

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2016.12.2015112005

韩秀凤, 卢新卫. 包头市公园及广场灰尘中重金属污染特征[J]. 环境化学, 2016, 35(12): 2606-2614.

HAN Xiufeng, LU Xinwei. Contamination characteristics of heavy metals in dusts from square and park of Baotou, China[J]. Environmental Chemistry, 2016, 35(12): 2606-2614.

包头市公园及广场灰尘中重金属污染特征*

韩秀凤^{1, 2} 卢新卫^{1**}

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安, 710062; 2. 内蒙古科技大学包头师范学院资源与环境学院, 包头, 014030)

摘 要 本文以包头市具有代表性的 26 个公园和广场为研究对象, 采集灰尘样品, 利用 X-Ray 荧光光谱仪测定样品中 Ba、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn 和 V 的含量, 采用修正的 BCR 提取法分析灰尘中各种重金属的存在形态, 运用地累积指数法和污染负荷指数法, 评价包头市公园和广场灰尘重金属的污染程度. 研究结果显示, 除了 Mn、Ni 和 Zn 以外, 其他重金属元素的平均含量均高于其区域土壤背景值, 尤其是 Co、Cr 和 Pb, 其平均含量为区域土壤背景值的 2 倍以上, 富集明显. 灰尘中各重金属元素的存在形态差异较大, 其整体迁移能力由高到低为 Co>Zn>Cu>Mn>Pb>Ba>Ni>V>Cr, 其中 Co 和 Zn 易迁移, 危害较大. 灰尘中各重金属元素地累积指数的平均值由大到小依次为 Co>Cr>Pb>Cu>Ba>V>Ni>Mn>Zn. 包头市公园和广场灰尘受到不同程度的重金属污染, 其中, 包钢公园和包头乐园属于中度污染, 而其他公园和广场属于偏中度污染. 昆都仑区公园和广场灰尘重金属污染最严重.

关键词 重金属, 形态, 污染评价, 公园, 广场, 灰尘.

Contamination characteristics of heavy metals in dusts from square and park of Baotou, China

HAN Xiufeng^{1,2} LU Xinwei^{1**}

(1. School of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, 710062, China; 2. College of Resources and Environment, Baotou Normal College, Science and Technology University of Inner Mongolia, Baotou, 014030, China)

Abstract: Dust samples were collected from 26 representative parks and squares of Baotou city. The concentrations of Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V and Zn in the dust samples were determined by using X-ray fluorescence spectrometry. The modified BCR extraction technique was used to analyze the chemical speciation of these heavy metals. Contamination levels of heavy metals in the park and square dusts were assessed by using the geo-accumulation index and pollution load index. The results indicate that the mean values of Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and V were higher than their corresponding background values in local soil whereas the mean values of Mn, Ni and Zn were lower than their background values. This is especially true for Co, Cr and Pb, for which the mean values were 2 times higher than the background values. The speciation distribution of heavy metal in the dust was different. The order of mobility was Co>Zn>Cu>Mn>Pb>Ba>Ni>V>Cr. The mean geo-

2015 年 11 月 20 日收稿 (Received: November 20, 2015).

* 国家自然科学基金 (41271510), 中央高校基本科研业务费项目 (GK201601009), 内蒙古自然科学基金 (2014MS0402), 内蒙古自治区高等学校科学研究基金 (NJZC13230) 和包头市科技局项目 (2014S2004-3-1-27) 资助

Supported by the National Natural Science Foundation of China (41271510), Fundamental Research Funds for the Chinese Central Universities (GK201601009), Natural Science Foundation of Inner Mongolia (2014MS0402), the Inner Mongolia Autonomous Region Higher School Scientific Research Fund (NJZC13230) and Baotou Science and Technology Project (2014S2004-3-1-27).

** 通讯联系人, Tel: 029-85310525, E-mail: luxinwei@snnu.edu.cn

Corresponding author, Tel: 029-85310525, E-mail: luxinwei@snnu.edu.cn

accumulation value decreased in the order of $\text{Co}>\text{Cr}>\text{Pb}>\text{Cu}>\text{Ba}>\text{V}>\text{Ni}>\text{Mn}>\text{Zn}$. The dust in the parks and squares of Baotou was polluted with heavy metals to different degree. Pollution level of heavy metals in dust from squares and parks in Kundulun district was more severe than other areas.

Keywords: heavy metal, speciation, contamination evaluation, park, square, dust.

城市地表灰尘是城市生态环境中重金属等各种污染物的“源”和“汇”^[1-2],近年来引起国内外学者的广泛关注^[3-6].累积大量重金属(如 Hg、Pb、Cd、Cu 和 Zn)的城市地表灰尘,在人流、车流及重力作用下“扬起-沉降-扬起”不断迁移,从而影响城市环境质量状况.同时,灰尘中的重金属可通过呼吸和皮肤接触等途径进入人体,从而对人体健康产生危害^[7-8].研究发现,人体摄入过量的重金属会导致严重的健康危害,如 Cd 和 Cr 与会导致各种癌症^[9].Pb 会损害骨髓造血系统和神经系统,影响儿童体格发育,引起儿童智能发育障碍等^[10].Cu、Zn、As 和 Hg 可以改变中枢神经系统的功能和呼吸系统,扰乱内分泌系统^[11].

