分析表明（如表 1）不同功能区大叶榕与紫荆叶片重金属含量差异显著（P<0.05）。Post Hoc 多重比较发现商业交通区两植物的 Cu、Cd、Pb 及电厂所测金属含量均显著高于其他功能区（P<0.05）。各功能区综合指数 P 表现为电厂、商业交通区、工业区、居民区、清洁区的递减趋势。商业交通区内，大叶榕与紫荆 P 分别为 5.74 和 4.09，以车流量最大的环西路 P 最高；工业区中以电厂综合指数最大，其值分别为 7.93 和 5.38。多重比较结果表明：居民区与清洁区的重金属含量无显著性差异（P>0.05）。

表 1 惠州市大叶榕和紫荆叶片重金属含量
Tab. 1 Foliar heavy metal concentrations for Ficus var. subanceolata (Miq.) Corner and B. blakeana mg·kg⁻¹

物种	采样点	n	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	PI
大叶榕	商交区	9	28.603.87	33.247.30*	89.529.93*	0.160.04*	12.604.80*	5.01
	工业区	6	26.386.44	30.545.98*	85.9310.17*	0.060.07	3.570.54	2.11
	电厂	3	159.358.14*	40.787.29*	96.2012.37*	0.250.06*	11.083.47*	7.93
	居民区	6	26.095.59	22.875.74	62.617.58	N.D	3.270.63	1.11
	清洁区	3	23.025.14	20.455.14	56.659.27	N.D	2.750.50	1.00
紫荆	商交区	9	26.595.75	32.467.59*	84.329.40*	0.150.05*	10.555.54*	3.35
	工业区	6	28.187.32	29.867.96*	80.0412.17*	0.060.07	4.181.65	2.04
	电厂	3	52.3310.84*	25.015.48	90.9310.76*	0.360.08*	7.960.71	5.38
	居民区	6	25.575.72	19.854.83	59.978.19	0.110.03*	3.090.68	1.28
	清洁区	3	23.366.34	15.643.58	51.137.99	0.020.01	2.360.47	1.00

* P<0.05，N.D 为未检出（计算 P 时，N.D 以 0.01 mg/kg 计）

两树种 Pb 含量范围变化较大，在商业交通区最高，对照区中最低；Cd 则为工业区最高。大叶榕 Pb、Cd 含量分别为 2.22~20.23 mg/kg 和 N.D~0.32 mg/kg，紫荆为 1.95~21.37 mg/kg 和 0.01~0.45 mg/kg。商业交通区两树种叶片的 Pb、Cd 分别是对照区的 4.58、16.00 和 4.47、7.50 倍。电厂两植物的 Cd 为 25.00 和 18.00 倍，Pb 为 4.03 倍和 3.37 倍。

大叶榕的重金属含量略高于紫荆。但除 Zn 外，

ANOVA 检验两者差异不显著（P>0.05）。由于个体差异，大叶榕吸收积累重金属的能力略强。

2.2 叶面降尘重金属特征

ANOVA 方差分析显示（如图 2）不同功能区降尘的重金属含量存在显著性差异（P<0.05），Cu、Cd 含量以工业区最高，Zn、Pb 含量以商业交通区最高，居民区、清洁对照区则污染负荷相对较轻。不同功能区降尘综合污染指数由大到小为：工业区（140.9）、商业交通区（103.1）、居民区

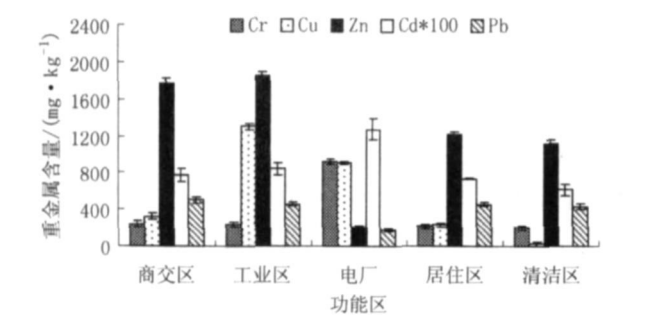


图 2 不同功能区降尘的重金属含量
Fig 2 Heavy metal concentrations for foliar
dusts of urban areas

