

## 监测与评价

## 河池市矿区地表灰尘中重金属污染及生态风险评价

黄春霞<sup>1</sup>, 韦妮玉<sup>2</sup>

(1. 广西理工职业技术学院, 广西 崇左 532200; 2. 南宁学院, 广西 南宁 530001)

**摘要:**以广西南丹大厂镇、车河镇周边地区为研究区域,对比不同区域地表灰尘中重金属As、Pb、Cd含量特征和主要的污染来源,应用潜在生态风险评价和地积累指数评价法分析研究区重金属污染程度。结果表明,研究区道路、室内灰尘重金属As、Pb、Cd均严重超标;与车河镇相比,大厂镇道路、室内灰尘重金属As、Pb的污染程度比车河镇严重,Cd污染较轻;车河镇道路和室内重金属Pb达到重污染程度,属于强生态危害水平,其他地表灰尘重金属均达到了极重度污染或极强生态危害程度。

**关键词:**重金属;特征;道路;室内灰尘;生态风险评价

中图分类号:X826 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2019)03-0045-06

## Heavy metal pollution and ecological risk assessment of surface dust in Hechi mining area

HUANG Chun-xia<sup>1</sup>, WEI Ni-yu<sup>2</sup>

(1. Guangxi Institute of Occupational Technology, Chongzuo 532200, China;

2. Nanning University, Nanning 530001, China)

**Abstract:**Through investigating the area near Dachang Town and Chehe Town in Nandan, Guangxi, the characteristics and main sources of As, Pb and Cd in surface dust were compared in different areas. Potential ecological risk assessment and land accumulation index method were applied to evaluate heavy metal pollution. The results showed that the concentrations of As, Pb, Cd in the street dust and indoor dust were much higher than local standards. The pollution of As and Pb in Dachang Town was more serious than that of Chehe Town, but the pollution of Cd was opposite. In Chehe Town, heavy metals, except Pb, in surface dust had reached extremely serious pollution and extremely strong ecological hazard level. Pb metal reached serious pollution and strong ecological hazard level.

**Key words:** Heavy metal; Characteristics; Street and indoor dust; Ecological risk assessment

## 0 引言

重金属元素镉(Cd)和砷(As)为明确的化学致癌物,铅(Pb)为可能的化学致癌物,这些有毒有害重金属可以存在于土壤、灰尘等环境介质中,通过外动力迁移作用以及污染食物和水环境等方式直接或间接地影响生态环境质量和危害人类健康,其风险日益受到学术界的关注<sup>[1-5]</sup>。

广西南丹有色金属矿产资源丰富,近几十年来,矿产资源的开发造成了严重的环境污染,危害当地居民健康,因此陆续引起国内诸多学者的广泛关注。对于广西南丹矿区重金属污染的研究,主要集中在重金属的环境迁移特征<sup>[6]</sup>、土壤重金属污染及其健康风险评价<sup>[7-9]</sup>、家庭重金属污染及其生态风险评价<sup>[10]</sup>等方面。本研究以河池市南丹县大厂镇、车河镇作为研究区域,分析比较矿区道路和

收稿日期:2018-12-28

项目支持:2018年度广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY1226)

第一作者简介:黄春霞(1989-),女,甘肃武威人,硕士。E-mail:960191706@qq.com

引用格式:黄春霞,韦妮玉.河池市矿区地表灰尘中重金属污染及生态风险评价[J].能源环境保护,2019,33(3):45-50.

室内灰尘中重金属(As、Pb、Cd)的含量水平、累积状况、来源以及生态危害程度,以期为矿区灰尘中重金属的污染防治、科学决策以及环境治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与分析

在研究区的各个社区及自然村屯采集道路和室内灰尘样品,具体采样点见图1。本研究总共采集了75个灰尘样品,用自封袋密封保存。所有灰尘样品带回实验室自然风干,挑出毛发、石屑、植物碎屑等杂物后过20目筛,再以四分法取1/4的灰尘样品于玛瑙研钵内研磨过100目筛,称取过

筛样品0.5g于聚四氟乙烯杯中,采用HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub>加热消解。重金属Cd采用火焰原子吸收光谱仪测定,As、Pb利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)测定。