城市公园和广场是城市居民休憩、锻炼、娱乐的最佳场所.在中国,随着人们生活水平的提高,公园和广场到处可见各种各样的娱乐活动,跳广场舞的人随处可见,人们在游玩过程中不可避免的会接触到灰尘.公园和广场环境质量状况直接影响到游客及周边居民的健康,特别是老人和儿童这一特殊群体.因此,开展城市公园和广场灰尘的重金属污染研究具有重要的现实意义.然而,现有工作对地处我国西部干旱、半干旱区中小工业城市公园和广场灰尘重金属污染关注较少.

包头市是地处我国西部半干旱区的一个重要工业城市,经济总量占内蒙古自治区 1/4 以上.由于工业化的发展和缺乏环境保护意识,包头存在严重的环境污染问题.到目前为止,针对包头市公园和广场灰尘重金属污染研究未见相关报道.

本文选取包头市 26 个代表性的公园和广场,开展市区公园和广场灰尘重金属污染研究,可为包头市改善人居环境质量,指导城市不同人群活动的空间布局具有重要的理论和现实意义.

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 研究区概况

包头市(109°15'E—111°25'E,40°15'N—42°45'N)位于内蒙古自治区西部,北与蒙古国接壤,南临黄河,东西接土默川平原和河套平原(图 1).包头气候为温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温 6.5℃,年平均降水量为 240—400 mm,年蒸发量 1940—2340 mm.主要土壤类型为黑垆土和栗钙土.包头市辖 4 个市区,包括昆都仑区、青山区、九原区和东河区,全市总面积 27768 km²,城区面积 2965 km²,公园面积有 1866 hm²,2013 年常住人口有 276.62 万人^[12].包头是内蒙古最大的工业城市,拥有内蒙古最大的钢铁、铝业、装备制造和稀土加工企业,是国家重要的能源、原材料、稀土、新型煤化工和装备制造基地.

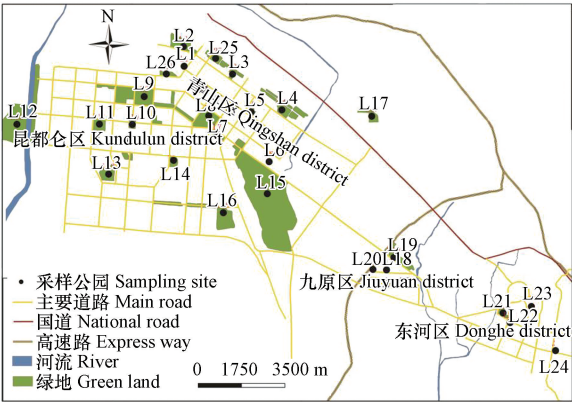


图 1 采样点分布
Fig.1 The distribution of smpling sites

1.2 样品采集、处理与测试分析

以包头市城区 26 个代表性的公园和广场为研究对象(见图 1 和表 1),于 2014 年 5 月进行了灰尘样品采集.在每一个公园和广场内利用均匀采样法,用毛刷和塑料铲采集周围 5—8 个子样,然后将其充分混合,获得 1 个混合样品,每个样品重约 300—500 g.在采样过程中,尽量避免细颗粒的损失,并且所有样品处理过程不能与金属接触,以避免产生交叉污染.采集的样品装入事先贴好标签的聚乙烯塑料袋中带回实验室,在室温条件下自然风干备用.风干后灰尘样品过 20 目的尼龙网筛,去除大的石块、树叶、烟头、头发等杂质用于样品理化性质的测定.取 20 g 左右样品研磨使其粒径小于 75 μm,并压片,然后用 X-Ray 荧光光谱仪(PW2403 型,荷兰帕纳科仪器公司生产)测定样品中 Ba、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn 和 V 的含量.实验过程中采用 15% 的重复样品和标准样品(GSS-4, GSS-5)进行质量控制.重金属元素赋存状态分析采用修正的 BCR 法^[13-14].

表 1 包头市公园和广场位置信息
Table 1 The information of urban parks and squares of Baotou

区域 Region	公园 Park	位置编号 Number	区域 Region	公园 Park	位置编号 Number
青山区	音乐广场	L1	昆都仑区	阿尔丁植物园	L9
	景林公园	L2		昆都仑区政府广场	L10
	二机公园	L3		八一公园	L11
	一机公园	L4		包钢公园	L12
	青山公园	L5		包头乐园	L13
	青山政府广场	L6	九原区	九原区文化广场	L18
	儿童公园	L7		巴音高勒公园	L19
	劳动公园	L8		哈屯高勒公园	L20
	锦秀公园	L14	东河区	人民公园	L21
	赛罕塔拉公园	L15		晋商文化广场	L22
	南郊公园	L16		南圪洞广场	L23
	乌素图公园	L17		东河区政府广场	L24
	北方兵器城	L25			
	四季广场	L26			

1.3 灰尘重金属污染评价法

目前,国内外评价灰尘重金属污染的方法很多,主要包括地累积指数法、潜在生态危害指数法、脸谱图法、尼梅罗综合指数法、综合污染指数法、污染负荷指数法、富集系数法等.本文采用地累积指数法和污染负荷指数法对包头市公园和广场灰尘重金属污染状况进行评价分析.

