

咸阳市区街道灰尘重金属污染及评价

史兴民^{1,2}, 王建辉¹

(1. 咸阳师范学院资源环境与城市科学系, 咸阳 712000; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘 要:城市街道灰尘是反映城市环境污染状况的重要指标之一。以咸阳市区为研究地点,在咸阳市交通十字路口采集街道灰尘样品,采用原子吸收光谱仪测定街道灰尘中的 Pb、Cd、Cu 含量,研究咸阳市街道灰尘重金属的污染含量水平和空间分布特征。采用潜在生态危害指数法对样品中重金属的潜在生态危害进行了评价。结果表明:咸阳市街道灰尘重金属大多数地方超过了陕西省土壤背景值,Cu 污染浓度多处于 1~5.8 倍背景值水平;Cd 大多处于 0~1.7 倍背景值水平;Pb 大部分处在 0~2.6 倍背景值水平。就单个重金属潜在生态危害系数平均值来看,街道灰尘的潜在生态危害最大的是 Cd,Cu 的生态危害次之,生态危害最低的是 Pb。总体来讲,咸阳市街道灰尘的生态危害水平属于轻生态危害。

关 键 词:咸阳;重金属;街道灰尘

1 引言

城市灰尘中的颗粒物对人体的危害很大,特别是其携带的有毒有害的重金属更是增强了城市灰尘的危害性^[1]。富集大量重金属的灰尘细颗粒可以再次扬起,并进行远距离传输,经呼吸道进入人体,造成重金属的累积性慢性中毒,严重危害城市人群的健康,尤其影响儿童的体格智力^[2]。20 世纪 70 年代中期国外便开始了城市灰尘的研究,Dayetall 在《自然》杂志上发表了“城市街道灰尘中的铅”的论文,并首先提出了“城市街道灰尘”的名称^[3]。国内对城市街道灰尘的研究关注起始于 90 年代初^[4-6],大多关注地表灰尘污染及其空间分布特征,对污染物中的重金属含量方面研究较少。有关重金属污染方面的研究成果主要有:施为光研究发现,成都市交通区重金属污染最为严重^[6];王金达等认为,沈阳市灰尘 Pb 污染以冶炼厂为中心的铁西重工业区最为严重,其次为繁华商业区^[7]。在研究方法方面,测定样品中重金属的方法有:分光光度法、极谱法、原子吸收光谱法、原子发射光谱法等,其中原子吸收光谱法对测定 Zn、Co、Ni、Pb、Cd 等微量元素的测定已有较多研究,应用很成熟^[8,9]。有关研究表明,总体上,城市人口越多,重金属(尤其是 Cd 和 Pb)污染越严重,在交通缓滞地段(如交通路口、红绿灯处)出现重金属污染峰值^[9,10]。总之,国内许多城市的地表灰

尘中重金属含量均高出土壤背景值,不同功能区之间的污染空间分异较大,局部污染比较严重^[7,11]。

目前,关于地表灰尘的重金属污染评价处于探索阶段,主要借鉴评价沉积物重金属污染的方法,如积累指数法、污染负荷指数法、回归过量分析法、潜在生态危害指数法等。其中潜在生态危害指数法是瑞典学者 Hakanson 于 1980 年根据重金属的性质及环境行为特点,从沉积学的角度提出来的对土壤或沉积物中重金属污染进行评价的方法^[12]。与其他评价方法相比,潜在生态危害指数法由于引入了主要反映重金属的毒性水平和生物对重金属的敏感程度的毒性系数 T,而使不同种类重金属的毒性水平在评价中体现出来,将重金属的生态效应、环境效应和毒理学联系起来,采用具有可比的、等价值属性指数分级法进行评价^[13-15]。这一优点是其他沉积物重金属评价不具备的。因此本研究选择这种方法对街道灰尘中重金属的潜在生态危害进行评价。

咸阳位于关中高新技术产业开发带中部,是我国西部重要的区域中心城市之一,具有承东启西的区位优势。本研究以咸阳市城市街道灰尘为研究对象,选择街道的交通十字路口采样,测定其中的重金属(Pb、Cu、Cd)的含量,然后用潜在生态危害指数法对灰尘中的重金属含量进行评价和确定重金属的污染程度,为城市环境的污染管理和治理,提供科学依据。

