

# 城市功能对地表灰尘 Cd 的影响

——以贵阳市为例

李晓燕 李保冬 陈朋 曹益金

贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001

**摘要** 以贵阳市为例,对地表按城市功能分区采集灰尘样品,从不同功能区灰尘 Cd 总量和不同粒径灰尘 Cd 含量及贡献两个角度考察城市功能对地表灰尘 Cd 的影响。结果表明:贵阳市地表灰尘 Cd 平均水平为 1.28 mg/kg。各功能区地表灰尘中 Cd 含量由高到低的顺序为广场区>学校区>工业区(住宅区)>交通区>商贸区(垃圾站)。城市功能的影响导致地表灰尘 Cd 的累积呈现 3 个水平。广场区和学校区累积最重,校园内某些含 Cd 高的辅助材料可能是导致地表灰尘 Cd 累积较重的原因之一。不同粒径灰尘 Cd 水平的分异特征在不同功能区表现各不相同。商贸区、垃圾站地表灰尘 Cd 主要富集于细粒级( $\leq 105 \mu\text{m}$ )灰尘;广场区、校园区和住宅区地表灰尘 Cd 明显富集于中等粒级( $105 \sim 250 \mu\text{m}$ );工业区和交通区地表灰尘 Cd 含量粒级差别不明显。所有功能区 Cd 的粒级行为均显示,3 个粒级灰尘中,粗粒级对 Cd 的贡献最小。工业区、商贸区和交通区细粒级贡献最大,住宅区、城市广场区和垃圾站中等粒级对灰尘 Cd 的贡献最大。除垃圾站中等粒级对 Cd 的贡献相对偏低外,其他各功能区中等粒级的贡献相差不悬殊。

**关键词** Cd; 粒径; 功能区; 灰尘; 贵阳

**中图分类号** X 513 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)04-0480-05

Cd 是地表灰尘中易累积重金属之一,具有较强的可迁移性和生物活性<sup>[1]</sup>,能引发多器官系统毒性从而危害人体健康<sup>[2]</sup>。近年来,不少学者对地表灰尘中的 Cd 累积程度进行了研究,结果表明,城市地表灰尘 Cd 含量均高于当地土壤背景值,且一些地区环境累积或污染较为严重<sup>[3-4]</sup>。在对灰尘 Cd 的进一步研究过程中,Cd 等重金属在灰尘中的粒级效应逐渐成为关注的热点<sup>[4-5]</sup>,研究发现灰尘中 Cd 等重金属水平与灰尘颗粒物的粒径有着直接关系,不同粒径灰尘中重金属分布特征不同<sup>[4]</sup>。但这些研究大多是针对整个城市地表灰尘进行的,而对 Cd 在不同功能区地表灰尘中的粒级行为研究还鲜见报道。地表灰尘的形成与城市地表使用功能有关<sup>[6]</sup>,不同功能区受人为活动及周围环境影响的不同,地表重金属含量会存在一定差异<sup>[7]</sup>。因此,为有效降低和控制地表灰尘 Cd 水平,Cd 在不同功能区地表灰尘中的粒级行为特征是一个值得研究和解析的关键问题。笔者以贵州省贵阳市为例,对地表按城市

功能分区布点,采集灰尘样品,从不同功能区灰尘 Cd 总含量和不同粒径灰尘 Cd 含量及贡献两个角度探析城市功能对地表灰尘 Cd 的影响,以期为更有效地防治区域地表灰尘 Cd 污染提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

贵阳市地处黔中山原丘陵中部,海拔高度 1 100 m 左右,土地总面积 8 034 km<sup>2</sup>,属于亚热带湿润温和型气候,年平均气温为 15.3 °C,年平均相对湿度为 78%,年平均总降水量为 1 129 mm。城区辖云岩、南明和小河 3 个行政区,面积 220 km<sup>2</sup>,占全市面积的 1.97%。贵阳市城区集中,人口密度高,以云岩区南部和南明区北部为主的贵阳市市中心(老城区)聚居了近 200 万人口,平均每平方公里人口密度达 3 万之多,同时机动车辆超过 10 万辆。贵州省具有较高的 Cd 地球化学背景,而贵阳市表层土壤 Cd 含量在全省各大城市中处于高水平<sup>[8]</sup>。