地累积指数法不仅综合考虑了人为活动对环境的影响,而且还考虑了由于自然成岩作用可能会引起背景值变动的因素^[15].它是由德国海德堡大学沉积物研究所的 Müller 于 1969 年提出,现在被广泛应用于沉积物、土壤、灰尘中重金属污染的评价^[16-17].其计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \frac{C_i}{k B_i}$$

(1)

式中, I_{geo} 表示地累积指数, C_i 表示灰尘中重金属 i 的含量, B_i 表示重金属 i 的环境背景值,本研究中采用河套平原土壤元素背景值^[18]. k 为常数, $k = 1.5$.根据 I_{geo} 数值的大小,可以将重金属污染程度分为 7 个等级,即 $I_{\text{geo}} \leq 0$ 无污染; $0 < I_{\text{geo}} < 1$ 轻度污染; $1 < I_{\text{geo}} < 2$ 偏中度污染; $2 < I_{\text{geo}} < 3$ 中度污染; $3 < I_{\text{geo}} < 4$ 偏重度污染; $4 < I_{\text{geo}} < 5$ 重度污染; $I_{\text{geo}} \geq 5$ 严重污染.

污染负荷指数(PLI),也被称为综合污染指数,用于反映各个选定重金属元素对研究区的污染水平.其评价公式如下^[19-20]:

$$\text{PLI} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i/B_i}$$

(2)

式中, C_i 表示灰尘中重金属 i 的含量, B_i 表示重金属 i 的环境背景值,本研究中采用河套平原土壤元素背

景值^[18].污染负荷指数一般分为 6 个等级^[19-20], $0<PLI<1$ 为无污染; $1<PLI<2$ 为偏中度污染; $2<PLI<3$ 为中度污染; $3<PLI<4$ 为偏高度污染; $4<PLI<5$ 为高度污染; $PLI\geq 5$ 为极高度污染.

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 包头市公园和广场灰尘重金属含量及空间分布

包头市公园和广场灰尘重金属含量水平及河套平原土壤背景值见表 2.由表 2 可知,包头市公园和广场灰尘中重金属 Mn、Ni 和 Zn 的平均含量小于或接近于区域土壤背景值.灰尘中重金属 Ba、Co、Cr、Cu、Pb 和 V 的平均含量均高于区域土壤背景值,尤其是 Co、Cr 和 Pb,其平均含量为区域土壤背景值的 2 倍以上,重金属富集明显,应重点关注治理.包头市公园和广场灰尘重金属中 Co、Cr、Cu、Mn、Pb 和 Zn 的变异系数相对较大($>20\%$),尤其是 Cu 和 Zn 的变异系数明显高于其他元素,达到 40% 以上,说明包头市公园和广场灰尘中 Cu 和 Zn 受到人为活动干扰较大.

表 2 包头市公园和广场灰尘重金属的含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2 Heavy metal concentration in dust collected from urban parks and squares of Baotou									
重金属 Heavy metal	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
最小值 Min	499.9	25.1	103.9	12.1	336.9	17.6	21.9	57.8	13.6
最大值 Max	845.8	112.4	379.8	53.9	1148.4	32.4	68.9	108.7	88.7
平均值 Mean	640.4	52.9	154.1	26.9	504.4	25.1	36.2	71.3	49.7
中位数 Medium	636.4	48.0	142.2	24.7	465.0	24.7	35.5	70.4	45.8
标准差 SD	101.6	18.3	57.2	10.9	149.8	4.5	11.1	9.7	20.4
变异系数 CV/%	15.9	34.6	37.1	40.4	29.7	17.9	30.7	13.6	41.1
背景值 BV ^[18]	527.7	9.9	56.4	19.2	508.6	24.5	18.8	65.4	55.7

从图 2 中可以发现,各重金属在不同公园和广场的积累程度存在较大差异,这与公园所处周围环境,修建年限有较大关系.Ba、Cr、Mn、Pb 和 V 的最高值都出现在包头市河西工业园区的包钢公园(L12),其修建年限较早,园区内有钢铁冶炼厂和火力发电厂等,含量达到河套平原土壤背景值的 1.6、6.7、2.3、3.7 和 1.7 倍.Co 的最高值分布在一机厂公园(L4),是河套平原土壤背景值的 11.3 倍.Co 通常在机械工业中用作合金添加剂,用于喷气、燃气轮机的部件,其化合物可以用作催化剂和瓷釉^[21].因此,研究区灰尘中 Co 的高值点可能与其周围分布有机械制造厂有关.Ni 的两个高值点分布在一机厂公园和东河区政府广场,其含量都为 $32.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Cu 含量的最高值分布在交通流量较大的东河区政府广场(L24),为河套平原土壤背景值的 2.8 倍.Zn 含量的最高值分布在人和车流都较大的包头乐园(L13),为河套平原土壤背景值的 1.6 倍.Cu、Mn、Pb、V 和 Zn 含量的最低值出现在绿化率最高的赛罕塔拉公园(L15).Ba、Co、Cr 和 Ni 的最低值分别出现在四季广场(L26)、阿尔丁广场(L10)、人民公园(L21)和景林公园(L2).从行政区划上来看,昆都仑区各公园和广场中 Ba、Co、Cr、Mn、Pb 和 V 的平均含量均不同程度高于其他区,而东河区各公园和广场中 Cu、Ni 和 Zn 的平均含量最高,这主要是由于昆都仑区分布有钢铁冶炼厂、火力发电厂和冶金工业,是包头市的商业中心,交通流量大;东河区是包头铝合金生产基地.