收稿日期:2008-07; 修订日期:2009-01。

基金项目:国家自然科学基金项目(40801008); 陕西省教育厅基金项目(06JK165); 咸阳师范学院自然科学基金项目(07XSYK211)。

作者简介:史兴民(1975-),男,博士,副教授,主要从事环境变迁等方面研究。E-mail: realsimon@163.com

2 实验数据与方法

2.1 数据采集

确定采样点 14 个(图 1),其中工业区的采样点有:华星机械厂、中午台、朝阳四路、雨茂医院;农业区的样点有:北上召、七里铺;文教区的样点有:文汇西路、市汽车北站;商业区的点有:人民广场、咸阳楼、体育场什子、肿瘤医院、秦皇南路北转盘、古渡公园。采样时间为 2008 年 3-5 月,样品在上述街

道的交叉路口采集,为了保证样品的代表性,一般是在交叉路口的 4 个方位采用多点采样(人行道、自行车道及机动车道边缘地带),再进行混合作为一个采样点的样品。样品用干净的塑料扫帚和簸箕进行收集,采样范围一般在 100m² 以内,样品质量约为 300g,采集的样品纪录见表 1。

2.2 分析方法

称取 0.2g 左右的样品,置于四氟乙烯坩埚中用少量水冲洗内壁湿润样品,用 HNO₃-HF-HClO₄ 法

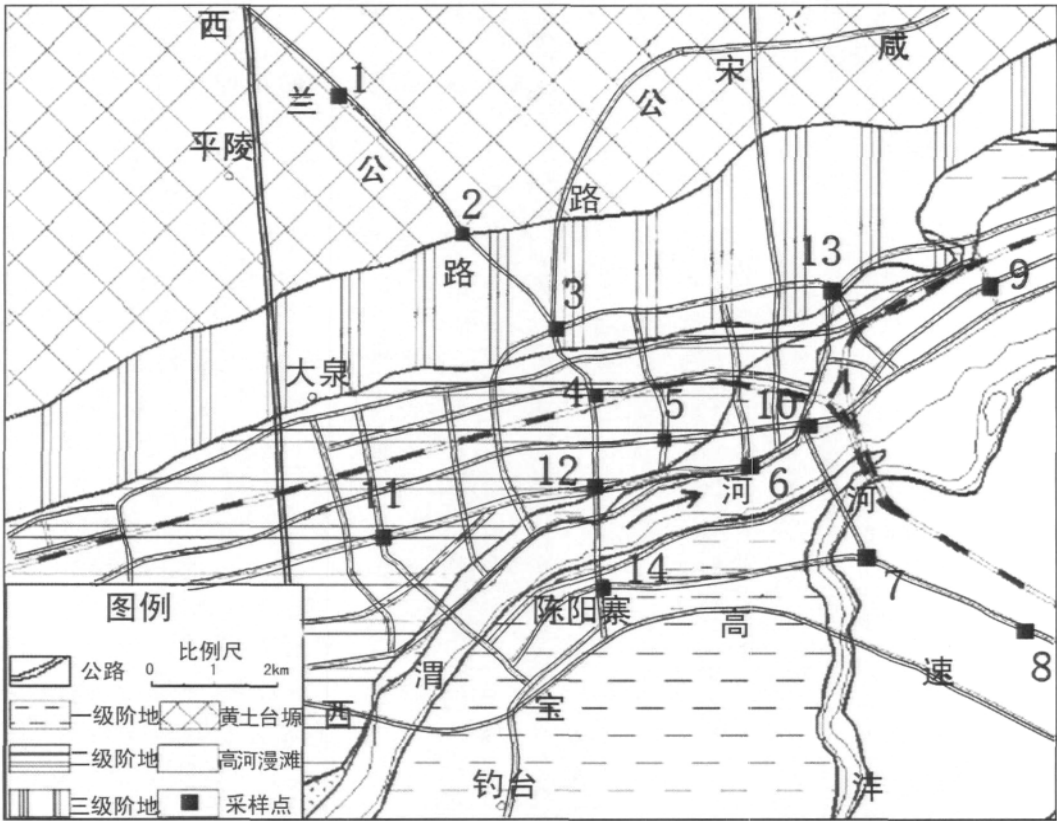


图 1 采样点分布
Fig 1 Sampling locations of Xianyang city

表 1 采样数据纪录

Tab 1 Detailed information of the sampling sites in Xianyang city

项目	位置		车流量 / min		样品颜色	周围环境
1.北上召	N: 34°22.533'	E: 108°39.904'	货车 8	轿车 14	深灰色	修路
2.华星机械厂	N: 31°21.981'	E: 108°40.411'	货车 8	轿车 12	近黑色	煤厂附近
3.市汽车北站	N: 34°21.343'	E: 108°41.304'	货车 9	轿车 13	灰色	氮肥厂、财院
4.文汇西路	N: 34°20.586'	E: 108°41.899'	轿车 6	公交 2	深灰色	修铁路
5.人民广场	N: 34°20.325'	E: 108°42.376'	公交 14	轿车 78	灰黑色	
6.咸阳楼	N: 34°20.071'	E: 108°43.674'	货车 2	轿车 12	灰色	旁有咸阳湖
7.肿瘤医院	N: 34°19.295'	E: 108°44.904'	货车 9	轿车 20	灰色	蓝马啤酒厂、石棉瓦厂
8.七里铺	N: 34°18.875'	E: 108°46.384'	货车 10	轿车 62	灰色	拆迁
9.朝阳四路	N: 34°21.842'	E: 108°47.051'	货车 3	轿车 10	灰黑色	长庆石油加油城