(97.2)、清洁对照区 (89.4)。
居民区、清洁对照区降尘中 Zn、Pb 浓度也相对较高,均达到了背景值的 4 倍以上。Cd、Pb 污染尤其严重,不同功能区 Cd 含量达到了广东省背景值的 120 倍以上,居民区为 132 倍,商业交通区和工业区达 139 倍以上,Post Hoc 多重比较表明,工业区降尘的 Cd 显著高于其余各功能区。Pb 含量则是背景值的 12 倍以上。
2.3 植物叶片、叶面降尘的重金属含量与车流量关系

车流量调查结果表明,商业交通区、工业区、居民区、清洁区各路段高峰期交通车流量分别为,广汕路 3173 辆/h、下角中路 3335 辆/h、环西二路 3574 辆/h、寿华科技园 3089 辆/h、紫荆苑 3056 辆/h、东湖花园 2731 辆/h、体育公园为 1828 辆/h。显然,不同功能区的植物叶片、叶面降尘重金属含量随车流量的减少而降低,车流量最大的环西二路的植物叶片、叶面降尘重金属含量也最大,而体育公园对照区,各项检测指标最小。以体育公园为参照,对不同道路的交通流量进行标准化无量纲处理,分析其与植物叶片、叶面降尘的重金属含量关系。结果表明:交通流量与植物叶片重金属 Cu、Zn 达显著相关水平 ($P < 0.05$),大叶榕和紫荆叶的 Pearson 相关系数为 0.779 ~ 0.783 和 0.813 ~ 0.860。而降尘则只有 Zn 含量与车流量相关性显著 ($P < 0.05$), Pearson 相关系数为 0.764。
2.4 植物叶片与叶面降尘重金属的相关关系
由表 2 可见,除 Cr 和 Cd 元素外,大叶榕与紫荆叶片的重金属与叶面降尘中重金属相关性不显著。说明除 Cr、Cd 外,植物叶片中重金属较少直接来源于叶面降尘,仅通过气孔吸收富集降尘颗粒中移动性较大的 Cr、Cd。

表 2 植物叶片与叶面降尘重金属皮尔逊相关关系
Tab 2 Pearson correlation coefficients heavy metals between leaves and foliar dusts (n=9)

降尘	大叶榕					紫荆				
	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb
Cr	0.998**	0.630	0.457	0.651	0.338	0.991**	0.143	0.471	0.856**	0.208
Cu	0.244	0.482	0.586	0.239	-0.052	0.327	0.424	0.564	0.069	0.018
Zn	-0.816**	-0.086	0.136	-0.197	-0.056	0.780*	0.678*	0.128	-0.598	0.196
Cd	0.924**	0.751*	0.563	0.701*	0.398	0.946**	0.034	0.625	0.845**	0.326
Pb	-0.871**	-0.920**	0.324	-0.171	0.320	0.919**	0.398	-0.132	-0.602**	0.141

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

3 讨论

土壤中重金属多以离子形式被根交换吸附,许多研究认为 Cd、Zn、Pb、Cu 等重金属主要由根固定,再转运至其他器官^[6]。然而也有研究认为植物根吸收的重金属不易转移,主要局部固定于根部;叶中积累的重金属主要来自叶面的吸收,主要来源于 TSP 大气沉降等^[7]。Kozlov 等研究用富含重金属的矿山土培植苏格兰松,其针叶 Cu 含量增加不显著,也证实了叶中高含量的 Cu 很可能是源于叶面气孔的吸收^[8],并可观察到叶片张开的气孔上吸附有约 10 μm 的颗粒物^[3],所以细颗粒通过气孔进入叶肉组织是完全可能的。但 Klumpp 等^[9]研究发现,Cu 冶炼厂附近芒果叶面降尘 Cu 含

量远高于叶片 Cu 含量,认为大部分沉降在叶面的降尘重金属未被吸收。
本研究中,降尘重金属含量为叶片重金属含量的 2 ~ 800 倍,尤其 Cd、Pb 分别达到了 35 ~ 800 倍和 23 ~ 187 倍。然而叶中重金属的量并未随叶面降尘重金属含量的增加而显著增加,显然,叶面气孔从降尘中吸收的重金属量较少。并且 Pearson 相关分析也表明,除 Cr、Cd 元素外,大叶榕与紫荆叶片的重金属与降尘中重金属含量相关性不显著,也说明叶片气孔较少吸收来自大气沉降的重金属,仅有少部分移动性较大的 Cr、Cd 进入叶肉组织。这种现象可能与金属的有效态及可获得性、气孔吸收的饱和度有关。并且降尘中细小颗粒会堵塞气孔,阻碍气体交换,减少光吸收;颗粒物上大量富