包头市与其他城市公园和广场灰尘中相关重金属含量比较见表 3.由表 3 可见,包头市公园和广场灰尘中 Cr 的含量除低于上海外高于其他城市,这可能与包头是一个重要的钢铁和稀土工业城市有关;Cu、Pb 和 Zn 的含量明显低于其他城市,这可能与其他城市有较高的交通流有关;Ni 的含量除高于长春和开封外,低于其他城市.各城市灰尘重金属含量的差异可能与各地土壤中元素含量的差异,采样时间,以及人类活动对环境的影响强度和方式不同有关^[22].

2.2 灰尘重金属形态分布特征

重金属的赋存形态决定着重金属在环境中的迁移转化能力及环境风险.由图 3 可知,包头市灰尘中各重金属元素的存在形态差异较大.

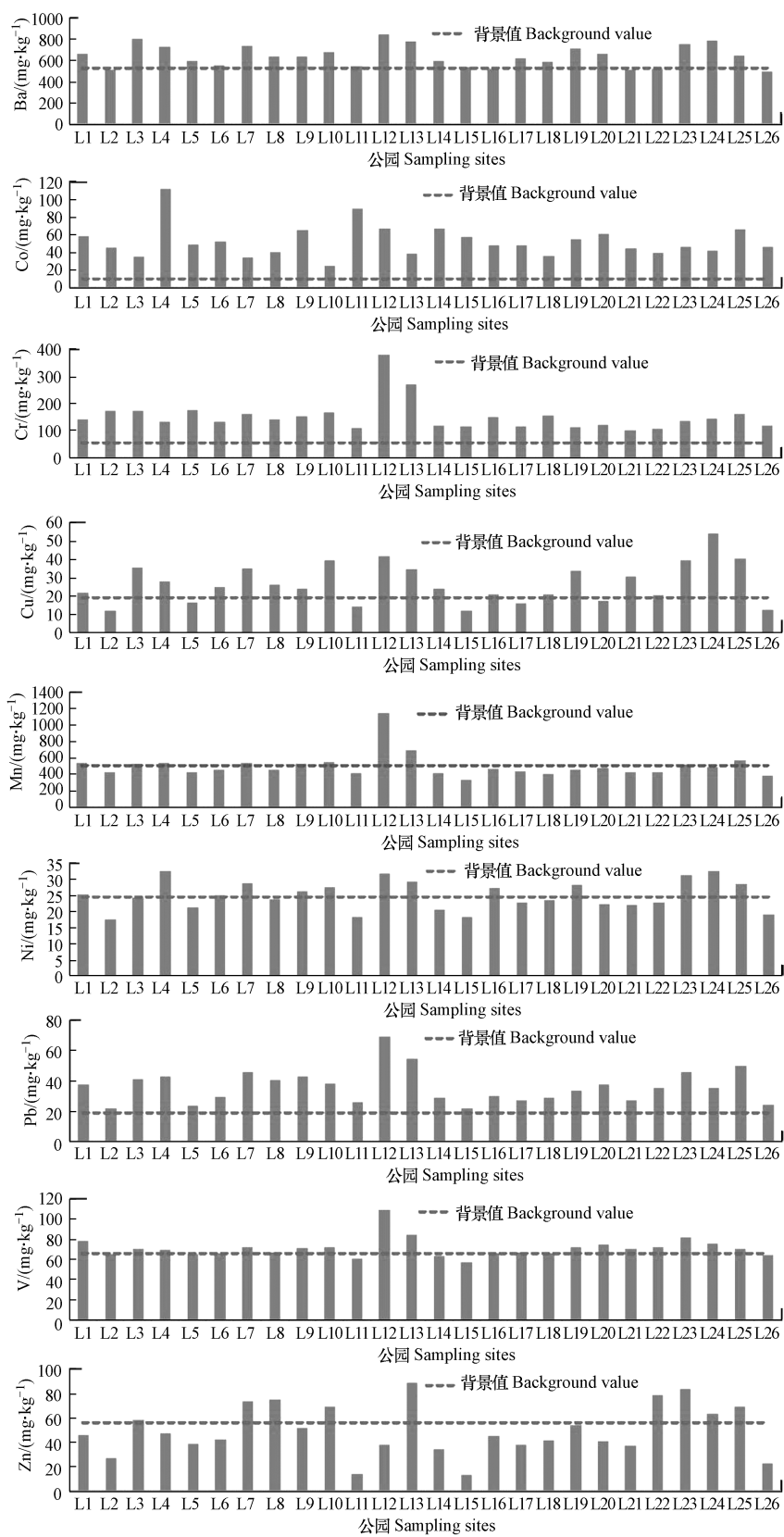


图 2 26 个公园和广场灰尘重金属含量分布

Fig.2 Distribution of heavy metals in 26 parks and squares

Co 表现为弱酸提取态>残余态>可还原态>可氧化态;Ba 表现为残余态>可还原态>弱酸提取态>可氧化态;Zn 和 Mn 形态分布情况相同,表现为残余态>乙酸提取态>可还原态>可氧化态;Cr, Ni 和 Cu 表