10.古渡公园	N: 34°20.438'	E: 108°44.084'	货车 7	轿车 38	深灰色	临近渭河
11.雨茂医院	N: 34°19.292'	E: 108°39.789'	公交 10	轿车 20	灰色	彩虹厂
12.体育场什子	N: 34°19.816'	E: 108°41.985'	公交 8	轿车 56	灰黑色	超市
13.中午台	N: 34°20.438'	E: 108°44.084'	货车 10	轿车 17	灰色	电线厂
14.秦皇南路北转盘	N: 34°18.942'	E: 108°42.107'	货车 3	轿车 28	灰色	绿化路边

消解,使用德国耶拿分析仪器股份公司生产的原子吸收光谱仪(novAA400),将配制好的1-14号样品以标准曲线为准测出其相应的吸光度值,然后在标准曲线上查各个样品溶液的浓度;算出0.2g左右的灰尘所含的重金属质量,然后再算出重金属含量。

3 结果与讨论

3.1 咸阳市街道灰尘重金属含量水平

由表2可见,重金属元素含量均值比背景值^[20]偏高。Pb和Cd变异系数均比较小,而Cu的变异系数在灰尘中都是最大的,提示Cu是研究区内受人为活动干扰最严重的重金属,而人为的活动对城市街道灰尘中Pb和Cd的干扰较小。与国内其他城市如上海、香港、沈阳市区街道灰尘相比,咸阳市街道灰尘中的Pb、Zn的含量低于经济发达的城市,只有Cu含量较高(表3)。

3.2 咸阳市街道灰尘重金属的空间分布特征

根据研究区各重金属含量,绘制1-14号采样点的重金属含量变化图(图2)。可见,街道灰尘重金属元素污染在空间上存在较大的差异性。Cu的污染浓度显著高于Pb、Cd。Cu污染浓度多处于1~5.8倍背景值水平,Cu在中午台含量特别高,污染水平在5.8~55倍背景值水平,附近有电线厂等企业,可能对Cu的含量贡献较大;Cd和Pb的污染程度较轻,Cd大多处于0~1.7倍背景值水平,少数处在1.7~2.1倍水平,华星机械厂含量最高,原因可能是其处在工业区并且该处通过的货车较多;Pb大部分处在0~2.6倍水平,华星机械厂、市汽车北站、咸阳楼附近相对其他地区较高,处在2.6~3.8倍水平。另外由图可见,Pb、Cu、Cd有大致相同变化趋势,说明控制这三种重金属来源的因素可能相同。

结合图1与图2可知,根据重金属含量各区排序为:工业区>文教区>商业区>农业区。在5、11和12这三个采样点的街道灰尘中,三种重金属的含量都相对较低,而这里正好处在市中心商业区,禁止摩托车、大型货车通行,出租车和公交车又以燃气为主,所以街道灰尘中的重金属含量较低。2、3、13

表2 咸阳市街道灰尘中重金属含量
Tab.2 Content of heavy metals in street surface dust in Xianyang city