### 1.2 潜在生态危害指数评价方法

潜在生态危害指数法是瑞典学者 Hakanson<sup>[12]</sup>基于元素丰度和释放能力原则建立的一套评价重金属污染及生态危害的方法。该方法考虑土壤及沉积物重金属含量,并将重金属的环境效应、生态效应与毒理学联系在一起,采取具有可比性、等价属性指数分级法进行评价,是应用最广泛的方法之一。潜在生态危害指数计算方法及指标的分级情况详见孟昭虹等的研究<sup>[13]</sup>。



图1 大厂镇、车河镇采样点示意图(引自韦妮玉<sup>[14]</sup>)

### 1.3 地积累指数重金属污染评价方法

地积累指数( $I_{geo}$ )是德国科学家 Muller 提出的一种研究水环境沉积物中重金属污染的定量指标<sup>[14]</sup>。因其不仅考虑到污染因素、环境地球化学背景值等,也注意到自然早岩作用可能引起背景值变动的因素,在欧洲得到广泛应用。地积累指数( $I_{geo}$ )计算方法如下:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (k \times B_n)] \quad (1)$$

式中, $C_n$ 为样品中元素 $n$ 的含量(实测值); $B_n$ 为元素 $n$ 的地球化学背景值,As、Pb、Cd的 $B_n$ 取河池土壤环境背景值, $k$ 为修正系数(一般取值为1.5),考虑成岩作用可能会引起背景值的变动。地积累指数( $I_{geo}$ )与重金属污染程度的关系详见张菊等的研究<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 地表灰尘重金属含量特征

#### 2.1.1 大厂镇道路、室内灰尘重金属含量

大厂镇道路灰尘重金属的As、Pb、Cd的平均

含量分别为4 466.91 mg/kg、1 224.22 mg/kg、55.18 mg/kg,分别是河池地区土壤背景值的396.71倍、69.44倍、543.65倍,是土壤三级标准的111.67倍、2.45倍、55.18倍。可见,大厂镇道路灰尘As、Pb、Cd三种重金属元素已超过国家允许最大含量,达到重度污染程度,对生态环境、农林生产以及人体健康构成威胁。

大厂镇室内灰尘重金属As、Pb、Cd的均含量分别是2 864.14 mg/kg、1 185.88 mg/kg、39.25 mg/kg,分别是河池土壤背景值的254.36倍、67.26倍、386.70倍,三种重金属元素平均含量均超过国家三级标准限值。

对比大厂镇道路灰尘和室内灰尘重金属的平均含量(表1),发现道路灰尘的As、Pb、Cd含量均高于室内灰尘重金属的含量。另外将大厂镇对应采样点的道路灰尘和室内灰尘重金属含量进行相关性分析,结果见图2。道路灰尘和室内灰尘中As含量的相关系数 $r=0.937$ 、Pb含量的相关系数 $r=0.688$ ( $n=12$ ,均通过 $p<0.01$ 的相关性检验),即道

路与室内灰尘重金属 Pb、As 元素呈现极显著正相关;Cd 含量的相关系数  $r=0.572$  ( $n=12$ , 通过  $p<0.05$  的相关性检验),Cd 元素呈显著正相关关系。由此可见,大厂镇室内灰尘可能主要来源于室外道路灰尘。另外,将室内、道路灰尘中 As、Pb、Cd

三种重金属含量分别进行相关性分析,发现室内、道路灰尘中这三种重金属含量之间均具有显著相关关系,以上分析说明这三种灰尘重金属具有很强的同源性。

表 1 大厂镇、车河镇道路和室内灰尘重金属含量

区域 灰尘类型	元素	范围(mg/kg)	平均值(mg/kg)	河池土壤背景值(mg/kg)	变异系数(%)	富集系数
大厂镇道路 (DD)	As	406.50~18130.00	4466.91	11.26	106.01	396.71
	Pb	160.20~3472.00	1224.22	17.63	71.12	69.44
	Cd	11.62~137.00	55.18	0.10	65.55	543.65
大厂镇室内 (DS)	As	311.30~18210.00	2864.14	11.26	118.71	254.36
	Pb	172.40~3728.00	1185.88	17.63	58.81	67.26
	Cd	12.87~71.66	39.25	0.10	43.23	386.70
车河镇道路 (CD)	As	925.80~10452.42	2997.45	11.26	78.41	266.20
	Pb	161.47~2420.00	761.54	17.63	70.66	43.20
	Cd	33.34~357.97	82.81	0.10	99.92	815.86
车河镇室内 (CS)	As	406.10~4197.00	2115.31	11.26	67.76	187.86
	Pb	222.30~1242.00	826.19	17.63	46.71	46.86
	Cd	6.83~219.80	86.78	0.10	86.64	854.98