集的营养元素也会影响气孔开张,使植物生理功能紊乱。叶面气孔较少从叶面降尘中吸收重金属的现象,可能也是导致叶片和叶面降尘的污染综合指数略有不同的原因,叶片以商业交通区最大,叶面降尘以工业区最大,即工业区叶面降尘中大部分重金属未被叶片吸收。Espínosa等^[10]研究也发现欧洲夹竹桃与大气粒子 PM₁₀中只有 Cu、Fe相关性显著。Pichle等^[11]研究表明,电池堆弃地的 Pb、Cd 元素可交换态仅占 0.4%和 9.4%,可溶态占 0.8%和 4.8%,而有机态为 48.5%和 19.2%, Pb (CO₃)₂、Cd (CO₃)₂ 分别为 42.5%和 44.2%;并且土壤中 Pb、Cd与植物中 Pb、Cd表现弱相关性。可见,有效态和可用于交换的 Pb比例较低,使降尘颗粒中 Pb难于被叶片吸收;而 Cd则有较大吸收。所以本研究中植物叶片与降尘的 Cd存在相关关系。杨金燕等^[12]研究证实,重金属的环境行为与生态效应,不取决于重金属的总量,主要取决于其存在形态及各形态数量比例。由此可见,大叶榕树和紫荆叶中重金属仅小部分来自于大气颗粒物沉降。

植物及叶面降尘与其生活环境息息相关,二者重金属含量与城市化、工业化程度密切相关性,区域特征显著。工业区、商业交通区的植物叶片、叶面降尘的重金属含量均高于车流量相对较小的居民区和清洁区,表明工业污染及交通排放对植物叶片及叶面尘上有较高的积累,反映显著的区域特征。所以植物叶片及其叶面降尘均可表征城市交通和工业化程度的影响,可作为大气污染及交通强度的有效指示剂。植物叶片以其生命周期及生理特性为期间,中长期效应显著;叶面降尘则以两次大风和大雨为期间,时效性较强。

4 结 论

(1) 惠州市不同功能区的大叶榕、紫荆叶片和叶面降尘的重金属含量差异显著,植物叶片重金属综合污染指数为:商业区交通区>工业区>居民区>清洁区;而叶面降尘的重金属综合污染指数则为:工业区>商业区交通区>居民区>清洁区。降尘重金属,尤其 Cd、Pb污染严重,不同功能区 Cd含量达到了广东省背景值的 120倍以上, Pb为 12倍以上。

(2) 降尘重金属含量为叶片重金属含量的 2—800倍,叶中重金属的量随叶面降尘重金属含量的增加不显著。除 C和 Cd元素外,大叶榕与紫荆叶片的重金属与叶面降尘中重金属相关性不显著,大叶榕和紫荆叶片吸收来自叶面降尘的重金属量较

少。

(3) 植物叶片及降尘重金属含量与城市化、工业化程度一致,并随车流量的减少而降低。可利用植物叶片及降尘监测指示大气污染,表征城市交通和工业化程度的影响。

致谢:感谢惠州市环境保护监测站的大力支持。

参考文献:

[1] 唐孝炎,王如松,宋豫秦.我国典型城市生态生态问题的现状与对策[J]. 国土资源,2005 5: 4—10

[2] GONZÁLEZ C M, CASANOVAS S S, PIGNATA M L. Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina eckonii* (Spreng) Mey and Felt. In Córdoba, Argentina[J]. Environmental Pollution 1996 91: 269—277

[3] TOMAČEVIC M, VUKMIROVIĆ Z, RAJŠIĆ S et al. Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area[J]. Chemosphere 2005 61: 753—760

[4] BAČIĆ T, LYNCH A H, CULTER D. Reactions to cement factory dust contamination by *Pinus halepensis* needles[J]. Environmental and Experimental Botany 1999 41: 155—166