项目	Cd	Cu	Pb
最小值(mg/kg)	0.09	68.82	23.44
最大值(mg/kg)	0.20	1212.58	97.63
算术平均值(mg/kg)	0.13	177.19	52.73
灰尘变异系数(%)	45.13	162.42	21.53
陕西省土壤背景值	0.09	32.00	21.40

表3 国内城市市区街道灰尘中重金属全量比较/(mg/kg)

Tab.3 Comparisons on the total heavy metal contents between Xianyang and other cities in street dust

城市	时间(年)	人口	Cd	Cu	Pb
香港	1998	5448000	—	92~392	208~755 ^[17]
上海	2004	17000000	—	17~661	28~4443 ^[18]
西安	1995	6088901	5.25	72.39	140.2 ^[19]
沈阳	2006	7204000	2.29~15.04	46.96~204.29	62.76~509.48 ^[19]
咸阳	2008	990000	0.09~0.2	68.82~1212.58	23.44~97.63

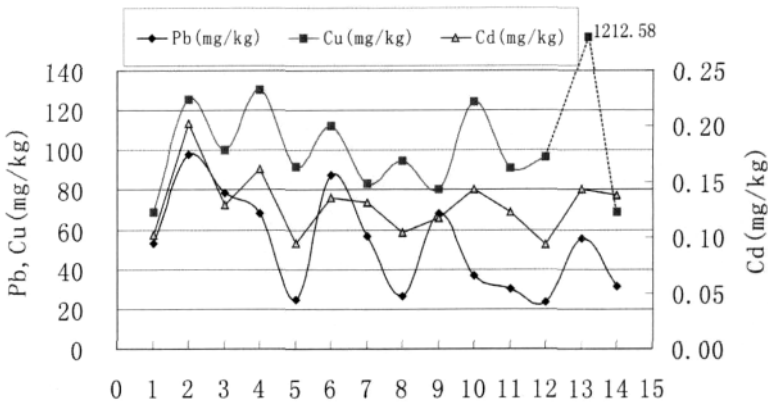


图2 街道灰尘中Pb、Cu、Cd含量的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of Pb,Cu and Cd in street surface dust

采样点的三种重金属含量相对都比较高,而这里的货车流量比较大(表1)。另外这三处的附近都有工厂存在,可能对灰尘中的重金属含量也有贡献。4号采样点处重金属含量也比较高,而这里又没有大型货车经过,这可能与附近有铁路有关。

3.3 潜在生态危害评价

3.3.1 潜在生态危害指数的计算方法

单个重金属的污染系数(C_f^i): $C_f^i = \frac{C_i^i}{C_n}$ (1)

单个重金属的潜在生态危害系数(E_r^i)

$$E_r^i = T_r^i * C_f^i \tag{2}$$

多种重金属的潜在生态危害指数(RI):

$$RI=\sum_i^m E_r^i=\sum_i^m T_r^i * C_f^i=\sum_i^m T_r^i \frac{C_i}{C_n} \tag{3}$$

式中： C_i^i 为表层沉积物重金属浓度实测值， C_n^i 为计算所需的参比值，选择陕西省土壤背景值作为参比值。按照 Hakanson 制定的标准化重金属毒性系数为评价依据，Pb、Cd、Cu 的毒性系数 T_r^i 分别取值为 5, 30, 5^[12]。重金属的污染生态危害系数和生态危害指数分级标准列于表 4。

表 4 E_r^i , RI 与污染程度的关系

Tab.4 Relationship of E_r^i , RI and pollution level		
E_r^i	RI	污染程度
$E_r^i < 40$	$RI < 150$	轻生态危害(1 级)
$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等生态危害(2 级)
$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$	强生态危害(3 级)
$160 \leq E_r^i < 320$	$RI \geq 600$	极强生态危害(4 级)
$RI \geq 320$		极强生态危害(5 级)

3.3.2 潜在生态危害水平

根据公式(1)–(3)，计算出咸阳市街道灰尘中单个重金属在各个采样点的潜在生态危害系数、单个重金属的平均潜在生态危害系数及 4 种重金属的(表 5)。根据表 3 的分级标准及各个重金属的平均值和值所对应的生态风险程度分级，得出灰尘中各种重金属的生态风险程度和生态危害指数如表 5。