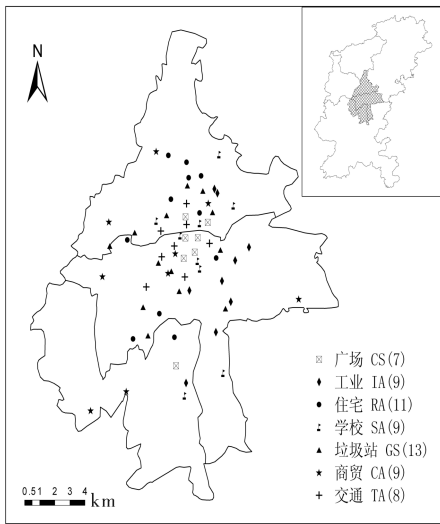
收稿日期: 2012-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161079)、贵州省科学技术基金(黔科合 J 字[2011]2092)和贵州省科技支撑计划项目(黔科合 SY[2010]3038)

李晓燕,博士,教授。研究方向:区域环境质量。E-mail: lxyan421@163.com

## 1.2 样品采集与处理

研究共设置66个样点,按照城市功能分为工业区(industrial area, IA)、住宅区(residential area, RA)、交通区(traffic area, TA)、城市广场区(city square, CS)、校园区(school area, SA)、商贸区(commercial area, CA)和垃圾站(garbage stations, GS)7种区域对贵阳市城区地表进行灰尘采样(图1)。每个采样点用毛刷和塑料撮箕扫取灰尘,在采样点区域均匀布设分点,采集4~5个分样混合成1个综合样。交通区采样为贵阳市主干道十字路口的4个路口采集分样混合而成,商贸区和垃圾站等没有固定区域的路边采样点,分别在街道两旁扫取4个分样组成1个分析样品。在66个样品中,根据不同的地理位置,选取14个(每个功能区2个)样品,先过425 μm筛,然后用不锈钢筛逐级筛分为粗粒级(250~425 μm)、中等粒级(105~250 μm)和细粒级(≤105 μm)3个粒级样品,备用,其余所有样品常温干燥后全部过105 μm筛,备用。



CS: City square; IA: Industrial area; RA: Residential area; SA: School area; GS: Garbage stations; CA: Commercial area; TA: Traffic area; 括号中数字表示样本数 The number in parentheses represents samples; 下同 The same as below.

图1 贵阳市城区地表灰尘采样点

Fig.1 Dust sample sites in Guiyang

## 1.3 化学分析与数据处理

所有分析样品均采用HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>混溶,0.5% HNO<sub>3</sub>定容,ICP-MS测定(Thermo XSERIES 2)Cd。分析过程中分别按原始样品10%的比例插入国家土壤标准参比物质(GSS-4)和重复样进行质量控制。分析合格率在95%以上。数据

分析采用SPSS软件。统计分析前,通过数据转换确保数据符合正态分布。文中均采用符合正态分布的均值表征样本。

不同粒级灰尘对Cd的贡献(权重)计算方法:

$$M = \frac{C_i \times R_i}{\sum_{i=1}^3 C_i R_i} \times 100\%$$

式中,C<sub>i</sub>是不同粒级灰尘中Cd含量,mg/kg,R<sub>i</sub>为不同粒级灰尘质量百分比,i=1,2,3,表示粗粒级、中等粒级和细粒级。