现为残余态>可氧化态>可还原态>乙酸提取态;Pb 和 V 表现为残余态>可还原态>可氧化态>乙酸提取态.在 BCR 形态分析中,残余态是“稳定态”,比例越高,可迁移部分、生物可利用部分就越少,对环境的危害就小;乙酸提取态、可还原态和可氧化态是“非稳定态”,比例越高,可迁移部分、生物可利用部分就越高,对环境的危害就越大^[13].在酸性条件下 Co(61.17%),Zn(23.65%)和 Mn(26.25%)易于迁移,对环境危害较大;在还原条件下 Zn(21.57%),Pb(27.72%)和 Ba(22.76%)易于迁移,对环境危害较大;在氧化条件下 Cu(26.05%)的迁移性较大,对环境产生危害.重金属整体迁移的顺序是 Co(76.95%)>Zn(55.65%)>Cu(41.17%)>Mn(38.99%)>Pb(38.44%)>Ba(33.29%)>Ni(28.23%)>V(15.97%)>Cr(9.44%),其中 Co 和 Zn 易迁移(都大于 50%),危害较大.这一结果与宝鸡市街尘重金属形态^[14],即: Cd(90.11%)>Pb(82.33%)>Zn(79.32%)>Cu(62.35%)>Mn(51.48%)>Co(29.02%)>Ni(23.62%)>Cr(18.68%),进行比较,整体迁移顺序有差异,但 Zn 在包头和宝鸡市都易迁移,环境危害较大,Cr 的迁移性均最小,环境危害较小.

表 3 包头市公园和广场灰尘重金属含量与其他城市的比较(mg·kg⁻¹)

Table 3 Comparison of heavy metal contents in dust from urban parks and squares of Baotou with other cities (mg·kg ⁻¹)						
城市 City	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	资料来源 Reference
包头	154.1	26.9	25.1	36.2	49.7	本研究
北京	69.3	72.1	25.9	201.8	219.2	[23]
长春	59.3	37.8	23.1	69.1	169.3	[24]
西安	125.2	86.4	35.4	124.7	323.4	[25]
天津	103.2	113.2	40.6	63.3		[26]
上海	162.6	235.9	92.2	416.6	906.3	[27]
贵阳		296	47.9	112	496	[28]
开封	53.25	44.29	23.15	144.84	240.27	[29]
福州	78.21	111.04		73.81	386.62	[30]
青岛		109.27		126.02	326.88	[31]

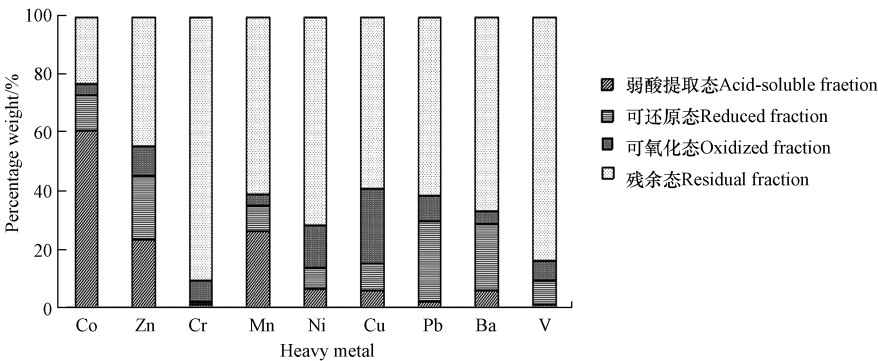


图 3 包头市公园和广场灰尘重金属形态分布特征
Fig.3 Distribution characteristic of heavy metal speciation in dust from parks and squares of Baotou

2.3 包头市公园和广场灰尘重金属污染水平

包头市公园和广场灰尘重金属地累积指数的计算结果见图 4.由图 4 可见,街道灰尘中 Ba、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn 和 V 的地累积污染指数范围分别为-0.7—0.1、0.8—2.9、0.3—2.2、-1.3—0.9、-1.2—0.6、-1.1—-0.2、-0.4—1.3、-0.8—0.1 和-2.6—0.1.灰尘中各重金属元素地累积指数的平均值由大到小依次为 Co>Cr>Pb>Cu>Ba>V>Ni>Mn>Zn.重金属 Co、Cr 和 Pb 的地累积指数的平均值都大于 0,尤其是 Co 和 Cr 的最大值大于 2,说明包头市公园和广场灰尘被这些重金属污染,人类活动的影响显著.所有灰尘样品中 Ni 的地累积指数小于 0,呈现未污染.Co 地累积指数的平均值为 1.8,属于偏中污染程度,其中 27%的灰尘样品 Co 的地累积指数在 2—3 之间,属于中度污染,69%的灰尘样品 Co 的地累积指数在 1—2 之间,属于偏中度污染,只有一个广场(昆都仑区政府广场)灰尘样品中 Co 的地累积指数在 0—1