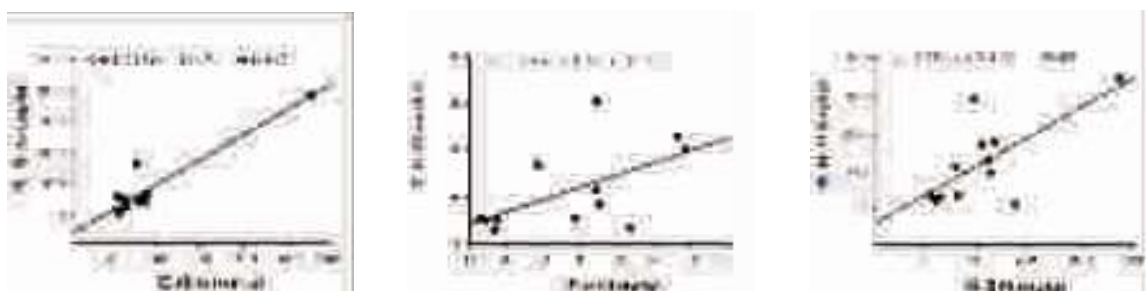


图 2 大厂镇道路、室内灰尘重金属相关性分析

### 2.1.2 车河镇道路、室内灰尘重金属含量

采集车河镇地表道路灰尘共 14 个,分析 3 种重金属含量特征,其结果见表 1。道路灰尘的重金属 As、Pb、Cd 平均含量分别是 2 997.45 mg/kg、761.54 mg/kg、82.81 mg/kg, 约是土壤背景值的 266 倍、43.2 倍、828.1 倍, 是土壤三级标准的 75 倍、1.5 倍、82 倍,已超过国家允许的最大含量。

车河镇室内灰尘重金属样品共 11 个,经分析测定重金属 As、Pb、Cd 的平均含量分别是 2 115.31 mg/kg、826.19 mg/kg、86.78 mg/kg, 约是河池地区土壤背景值的 187.86 倍、46.86 倍、867.8 倍,均超出河池地区土壤背景值。

分析对比车河镇道路和室内灰尘重金属 As、Pb、Cd 的含量,其中道路灰尘的 Pb、Cd 平均含量略低于室内灰尘的 Pb、Cd 含量,而 As 含量表

现相反。另外,在中心小学、车河招待所、小区以及塘坳屯采集的室内灰尘样品重金属含量均高于道路灰尘重金属含量。例如,在丰塘坳屯采集的室内灰尘样 As、Pb、Cd 的含量分别是 925.60 mg/kg、3 508 mg/kg、219.80 mg/kg, 对应的道路灰尘样品 As、Pb、Cd 含量分别 753.44 mg/kg、2 880.83 mg/kg、149.11 mg/kg。有研究表明室内灰尘中重金属的累积可能比室外灰尘更高<sup>[6]</sup>,如 Liggins 等<sup>[7]</sup>的研究表明家庭灰尘中的 Pb 的含量明显高于室外地表灰尘和土壤。本研究中车河镇室内灰重金属 Pb、Cd 的富集系数大于道路灰尘 Pb、Cd 的富集系数,As 则相反(表 1),分析其原因,室内灰尘易堆积在房屋的角落、家具表面和夹缝里,日积月累累积了大量重金属,而道路灰尘因定期的洒水、清扫,更新周期短。

### 2.1.3 大厂镇与车河镇地表灰尘重金属含量对比

对比大厂镇和车河镇道路灰尘重金属含量(图3),大厂镇道路灰尘重金属Pb、As的含量明显高于车河镇的,尤其是As含量,大厂镇As含量是车河镇的1.6倍,而车河镇的Cd平均值高于大厂镇1.5倍,并且Cd的含量最低值亦高于大厂镇,说明大厂镇道路灰尘重金属Pb、As的污染程度比车河镇严重,但车河镇Cd的污染较严重。大厂镇因采矿、选矿等工业发展历史悠久,且地貌类型以山地为主,城区四周环山,冬季粉尘不易散开,很容易造成目前严重的灰尘重金属污染现象。车河镇的室内灰尘Cd累积系数明显高于大厂镇,已达到非常严重的程度,这可能是导致车河镇道路灰尘Cd污染较大厂镇严重的主要原因。