所采集的 14 个灰尘样品中，属于轻微生态危害、强生态危害级别的比例分别是 92.86%，7.14%，中等生态危害和很强、极强生态危害无。总体上，咸

阳市生态环境较好，只有极少数地方受到污染。
3.3.3 潜在生态危害空间分布特征
为了便于观察将各个采样点的潜在生态危害指数进行了具体分级，Pb 分成两级 0~10，10~20。Cu 分成三级 0~20，20~40，40~300。Cd 也分成三级 0~40，40~50，50~60。通过对各样点的值进行计算^[21]，得到了咸阳市街道灰尘重金属的潜在生态危害系

表 5 咸阳市区街道灰尘重金属潜在生态风险程度分级
Tab. 5 Classification of the heavy metal ecological risk indexes in street surface dust of Xianyang city

项目	E_r^i (分级)			RI (分级)
	PB	Cd	Cu	
街道灰尘	10.14()	40.24()	39.55()	89.93()

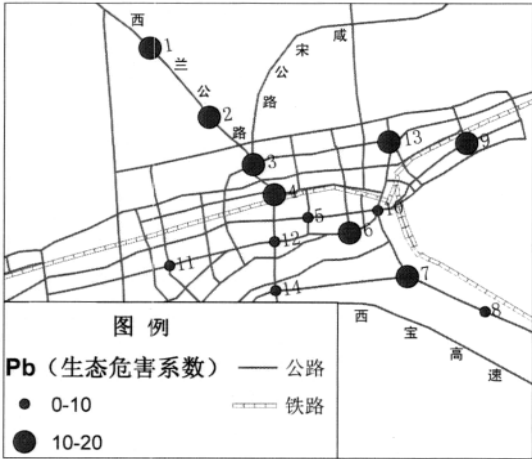


图 3 Pb 的潜在生态危害系数
Fig.3 Spatial distribution of Pb Eir in street surface dust of Xianyang city

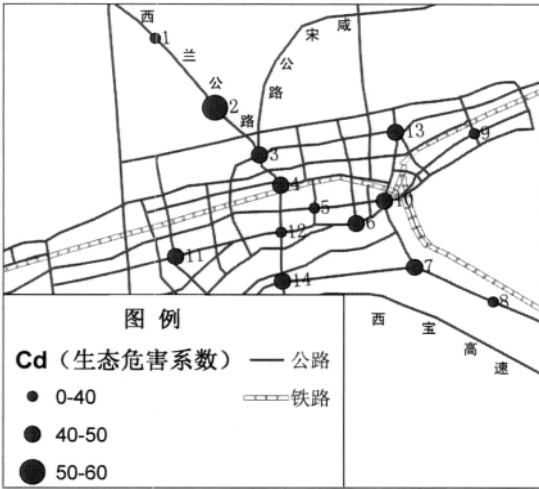


图 5 Cd 的潜在生态危害系数
Fig.5 Spatial distribution of Cd Eir in street surface dust of Xianyang city

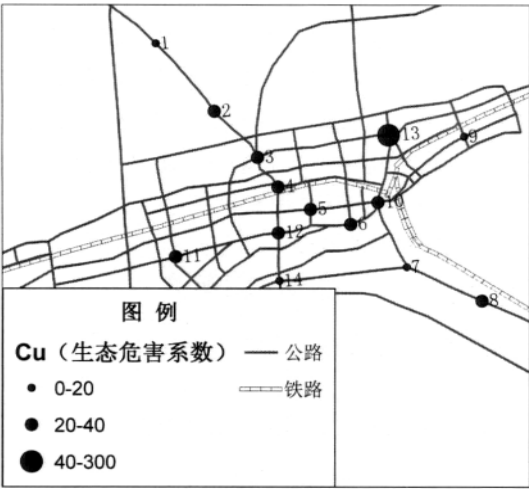


图 4 Cu 的潜在生态危害系数
Fig.4 Spatial distribution of Cu Eir in street surface dust of Xianyang city