之间,属于轻度污染.Cr 地累积指数的平均值和 81%的灰尘样品地累积指数在 0—1 之间,属于轻度污染,15%的灰尘样品 Cr 的地累积指数在 1—2 之间,属于偏中度污染,只有一个公园(包钢公园)灰尘样品中 Cr 的地累积指数在 2—3 之间,属于中度污染. Cu 的平均地累积指数和 62%的灰尘样品的地累积指数小于 0,未污染,38%的样品的地累积指数在 0—1 之间,属于轻度污染.Pb 地累积指数的平均值和 69%的灰尘样品的地累积指数在 0—1 之间,属于轻度污染,27%灰尘样品中 Pb 属于无污染,只有一个公园(包钢公园)灰尘样品中 Pb 的地累积指数在 1—2 之间,属于偏中度污染.大部分灰尘样品中 Ba、Mn、V 和 Zn 的地累积指数小于 0,呈现未污染,仅有个别样品出现轻度污染.

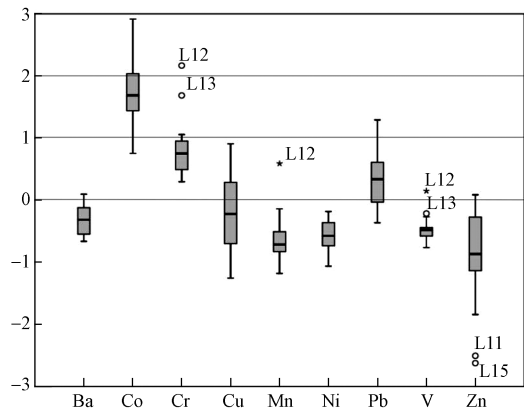


图 4 包头市公园和广场灰尘重金属地累积污染指数

Fig.4 I_{geo} of heavy metal in dust from parks and squares of Baotou

包头市公园和广场灰尘重金属污染负荷指数计算结果见表 4.如表 4 所示,包头市公园和广场灰尘重金属的污染负荷指数范围为 1.0—2.3,平均值为 1.5,说明包头市公园和广场灰尘都受到不同程度的重金属污染.其中,包钢公园(L12)的灰尘重金属污染负荷指数最大(2.3),属于中度污染,其次是包头乐园(L13),也属于中度污染,其他公园和广场灰尘重金属污染负荷指数都在 1—2 之间,属于偏中度污染.此外污染负荷指数的区域排序为昆都仑区(1.68)>东河区(1.54)>九原区(1.42)>青山区(1.39),都属于偏中度污染.昆都仑区公园和广场灰尘重金属污染负荷指数最大,这可能与本区分布有钢铁厂、冶金工业、火力发电厂、商业中心和较大的交通流量有关.

表 4 重金属污染负荷指数和污染程度

Table 4 Pollution Load Index and pollution level of heavy metals

样点 Site	重金属污染指数 Pollution index									样点 Site	污染程度 Pollution level	区域 Region PLI	总 Total PLI
	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn				
L1	1.25	5.93	2.52	1.13	1.06	1.03	2.00	1.19	0.83	L1	偏中度污染		
L2	0.96	4.62	3.08	0.65	0.84	0.72	1.17	0.99	0.48	L2	偏中度污染		
L3	1.52	3.61	3.09	1.85	1.04	1.00	2.21	1.08	1.04	L3	偏中度污染		
L4	1.38	11.32	2.37	1.46	1.06	1.32	2.29	1.07	0.86	L4	偏中度污染		
L5	1.12	4.93	3.12	0.87	0.84	0.87	1.26	1.00	0.70	L5	偏中度污染		
L6	1.05	5.30	2.39	1.30	0.91	1.02	1.57	1.00	0.76	L6	偏中度污染		
L7	1.39	3.47	2.90	1.83	1.07	1.18	2.45	1.10	1.31	L7	偏中度污染		
青山区 L8	1.21	4.07	2.52	1.36	0.91	0.98	2.17	1.02	1.34	L8	偏中度污染	1.39	1.5
L14	1.13	6.80	2.11	1.27	0.82	0.84	1.55	0.98	0.62	L14	偏中度污染		
L15	1.03	5.85	2.10	0.63	0.66	0.75	1.16	0.88	0.24	L15	偏中度污染		
L16	0.99	4.83	2.70	1.10	0.92	1.11	1.59	1.02	0.81	L16	偏中度污染		
L17	1.18	4.83	2.08	0.85	0.87	0.93	1.47	1.02	0.68	L17	偏中度污染		
L25	1.22	6.69	2.89	2.10	1.12	1.17	2.67	1.08	1.24	L25	偏中度污染		
L26	0.95	4.73	2.15	0.66	0.77	0.78	1.28	0.99	0.42	L26	偏中度污染		