图3 大厂镇和车河镇道路、室内灰尘重金属含量对比

将大厂镇和车河镇室内灰尘重金属含量进行对比,发现大厂镇室内灰尘重金属Pb、As的含量最高值和平均值均大于车河镇。但车河镇的Cd的平均含量却明显高出大厂镇2.2倍,说明大厂镇室内灰尘重金属污染和道路灰尘重金属污染表现出相似的特征,即大厂镇室内灰尘Pb、As的污染程度较严重,而车河镇Cd的污染较严重。分析其原因,可能是道路灰尘是室内灰尘重金属含量的重要影响因素,有研究表明,室内灰尘中重金属污染来源有两方面,交通运输扬尘和道路灰尘为主的室外源以及房屋装修为主的室内源<sup>[18-20]</sup>。

### 2.2 灰尘重金属来源分析

国内外众多学者研究表明地表灰尘中的Pb和Cd主要来自于工业活动、交通污染、城市建设等人类活动<sup>[21-23]</sup>。李晓燕<sup>[24]</sup>等研究贵阳市地表灰尘,发现As在工业区累积比较严重,明显高于其他功能区,As主要来源于煤炭燃烧<sup>[25]</sup>。室内灰尘来源复杂,Hunt<sup>[26]</sup>、Hassan<sup>[27]</sup>等研究表明室内灰尘中重金属主要来源于室外和房屋自身,其中室外源主要为道路灰尘和交通源。室内源如家庭墙面的

涂料是室内灰尘中Cr、Pb、Cd的主要来源<sup>[28-29]</sup>。

变异系数可以用来判断重金属是来源于自然因素还是人为因素,也可以判断重金属元素的污染程度。变异系数越大,说明人为活动的干扰作用越强烈或污染越严重<sup>[30]</sup>。根据变异系数大小进行分级,变异系数<10%为弱变异;变异系数在10%~30%之间为中等变异;变异系数>30%为强变异。由表1可见,大厂镇和车河镇道路和室内灰尘的三种重金属元素变异系数均大于30%,尤其是大厂镇的道路和室内灰尘重金属As变异系数达到100%以上,表现出强变异,说明大厂镇和车河镇地表和室内灰尘重金属含量受到人为因素的干扰严重,尤其是重金属As可以归结污染源来自于人为活动,这与李晓燕等<sup>[24]</sup>的研究结论一致。大厂镇高峰屯道路灰尘的三种重金属含量最高,其次是长坡社区和大树脚屯,根据实地调研,这些区域均靠近冶炼厂,受矿产开发活动的影响较大。车河镇分布有工业园区、南方有色金属冶炼公司、金山钢铁冶化公司等企业,近年来大力开展选矿、加工、建筑等工业活动。综合分析本研究区的重金属污染主要是受人为活动中工业活动的影响,采矿工业产生的冶炼废水、废气会向环境释放大量的重金属、有机物等有毒有害元素,对周边大气、土壤造成严重污染<sup>[31]</sup>。由前面的相关性分析可知,大厂镇室内灰尘可能主要来源于室外道路灰尘,另外对比相关数据发现车河镇靠近南方冶炼厂的村屯室内灰尘含量水平明显高于其他地方。由此可见,本研究的室内灰尘污染主要是受外界矿产开发等工业活动的影响。

### 2.3 地表灰尘重金属环境质量评价

根据公式计算得到地表灰尘的所有采样点中单个重金属的潜在生态危害指数( $E_i^p$ )和3种重金属的综合潜在生态危害指数(RI)(表2)。参照潜在生态风险评价指标的分级情况,大厂镇和车河镇道路、室内灰尘中重金属As、Pb、Cd在研究区域上的潜在生态危害指数( $E_i^p$ )除了车河镇道路和室内重金属Pb的处于160~320之间,属于强生态危害水平,其余数值均大于320,即大厂镇和车河镇地表灰尘绝大部分达到了极强的生态危害程度。另外,研究区的单个重金属潜在生态危害指数( $E_i^p$ )均表现出Cd>As>Pb,Cd元素的潜在危害指数最高,属于最主要的生态风险因子。Cd元素的平均潜在生态危害指数远高于其他重金属元素,一方面是由于Cd的生态毒性系数值远高于其他重金属元素,另一方面是本研究区Cd的重金属富