## 2 结果与分析

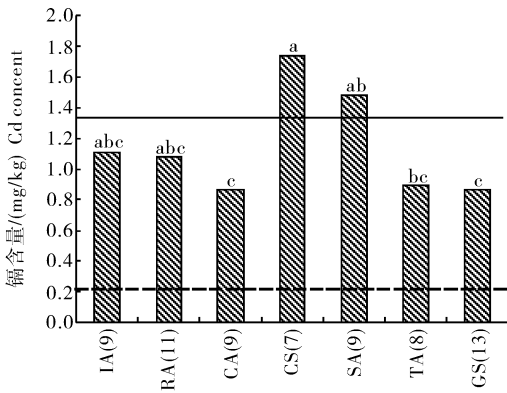
### 2.1 贵阳市地表灰尘Cd水平

贵阳市地表灰尘中Cd含量数据符合对数正态分布,平均值(几何均值)为1.28 mg/kg。与土壤背景值<sup>[9]</sup>相比,Cd显著高于背景值(P=0.000),66份样本中,除1个样点Cd含量低于背景值外,其余全部高于背景值。Cd含量最高值位于市中心广场区,含量3.57 mg/kg,是背景值的17.2倍。超过2、5、10、15倍背景值的样本比率分别是97%、52%、9%和4.5%。

### 2.2 不同功能区地表灰尘Cd分布及累积特征

将地表灰尘Cd含量按照不同功能区统计,样本用几何均值表示。各功能区地表灰尘Cd平均值见图2。城市广场区Cd含量最高,7个样本Cd含量范围0.93~3.57 mg/kg,几何平均值1.74 mg/kg,约为土壤背景值的8.36倍,是贵阳市全部灰尘样本Cd均值的1.36倍;其次是学校区,灰尘Cd含量为1.48 mg/kg,是背景值的7.12倍,也高于贵阳市Cd平均值;垃圾站附近地表灰尘Cd含量最低,为0.864 mg/kg,低于贵阳市平均水平,是背景值的4.15倍。各功能区地表灰尘中Cd含量由高到低的顺序为广场区>学校区>工业区(住宅区)>交通区>商贸区(垃圾站),其中,广场区灰尘Cd显著高于商贸区、交通区和垃圾站,学校区灰尘Cd显著高于商贸区和垃圾站。

将不同功能区地表灰尘Cd相对于土壤背景值的平均累积系数进行层级聚类分析,结果(图3)显示,不同功能区地表灰尘Cd水平分为3类:第1类包括商贸区、垃圾站和交通路口,含量最低,平均累积系数为4.21;第2类包括工业区和住宅区,平均累积系数5.27,属中等累积;第3类包括广场区和学校区,地表灰尘Cd累积最重,累积系数为7.74。



IA:工业区 Industrial area; RA:居民区 Residential area; CA: 商贸区 Commercial area; CS:广场区 City square; SA:学校区 School area; TA:交通区 Traffic area;GS:垃圾站 Garbage stations; .....土壤背景值; ——贵阳市地表灰尘 Cd 几何平均值,括号中数字为样本数,含不同字母表示显著性差异。.....Represents the background value of Cd in Guizhou soil, —— Represents the geometric mean of Cd in Guizhou soil from this study. The number in parentheses represents samples. The different letters represent significant difference.

图 2 不同功能区地表灰尘 Cd 水平

Fig. 2 The level of Cd in dusts in different function area

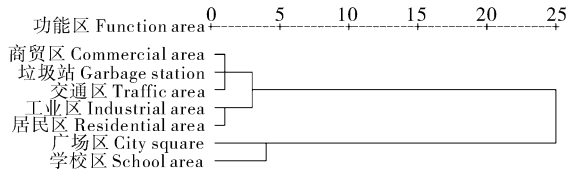


图 3 功能区 Cd 几何均值层级聚类分析结果

Fig. 3 Dendrogram of hierarchical cluster analysis of accumulation coefficient of Cd in function area in Guiyang

2.3 不同功能区不同粒径灰尘 Cd 分异特征

不同粒径灰尘 Cd 水平的分异特征在不同功能区表现各不相同(图 4)。Cd 含量差异总体趋势呈细粒级( $\leq 105 \mu\text{m}$ )>中等粒级( $105\sim 250 \mu\text{m}$ )>粗粒级( $250\sim 425 \mu\text{m}$ )的功能区有工业区、商贸区和垃圾站,工业区 3 个粒径 Cd 含量极为接近,分异不大,商贸区和垃圾站 3 个粒径差异明显,特别是垃圾站,Cd 在细粒级灰尘中的含量远高于其他 2 个粒径,细粒级 Cd 水平分别是中等粒级和粗粒级的 1.72 和 2.27 倍。另一种分异趋势是 Cd 主要富集于中等粒级灰尘中,具有这类分异特征的功能区有住宅区、城市广场区、学校区和交通区,交通区细粒级和中等粒级灰尘 Cd 含量差异不明显,但都明显高于粗粒级;住宅区细粒级和粗粒级灰尘 Cd 含量差异不明显;校园区灰尘 Cd 分异特征是中等粒级