续表4

	样点 Site	重金属污染指数 Pollution index									样点 Site	污染程度 Pollution level	区域 Region PLI	总 Total PLI
		Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn				
昆都仑区	L9	1.21	6.62	2.74	1.26	1.04	1.08	2.29	1.10	0.93	1.61	偏中度污染	1.68	
	L10	1.28	2.53	3.00	2.06	1.08	1.13	2.05	1.10	1.24	1.60	偏中度污染		
	L11	1.03	9.04	1.99	0.75	0.82	0.75	1.39	0.93	0.26	1.13	偏中度污染		
	L12	1.60	6.75	6.74	2.18	2.26	1.29	3.67	1.66	0.68	2.32	中度污染		
	L13	1.48	3.92	4.83	1.81	1.36	1.20	2.91	1.29	1.59	2.01	中度污染		
九原区	L18	1.12	3.64	2.76	1.10	0.80	0.97	1.55	1.01	0.74	1.31	偏中度污染	1.42	
	L19	1.35	5.55	2.02	1.76	0.90	1.16	1.80	1.10	0.97	1.56	偏中度污染		
	L20	1.26	6.15	2.18	0.92	0.94	0.91	1.99	1.14	0.74	1.41	偏中度污染		
东河区	L21	0.97	4.48	1.84	1.61	0.85	0.90	1.47	1.08	0.68	1.30	偏中度污染	1.54	
	L22	0.99	3.96	1.94	1.07	0.84	0.93	1.90	1.10	1.40	1.39	偏中度污染		
	L23	1.42	4.68	2.42	2.04	1.02	1.28	2.44	1.25	1.51	1.80	偏中度污染		
	L24	1.48	4.26	2.58	2.81	0.97	1.32	1.89	1.16	1.13	1.74	偏中度污染		

3 结论 (Conclusion)

(1)包头市公园和广场灰尘重金属除 Mn、Ni 和 Zn 以外的平均含量均高于其区域土壤背景值,尤其是 Co、Cr 和 Pb,其平均含量为区域土壤背景值的 2 倍以上,富集明显,且各重金属元素在不同公园和广场的积累程度存在较大差异.

(2)包头市公园和广场灰尘中 Co 主要以乙酸提取态形式存在,Zn 平均分布在乙酸提取态、可还原态和可氧化态中,Cr、Pb、Cu、Ba、Mn、V 和 Ni 主要以残余态形式存在.Co 和 Zn 易迁移,对生态环境危害较大.

(3)包头市公园和广场灰尘中 Co 偏中度污染,Cr 和 Pb 属于轻度污染,Cu、Ba、Mn、V、Zn 和 Ni 总体呈现未污染,仅有个别样品出现轻度污染.包钢公园和包头乐园属于中度污染,而其他公园和广场属于偏中度污染.

参考文献 (References)

[1] WEI B G, YANG L S. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China[J]. Microchemical Journal, 2010, 94: 99-107.

[2] 王济,张一修,高翔.城市地表灰尘重金属研究进展及展望[J]. 地理研究, 2012, 31(5): 821-830.

WANG J, ZHANG Y X, GAO X. The advances in research on heavy metals of the surface dust in urban areas [J].Geographical Research, 2012, 31(5): 821-830 (in Chinese).

[3] NAZZAL Y, GHREFAT H, ROSEN M A. Application of multivariate geostatistics in the investigation of heavy metal contamination of roadside dusts from selected highways of the Greater Toronto Area, Canada[J]. Environ. Earth Sci, 2014,71: 1409-1419.

[4] ROUT T K, MASTO R E, RAM L C, et al. Assessment of human health risks from heavy metals in outdoor dust samples in a coal mining area [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2013, 35: 347-356.

[5] LU X W, WANG L J, LI L Y, et al. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173:744-749.

[6] LI H, QIAN X, HU W, et al. Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan City, Nanjing, SE China [J]. Science of the Total Environment, 2013, 456-457: 212-221.

[7] 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.

[8] ZHENG N, LIU J S, Wang Q C, Liang Z Z. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China[J]. Science of the Total Environment. 2010, 408:726-733.

[9] SHI G, CHEN Z, BI C, et al. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated City of China [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45:764-771.

[10] HAN Y M, CAO J J, POSMENTIER E S, et al. Particulate-associated potentially harmful elements in urban road dusts in Xi'an, China [J]. Applied Geochemistry, 2008, 23: 835-845.