表2 重金属的潜在生态危害系数及生态风险指数

区域 灰尘类型	元素	$E_r^i$	生态危害 程度	RI	生态风险 程度	$I_{geo}$	污染程度
大厂镇道路 (DD)	Pb	347.20	极强	20623.62	极强	5.53	极重污染
	As	3967.06	极强			8.05	极重污染
	Cd	16309.36	极强			8.51	极重污染
大厂镇室内 (DS)	Pb	336.32	极强	14480.95	极强	5.49	极重污染
	As	2543.64	极强			7.41	极重污染
	Cd	11600.99	极强			8.01	极重污染
车河镇道路 (CD)	Pb	215.98	强	27353.87	极强	4.85	重污染
	As	2662.03	极强			10.63	极重污染
	Cd	24475.86	极强			9.08	极重污染
车河镇室内 (CS)	Pb	234.31	强	27762.18	极强	4.97	重污染
	As	1878.61	极强			6.97	极重污染
	Cd	25649.26	极强			9.15	极重污染

集程度较高。车河镇道路和室内重金属 Cd 的潜在生态危害指数均比大厂镇的高,进一步说明车河镇 Cd 污染更严重。王成等<sup>[32]</sup>对车河镇表层土壤重金属的研究也发现,该区的主要生态风险因素是 Cd,已具有极强的生态危害。大厂镇道路(DD)、大厂镇室内(DS)、车河镇道路(CD)、车河镇室内(CS)重金属的综合潜在生态危害指数 RI 值依次为 CS>CD>DD>DS,参照潜在生态风险评价指标的分级(表2),大厂镇道路、室内及车河镇道路、室内所有重金属的综合潜在生态危害指数 RI 值均大于 600,达到了极强生态危害水平,这主要是由于各研究点地表灰尘中的重金属 Pb、As、Cd 含量均严重超标。

结合地积累指数重金属污染评价方法,对灰尘重金属的环境质量进行进一步的评价。根据地积累指数  $I_{geo}$  与污染程度分级关系(表2),大厂和车河的地表、室内重金属元素地积累指数  $I_{geo}$  均大于 4,处于污染程度严重水平,除了车河镇道路、室内重金属 Pb 属于重污染,其余均属于极重污染。Cd 元素的地积累指数在所有数值中表现出最大,再次说明本研究区地表灰尘 Cd 污染最严重。

### 3 结论

(1) 大厂镇和车河镇地表灰尘重金属 As、Pb、Cd 平均含量均超过河池地区土壤背景值以及土壤环境质量三级标准,超标严重。大厂镇道路灰尘的 As、Pb、Cd 含量均高于室内灰尘重金属含量,而车河镇室内灰尘中重金属的累积比室外灰尘高。

(2) 大厂镇道路、室内灰尘重金属 Pb、As 污染程度比车河镇严重,但 Cd 污染车河镇较严重。

车河镇 Cd 富集水平最高,已达到非常严重的程度。

(3) 由变异系数分析发现,大厂镇和车河镇道路、室内灰尘重金属含量受到人为因素的干扰严重,尤其是工业活动的影响尤为明显。室内灰尘主要来源于室外工业活动、交通扬尘等来源。

(4) 根据地表灰尘重金属的潜在生态风险评价和地积累指数重金属污染评价方法结果得出,除了车河镇道路和室内重金属 Pb 达到重污染程度,属于强生态危害水平外,其余地表灰尘重金属均达到了极重污染或极强的生态危害程度。特别是 Cd 污染最严重,属于最主要的生态风险因子。