( $105\sim 250 \mu\text{m}$ )>细粒级( $\leq 105 \mu\text{m}$ )>粗粒级( $250\sim 425 \mu\text{m}$ );城市广场区灰尘 Cd 分异特征是中等粒级( $105\sim 250 \mu\text{m}$ )>粗粒级( $250\sim 425 \mu\text{m}$ )>细粒级( $\leq 105 \mu\text{m}$ )。

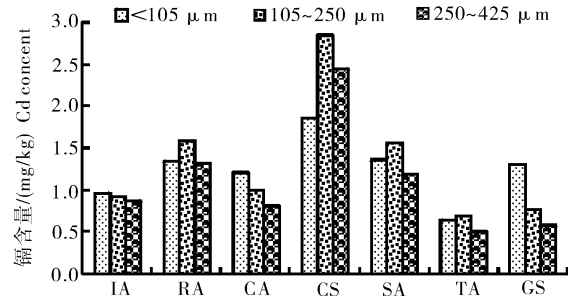


图 4 不同功能区不同粒径灰尘 Cd 含量

Fig. 4 The level of Cd in size fractions of dusts in different function area

2.4 不同功能区地表灰尘各粒径灰尘 Cd 的权重

不同功能区灰尘粒径质量百分比具有 2 种趋势,一种是细粒级比例最高,总体表现为质量分数细粒级( $\leq 105 \mu\text{m}$ )>中等粒级( $105\sim 250 \mu\text{m}$ )>粗粒级( $250\sim 425 \mu\text{m}$ ),属于此种情况的功能区有工业区、住宅区、商贸区、城市广场区、校园区和交通区,平均质量分数为分别为 49.9%、37.1%和 13.0%;另一种情况是细粒级质量分数最低,属于此种情况的是城市垃圾中转站,质量分数大小顺序为中等粒级(48.9%)>粗粒级(32.8%)>细粒级(18.3%)。

根据各粒径灰尘的质量分数及 Cd 含量,不同粒径对贵阳市地表灰尘的 Cd 的贡献见图 5。所有功能区均显示,3 个粒径灰尘中,粗粒级对 Cd 的贡献最小,仅为 6%~23%。工业区、商贸区和交通区细粒级贡献最大,为 52.4%~64.5%,粗粒级对 Cd 的贡献均低于 10%。住宅区、城市广场区和垃圾站中等粒级对灰尘 Cd 的贡献最大,分别为 43.8%、48.2%和 46.4%,校园区中等粒级与细粒级对灰尘 Cd 的贡献基本持平。7 种功能区中,垃圾站粗粒级

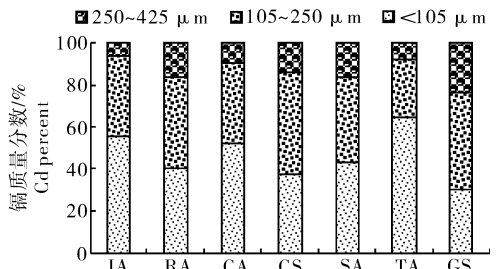


图 5 不同功能区不同粒径灰尘对 Cd 的贡献

Fig. 5 The contribution to Cd in dusts from size fractions in different function area