[5] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990

[6] DAHMANN MULLER H, VAN OORT F, GÉLIE B et al. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter[J]. Environmental Pollution 2000 109: 231—238

[7] 潘如圭.三种经济植物对重金属吸收积累的研究[J].环境科学学报,1991 11(2): 231—235

[8] KOZLOV M V, HAUKOJA E, BAKHTIAROV A V et al. Root versus canopy uptake of heavy metals by birch in an industrial polluted area: contrasting behaviour of nickel and copper[J]. Environmental Pollution 2000 107: 413—420

[9] KILMPP A, HINTERMANN T, LIMA J S et al. Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties[J]. Environmental Pollution 2003 126: 313—321

[10] FERNÁNDEZ E, ROSSNIA J, OLIVA S. The composition and relations between trace element levels in inhalable atmospheric particles (PM₁₀) and in leaves of *Nerium oleander* L. and *Lantana camara* L. [J]. Chemosphere 2006 62: 1665—1672

[11] PICHTEL J, KUROWA K, SAWYERR H T. Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites[J]. Environmental Pollution 2000 110 (1): 171—178

[12] 杨金燕, 杨肖娥, 何振立. 土壤中铅的来源及生物有

效性[J]. 土壤通报, 2005 36 (5): 766—772

Heavy Metal Concentration in Foliage and Foliar
Dusts in Huizhou, Guangdong Province

QU Yuan¹, GUAN Dong-sheng², CHEN Huan¹, LI Xiao-yan¹, HUAN Hu¹

- (1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Environmental Monitoring Station of Huizhou, Huizhou 516000, China)

Abstract: Based on the land use in Huizhou, Guangdong Province, concentrations of heavy metals (Cr, Cu, Zn, Cd, Pb) for two common roadside trees (*Ficus virens* var. *sublanceolata* (Miq.) Corner and *Bauhinia blakeana*) leaves and their foliar dust in nine sampling sites in different urban areas were determined by ICP-AES. The results showed that heavy metal concentration in leaves was significantly different in various urban areas, and their pollution index was in order of commercial and traffic area (CTA) > industrial area (IA) > residential area (RA) > control area (CA), and for foliar dust in order of IA > CTA > RA > CA. Leaves of *F. virens* var. *sublanceolata* (Miq.) Corner absorbed slightly higher heavy metal than that of *B. blakeana*. Heavy metal contents in foliar dust were elevated, especially Cd and Pb, which were over 120 folds and 12 folds of the soil background values of Guangdong province, respectively. Foliar dust accumulated heavy metal as high as 2 ~ 800 times that in leaves, indicating foliage absorbed less heavy metal via its stomata. The concentration of heavy metal in foliage and foliar dust varied with surrounding and traffic density. Presence of Cr and Cd in foliage and foliar dust was highly correlated. So, foliage and foliar dust can be effective indicators of air pollution in areas concerned and have potential capacity to reduce and remove atmosphere pollution and dust particles.

Key words: tree foliage; heavy metal; foliar dust; urban area; Huizhou of Guangdong Province

(上接第 87 页)

Influence of Larvae Feeding Experience on the Oviposition Preference of
Bactrocera dorsalis (Hendel)

ZHENG Xiao-ping¹, LIU Qun-shan¹, XIE Qi², ZHANG Run-jie¹

(State Key Laboratory of Biocontrol & Institute of Entomology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Feeding experience of larvae could impact the oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* (Hendel). Female adults emerging from the colony cultured with banana in continuous 20 generations strongly prefer to banana, and the eggs laying on the banana is the most, the next is mango, showing a significant difference. Raising one generation with banana, the eggs laying mango is the most, the next is banana. There is no significant difference. Cultured with the wax apple and wampee for one generation, the female prefer mango to banana. However, the eggs on the wax apple is the least and the wampee in the fourth. The feeding experiences of larvae would also impact the choosing on colors and parts of the host fruit. The results show that the number of eggs in flesh of banana is more than the hull of banana. But the eggs in flesh of mango is much less than the hull. The number of eggs on the yellow cup is at maximum, indicating yellow color more attraction to the fly than green, red and black color.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; larvae feeding experience; oviposition preference

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>