### 参考文献

- [1] Miguel E D, Iribarren I, Chacón E, et al. Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain) [J]. Chemosphere, 2007, 66(3): 505-513.
- [2] Aelion C M, Davis H T, McDermott S, et al. Metal concentrations in rural topsoil in South Carolina: potential for human health impact [J]. Science of the Total Environment, 2008, 402(2-3): 149-156.
- [3] Lu X W, Zhang X L, Li L Y, et al. Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi'an, China [J]. Environmental Research, 2014, 128: 27-34.
- [4] 孙宗斌,周俊,胡蓓蓓,等.天津城市道路灰尘重金属污染特征[J].生态环境学报,2014,23(1):157-163.
- [5] 常仕镛,叶芝祥.成都市地表灰尘重金属污染分布特征及健康风险评估[J].中国环境监测,2014,30(2):70-75.
- [6] 宋书巧. 矿山开发的环境响应与资源环境一体化研究—以广西刁江流域为例[D].广州中山大学,2004.
- [7] 项萌,张国平,李玲,等.广西河池铅锡矿冶炼区土壤中镉等重金属的分布特征及影响因素分析[J].地球与环境,2010,38(4):495-500.
- [8] 张丽娥,莫招育,覃健,等.广西大厂矿区下游农村土壤重金属污染及儿童健康风险评估[J].环境与健康杂志,2014,31(6):512-516.
- [9] 刘永轩,黄泽春,蹇丽,等.广西刁江沿岸土壤 As、Pb 和 Zn 污染

- 的分布规律差异[J].环境科学研究,2010,23(4):485-490.
- [10] 李良忠,胡国成,张丽娟,等.矿区家庭灰尘中重金属污染及其潜在生态风险[J].中国环境科学,2015,35(4):1230-1238.
- [11] 韦妮玉. 广西河池典型矿区灰尘铅砷镉的生物可给性及健康风险评价[D].广西师范学院,2017.
- [12] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [13] 孟昭虹,周嘉,郑元福.哈尔滨市城市土壤重金属生态风险评价[J].水土保持研究,2009,16(2):152-159.
- [14] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal, 1969,2(3): 108-118.
- [15] 张菊,陈振楼,许世远,等.上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价[J].环境科学,2006,27(3):519-523.
- [16] Kurt-Karakus P B. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk [J]. Environment International, 2012, 50C(12):47-55.
- [17] Liggans G L, Nriagu J O. Lead poisoning of children in Africa, IV: Exposure to dust lead in primary schools in south-central Durban, South Africa [J]. The Science of the Total Environment, 1998, 221(2/3):117-126.
- [18] 周振明.广西大厂铜坑矿业废弃地植被调查研究[A].武汉大学,2010:6.
- [19] 林跃胜,方凤满,徐明露,等.室内灰尘重金属污染研究进展[J].城市环境与城市生态,2015,(03):29-34+38.
- [20] 张舒婷,李晓燕.城市室内灰尘重金属的水平及来源[J].环境化学,2014(7):1201-1207.
- [21] Anju D K, Banerjee. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dust of Delhi, India [J]. Environmental Pollution, 2003, 123(1):95-105.
- [22] Al-Khashman O A. The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba city, Jordan [J]. Environmental geochemistry and health, 2007, 29(3):197-207.
- [23] Tokalioglu S, and Kartal S. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri(Turkey)[J]. Atmosp Heric Environment, 40(16):2797-2805.
- [24] 李晓燕,汪浪,张舒婷.城市室内灰尘重金属水平、影响因素及健康风险:以贵阳市为例[J].环境科学,2016,(8):2889-2896.
- [25] 梁涛,史正涛,吴枫,等.昆明市街道灰尘重金属污染及潜在生态风险评价[J].热带地理,2011,31(2):165-170.
- [26] Hunt A, Johnson D L, Thornton I, et al. Apportioning the source of lead in house dusts in the London Borough of Richmond, England [J]. The Science of The Total Environment, 2016,138(1-3): 183-206.
- [27] Hassan S K M. Metal concentrations and distribution in the household, stairs and entryway dust of some Egyptian homes [J]. Atmospheric Environment, 2012,54:207-215.
- [28] Tong S T Y, Lam K C. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong [J]. The Science of The Total Environment, 2000, 256(2):115-123.
- [29] Chattopadhyay G, Lin C-P K, Feitz A J. Household dust metal levels in the Sydney metropolitan area[J]. Environ. Res., 2003, 93(3): 301-307.
- [30] 张一修,王济,张浩.贵阳市区地表灰尘重金属污染分析与评价[J].生态环境学报,2011,20(1):169-174.
- [31] Han Z X, Bi X Y, Li Z G, et al. Occurrence, speciation and bioaccessibility of lead in Chinese rural household dust and the associated health risk to children[J]. Atmospheric Environment, 2012, 46:65-70.
- [32] 王成,王哲,姜新舒,等.广西车河矿区表层土壤重金属污染及风险评价[J].四川环境,2016(2):92-97.