灰尘对Cd的贡献相对最高。所有功能区中,除交通区中等粒度对Cd的贡献相对偏低外,其他各功能区之间中等粒度的贡献相差不悬殊。

## 3 讨论

### 3.1 不同城市地表灰尘Cd水平及累积状况

近年来,学者们对不同城市地表灰尘Cd水平及累积状况进行了报道,但城市地表灰尘进入分析的灰尘粒度不同,其物质组成及元素含量也会略有差异<sup>[10-11]</sup>。与本研究分析粒度相近的部分研究有:北京城市广场区和校园区地表灰尘Cd平均值为0.765 mg/kg,相对于当地土壤背景值的累积系数为3.84<sup>[12]</sup>;上海公园地表灰尘Cd含量为1.58 mg/kg,累积系数为11.9<sup>[13]</sup>;合肥市居民、商业、工业区和交通等5个功能区地表灰尘Cd平均含量为4.53 mg/kg<sup>[3]</sup>,累积系数为46.0;安哥拉卢旺达的城中心和住宅区地表灰尘Cd为1.01 mg/kg<sup>[14]</sup>,西班牙Avile's城市住宅区和工业区地表灰尘Cd平均值为22.3 mg/kg<sup>[15]</sup>。贵阳市地表灰尘Cd含量为1.28,累积系数为6.15,与上述城市相比,贵阳市地表灰尘Cd含量高于中国的北京、杭州和安哥拉的卢旺达,低于合肥和西班牙的Avile's城市,处于中等水平。

### 3.2 不同功能区地表灰尘中Cd的累积及其来源

张慧敏等<sup>[6]</sup>对杭州不同功能区地表灰尘重金属研究显示,Cd在工业区地表灰尘中水平最高,其次是商业区。本研究结果显示贵阳市城市广场区地表灰尘Cd水平最高,其次是学校区。7个功能区中,城市广场区和学校区地表灰尘Cd累积最重。本研究中7个城市广场区,1个在城南,其余6个均位于城中心,城市广场区Cd含量高可能与采样点主要集中在城中心有关;9个学校区采样点在贵阳市城区各个方位基本分布均匀,研究过程中,对少数学校区散落在地面的漆沫、课桌漆片和塑胶操场跑道旁的塑胶碎片收集分析,发现漆沫Cd含量最高值为4.37 mg/kg,塑胶碎片Cd含量为1.51 mg/kg,分别是贵州省土壤Cd含量背景值的21和7.3倍,说明校园区内这些含Cd量高的辅助材料可能是导致地表灰尘Cd累积较重的原因之一。另外广场区和学校区都具有大量固定人群集中来往和停留的特点,是否人群步行驻足也一定程度上导致了灰尘的迁移、聚合乃至元素在中等粒度中的富集<sup>[16]</sup>,还有待进一步探讨。

### 3.3 贵阳市地表灰尘Cd的粒径行为特征

研究显示灰尘中Cd主要富集于小于100 μm左右的细粒度中,如芜湖市灰尘中Cd在100~160 μm、160~200 μm和>200 μm的各粒径级上的含量明显高于20~60 μm、60~100 μm粒径级上的含量<sup>[17]</sup>;Manno等<sup>[18]</sup>报道西西里63~125 μm粒径级别是重金属主要污染粒径级别;韩国某典型工业城市地表灰尘Cd在小于75 μm粒度的灰尘中具有较高浓度<sup>[5]</sup>;杭州地表灰尘重金属含量明显增加的粒度是在100 μm左右<sup>[6]</sup>。但也有报道说明灰尘Cd在不同粒度间的含量差别较小,且Cd在粗粒度(600~830 μm)和细粒度(50~105 μm)中的含量普遍较高<sup>[4]</sup>。

本研究显示不同粒度灰尘Cd水平的分异特征在不同功能区表现各不相同(图4)。商贸区、垃圾站地表灰尘Cd主要富集于细粒度(≤105 μm);广场区、校园区和住宅区地表灰尘Cd明显富集于中等粒度(105~250 μm);工业区和交通区地表灰尘Cd含量粒度差别不明显。贵阳市地表灰尘Cd的粒度行为与累积程度及来源有关。总体上看,灰尘Cd主要富集于中等粒度的功能区地表灰尘Cd累积较重,这些功能区(学校区和广场区)地表灰尘Cd可能部分来源于周围的建筑辅助材料,也可能因为人群定时来往和驻足使得颗粒物之间的相互运动增强导致中等粒度灰尘中元素含量升高<sup>[16]</sup>。而灰尘Cd主要富集于细粒度的功能区地表灰尘Cd累积较轻,推测这部分功能区地表灰尘Cd主要来自大气沉降。