数的空间分布图(图 3-5)。

由表 5 和图 3-5 可知,单个重金属平均值来看,地表灰尘的值潜在生态危害最大的是 Cd,其值达到了中等生态危害。Cu 的生态危害次之,生态危害最低的是 Pb,从单个重金属的各个采样点值看,华星机械厂的 Pb 和 Cd 的潜在生态危害指数最大,分别达到轻生态危害水平和中等生态危害水平,而 Cu 危害最大的是中午台,达到了强的生态危害水平。从 3 种重金属潜在生态危害指数 RI 来看,街道灰尘的 RI 值快达到中等生态危害水平,其中 Cd 对城市街道灰尘的潜在生态危害的贡献最大。通过对各样点的 RI 值进行计算,得到了咸阳市街道灰尘重金属潜在生态危害指数的空间分布图(图 6)。

由图 6 可知,中午台的潜在生态危害指数最大,达到了强的生态危害水平,其次是华星机械厂,接近中等生态危害水平,其余各点都是轻的生态危害水平。总体来说,咸阳市区尚无很强生态危害级别以上的潜在危险。再跟上海市作一对比:上海市区地表灰尘的重金属潜在生态危害指数超过很强生态危害级别的区域面积占市区的 60% 以上^[21],比咸阳市区灰尘重金属的潜在生态危害指数高得多。

3.3.4 重金属含量的来源分析

从图和数据可以看出,样品重金属含量受采样点的车流量及车型的影响,原因是不同车型使用的是不同燃料:客车、货车使用的是汽油(含有重金属如 Pb),而公交和出租车使用的是天然气,人民广场和体育场什子车流量虽大,但这些车大都使用的是天然气燃料。另外还受周围环境的影响,如采样点处于哪个区等,处在工业区的采样点的重金属含量较高,尤其在重工业区影响十分显著,如中午台的 Cu 含量特别高。但是如果严格区分交通工具和周围工厂对重金属含量的准确贡献率还存在困难。除了上述两个方面外,人们日常的生活垃圾对重金属含量也有贡献。

4 结论

(1)咸阳市街道灰尘重金属 Pb、Cu、Cd 的平均含量高于陕西省土壤环境背景值,污染状况中等,空间分异较大。工业区污染相对较严重,其中中午台达到了强生态危害。农业区、文教区、商业区污染较轻。商业区虽然车流量大,但是其中公交和出租车都使用的是天然气,这些地区重金属含量不高。总体上,主要是采样点货车流量大对重金属贡献较大。(2)根据城市地表灰尘重金属的潜在生态风险评价结果得出,咸阳市街道灰尘重金属大多属于轻度

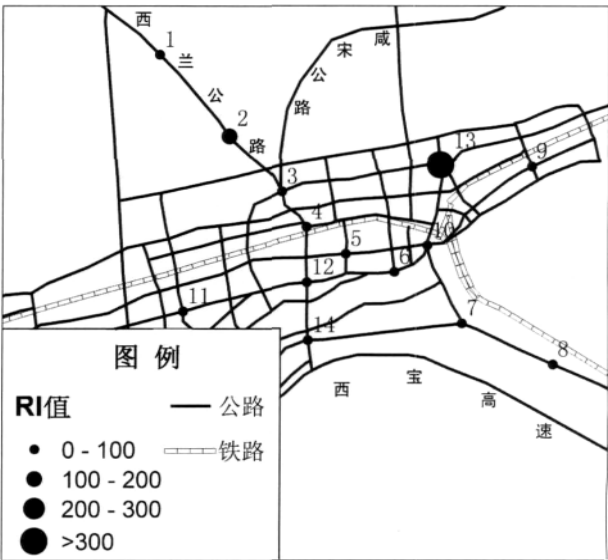


图 6 RI 潜在生态危害指数分布
Fig.6 Spatial distribution of heavy metals RI in street surface dust of Xianyang city

污染,少数地区污染较严重,达到了强的生态危害水平。其中 Cd 是潜在生态危害最严重元素,达到中等生态危害,而 Cu 和 Pb 都是轻生态危害水平。

致谢：感谢黄怡教授和严少普老师对实验的指导，感谢苏英教授提供的咸阳市区底图。

参考文献

[1] 常静, 刘敏. 城市地表灰尘概念、污染特征与环境效应. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1155-1160.

[2] Harrison R, Yin M, et al. Particulate matter in the atmosphere: Which particle properties are important for its effects on health?. Science of the Total Environment, 2000, 249: 85-101.

[3] Day J P, Hart M, Robinson S M. Lead in urban street dust. Nature, 1975, 253: 343-345.