- [11] MA J, SINGHIRUNNUSORN W. Distribution and health risk assessment of heavy metals in surface dusts of maha sarakham municipality [J]. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2012, 50:280-293.
- [12] 包头市统计局. 包头市统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
Baotou Municipal Bureau of Statistics. Baotou Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011(in Chinese).
- [13] 徐雪, 王利军, 卢新卫, 等. 西安市护城河沉积物重金属形态、污染及潜在生态风险[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6):1255-1261.
XU X, WANG L J, LU X W, et al. Speciation, pollution and potential ecological risk of heavy metals of sediment in the moat of Xi'an City [J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(6):1255-1261 (in Chinese).
- [14] 王利军, 卢新卫, 雷凯, 等. 宝鸡市街尘重金属元素含量、来源及形态特征[J]. 环境科学, 2011, 32(8):2470-2476.
WANG L J, LU X W, LEI K, et al. Content, source and speciation of heavy metal elements of street dusts in Baoji City[J]. *Environmental Science*, 2011, 32(8):2470-2476 (in Chinese).
- [15] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 近海沉积物重金属污染评价方法[J]. 海洋地质动态, 2005, 21(8):31-36.
DING X G, YE S Y, GAO Z J. Methods of heavy metal pollution evaluation for off shore sediments [J]. *Marine Geology Letters*, 2005, 21(8):31-36 (in Chinese).
- [16] LU X W, WANG L J, LEI K, et al. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161:1058-1062.
- [17] LU X W, LI L Y, WANG L J, et al. Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43:2489-2496.
- [18] 王喜宽, 黄增芳, 苏美霞, 等. 河套地区土壤基准值及背景值特征[J]. 岩矿测试, 2007, 26(4):287-292.
WANG X K, HUANG Z F, SU M X, et al. Characteristics of reference and background values of soils in Hetao Area [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2007, 26(4):287-292 (in Chinese).
- [19] LU X W, WU X, WANG Y W, et al. Risk assessment of toxic metals in street dust from a medium-sized industrial city of China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 106:154-163.
- [20] ZHAO N, LU X W, CHAO S G. Level and contamination assessment of environmentally sensitive elements in smaller than 100 μm street dust particles from Xining, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2014, 11:2536-2549.
- [21] ZHANG M M, LU X W, CHEN H, et al. Multi-element characterization and source identification of trace metal in road dust from an industrial city in semi-humid area of northwest China[J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2015, 303(1):637-646.
- [22] 韩秀凤, 卢新卫, 庞龙, 等. 包头市街道灰尘重金属空间分布及生态风险[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3):561-569.
HAN X F, LU X W, PANG L, et al. Spatial distribution and ecological risk of heavy metal in street dust of Baotou City[J]. *Arid Land Geography*, 2014, 37(3):561-569(in Chinese).
- [23] DU Y R, GAO B, ZHOU H D, et al. Health risk assessment of heavy metals in road dusts in urban parks of Beijing, China[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2013, 18:299-309.
- [24] IU Q, WANG Y L, JING S, et al. Grain-size distribution and heavy metal contamination of road dusts in urban parks and squares in Changchun, China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2015, 37:71-82.
- [25] 黄丽, 卢新卫, 翟萌, 等. 西安城市公园灰尘重金属污染及其风险评价[J]. 城市环境与城市生态, 2010, 23(1):17-20.
HUANG L, LU X W, ZHAI M, et al. Heavy metal pollution and risk assessment in dust of Xi'an City Parks[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2010, 23(1):17-20(in Chinese).
- [26] 刘申, 刘凤枝, 李晓华, 等. 天津公园土壤重金属污染评价及其空间分析[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5):1097-1102.
LIU S, LIU F Z, LI X H, et al. Pollution assessment and spatial analysis on soil heavy metals of park in Tianjin[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(5):1097-1102(in Chinese).
- [27] 史贵涛, 陈振楼, 王利, 等. 上海城市公园灰尘重金属污染及其潜在生态风险评价[J]. 城市环境与城市生态, 2006, 19(4):40-43.
SHI G T, CHEN Z L, WANG L, et al. Heavy metal pollution and the ecological risk in dust of Shanghai urban parks [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2006, 19(4):40-43(in Chinese).
- [28] 陈思民, 李晓燕. 贵阳市城市广场地表灰尘重金属水平及影响因素分析[J]. 环境化学, 2015, 34(5):1011-1013.
CHEN S M, LI X Y. Analysis on heavy metal level and influencing factors of surface dust in urban square of Guiyang City [J]. *Environmental Chemistry*, 2015, 34(5):1011-1013(in Chinese).
- [29] 段海静, 蔡晓强, 阮心玲, 等. 开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险[J]. 环境科学, 2015, 36(8):2972-2980.
DUAN H J, CAI X Q, RUAN X L, et al. Assessment of heavy metal pollution and Its health risk of surface dusts from parks of Kaifeng, China[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(8):2972-2980(in Chinese).
- [30] 陈秀玲, 茅建彬, 何世虹, 等. 福州城市公园灰尘重金属污染特征[J]. 城市环境与城市生态, 2012, 25(6):31-38.
CHEN X L, MAO J B, HE S H, et al. Heavy metal pollution of dust in Fuzhou Urban Parks[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2012, 25(6):31-38(in Chinese).
- [31] 钱翌, 刘峰延. 青岛城市公园灰尘重金属的形态分布及健康风险评价[J]. 城市环境与城市生态, 2011, 24(4):20-23.
QIAN L, LIU Z Y. Chemical Speciation of heavy metals and health risk assessment in dust of Qingdao Urban Parks[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2011, 24(4):20-23(in Chinese).