## 参 考 文 献

- [1] BANERJEE A D K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India [J]. Environmental Pollution, 2003, 123(1): 95-105.
- [2] 王鸿飞. 环境镉污染及镉对环境暴露人群的研究[J]. 广东微量元素科学, 2002, 9(7): 24-26.
- [3] 李如忠, 周爱佳, 童芳, 等. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评估[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2661-2668.
- [4] 田晖, 周小锋, 姚超英. 杭州城市灰尘中Pb、Cd的粒径分布特征[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(6): 19-25.
- [5] DUONG T T T, LEE B K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics [J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92: 554-562.



- [6] 张慧敏,章明奎.杭州不同功能区道路灰尘中污染物的分布和有效性[J].广东微量元素科学,2007,14(12):14-18.
- [7] 常静,刘敏,侯立军,等.城市地表灰尘的概念、污染特征与环境效应[J].应用生态学报,2007,18(5):1153-1158.
- [8] 何邵麟,龙超林,刘应忠,等.贵州地表土壤及沉积物中镉的地球化学与环境问题[J].贵州地质,2004,21(4):245-250.
- [9] 国家环境保护局.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [10] 谢宏芳,方凤满,王海东.城市街道灰尘重金属污染研究进展[J].环境污染与防治,2010,23(5):78-81.
- [11] VIKI A M. Particle size distribution and metal content in street sediments[J]. Environmental Engineering, 1998, 124(8): 761-766.
- [12] 李晓燕,陈同斌,雷梅,等.北京城市广场及校园的表土和灰尘中重金属含量及健康风险[J].地理研究,2010,29(6):2-9.
- [13] 史贵涛,陈振楼,许世远,等.上海城市公园土壤及灰尘中重金属的污染特征[J].环境科学,2007,28(2):238-242.
- [14] FERREIRA-BAPTISTA L, MIGUEL E D. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(25): 4501-4512.
- [15] ORDÓÑEZ A, LOREDO J, MIGUEL E D, et al. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2003, 44: 160-170.
- [16] AL-CHALABI A S, HAWKER D. Retention and exchange behaviour of vehicular lead in street dusts from major roads[J]. Science of the Total Environment, 1996, 187(2): 105-119.
- [17] 方凤满,蒋炳言,王海东,等.芜湖市市区地表灰尘中重金属粒径效应及其健康风险评价[J].地理研究,2010,29(7):1193-1201.
- [18] MANNO E, VARRICA D, DONGARRÀ G. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(30): 5929-5941.

## The distribution characteristics of Cd in different function area of city

——Take Guiyang City as a case

LI Xiao-yan LI Bao-dong CHEN Peng CAO Yi-jin

*School of Geographic and Environmental Sciences,  
Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China*

**Abstract** Based on street dust sampling in different function area in Guiyang City, the influence of city function on Cd in dust in terms of the total Cd level and the Cd level in different size fractions of dusts in different function area was analyzed. The result showed that the average value of Cd in dusts of Guiyang was 1.28 mg/kg. The level of Cd dusts was indexed in the order of city square > school > industry area (residential area) > traffic area > commercial area (garbage stations). The effect of city function resulted in three levels of Cd accumulation in dusts. The heavily accumulated area were city square and school area. Materials with high Cd concentrations may lead to the heavy Cd accumulated in dust there. Dusts Cd in commercial area and garbage stations were mainly enriched in fine fraction ( $\leq 105 \mu\text{m}$ ) while those in city squares, school area and residential area were mainly enriched in the medium size fraction ( $105-250 \mu\text{m}$ ). There were no significant difference in size fractions in industry and traffic area. The evidence of the least contribution from coarse fraction to Cd in dust was obvious in all function area.

**Key words** Cd; size fractions; function area; dust; Guiyang

(责任编辑:陆文昌)