[4] 杜佩轩, 马智民. 城市灰尘污染及治理. 城市问题, 2004, 8(2): 46-49.

[5] 施为光. 成都市街道表面沉积物积累与污染特征. 环境科学, 1991, 12(3): 18-23.

[6] 施为光. 成都市街道表面沉积物重金属研究. 城市环境与城市生态, 1995, 8(3): 25-29.

[7] 王金达, 刘景双, 于君宝. 沈阳市土壤与灰尘中铅的分布特征. 中国环境科学, 2000, 23(30): 300-304.

[8] 张志龙. 地质和地球化学物料分析. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 171-173.

[9] 徐争启, 倪师军. 火焰原子吸收光谱法分析沉积物中重金属元素的形态. 分析实验室, 2006, 25(4): 49-54.

[10] 杨苏才. 兰州市表层土壤铜、锌、铅的污染评价及成因分析. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 112-117.

[11] Han D Y, Cen K, Gong Q J. Cu, Pb and Zn contents in

road dusts in parks and their pollution assessment in Beijing. *Research of Environmental Science*, 2004, 12(2): 10–13.

[12] Hakanson Lars. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*, 1980, 14(8): 975–101.

[13] Mielke H W, Gonzales C R, Smith M K, et al. The urban environment and children’s health: Soils as integrator of lead, zinc, and cadmium in New Orleans, Louisiana, U. S. A. *Environmental Research*, 1999, 81(2): 117–129.

[14] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价. *地理科学*, 2005, 25(1): 108–112.

[15] 史贵涛, 陈振楼, 王利. 上海城市公园灰尘重金属污染及其潜在生态风险评价. *城市环境与城市生态*, 2006, 19(4): 40–43.

[16] 李崇, 李法云, 张营, 等. 沈阳市街道灰尘中重金属的空间分布特征研究. *生态环境* 2008, 17(2): 560–564.

[17] Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, et al. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International*, 2003, 29(5): 563–573.

[18] 张菊. 上海城市街道灰尘重金属污染研究. 上海: 华东师范大学, 2005: 17–66.

[19] 韩永明. 西安市城市灰尘环境污染及环境质量评价. 西安: 长安大学, 2003: 37.

[20] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 87–496.

[21] 林啸, 刘敏, 侯立军, 等. 上海市土壤和地表灰尘重金属污染现状及评价. *中国环境科学*, 2007, 27(5): 613–6118.

Street Surface Dust Heavy Metal Pollution State and Assessment in Xianyang City

SHI Xingmin, WANG Jianhui

(1. Department of Resource Environment and Urban Science, Xianyang Normal College, Xianyang 712000, Shaanxi, China;
2. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Urban street dust is one of the important indicators that reflects status of urban environmental pollution. The dust samples were collected in the district of traffic crossroads in Xianyang city. The experiment used atomic absorption spectrometry to measure lead, cadmium and copper of the dust content. Spatial technique was applied to study the content level and the spatial distribution character of heavy metal pollution in street surface dust of Xianyang city. Geochemical maps of heavy metals (Cd, Cu, Pb) in the street surface dust were produced based on and adopting Hakanson suggested potential ecological risk index technique to assess the potential ecological risk of heavy metals in street surface dust, and utilizing geographical information system (GIS) technique to draw up the spatial distribution map of assessment results. The results showed that the majority of heavy metals in the dust exceeded the soil background value in Xianyang city streets. The range of Cd, Cu and Pb contents in street dust is 0.09–0.2mg·kg⁻¹, 68.82–1212.58 mg·kg⁻¹ and 23.44–97.63mg·kg⁻¹, respectively. Cu is 1–5.8 times of the soil background value in Xianyang. The contents of Cd and Pb are 0–1.7 and 0–2.6 times of the soil background value in Xianyang. Based on the calculation results of heavy metal ecological risk indexes in street surface dust of Xianyang, potential ecological risk of Cd is the highest, Cu is moderate and Pb is the least. The ecological hazard for the different domains was in the order of industrial area > school area > business area > agriculture area. Generally speaking, heavy metals pollution in urban street dust of Xianyang reached the lightly ecological risk levels. The results are expected to provide important scientific basis for the urban environmental pollution control and city planning of Xianyang.

Key words: Xianyang city; heavy metal; street surface dust