

莱芜市城区街道灰尘重金属含量及其健康风险评价

张梦月^{1,2}, 张智博¹, 刘涛¹, 张泉祥¹, 卢巍¹, 张菊¹

(1.聊城大学 环境与规划学院,山东 聊城 252059;2.内蒙古大学 生态与环境学院,呼和浩特 010000)

摘要:对莱芜市城区交通干道灰尘中重金属的污染特征及其基本理化性质进行了研究,分析了重金属元素的空间分布及其相关性,并对街道灰尘重金属的健康风险进行了评价.结果表明,街道灰尘中 Hg, As, Cr, Pb, Zn 和 Cu 的平均含量分别为 0.170、11.7、60.6、52.9、96.3 和 30.3 mg · kg⁻¹,街道灰尘呈碱性,pH 的平均值为 9.40,有机质平均含量为 54.06 g · kg⁻¹,街道灰尘中 6 种重金属的平均含量均符合土壤环境质量标准(GB 15618-1995)二级标准,除 Cr 外其他元素平均值均超过山东省土壤背景值.除 Pb 外,各元素含量均表现为从西向东降低的趋势;Cr、Zn 和 Cu 两两之间具有显著的相关性,Hg 和 As 与其他元素的相关性较弱;交通和工业生产可能是城区街道灰尘重金属的主要来源.健康风险评价的结果表明,不同暴露途径非致癌风险均由大到小表现为口摄入途径、皮肤接触途径、吸入途径,口摄入为城区街道灰尘暴露风险的主要途径;各重金属对于人体的非致癌风险由大到小表现为 As, Cr, Pb, Cu, Hg, Zn, 儿童的非致癌风险大于成人,但均小于风险阈值 1;As 和 Cr 形成的致癌风险较低.

关键词:重金属;街道灰尘;空间分布;健康风险评价;莱芜市

中图分类号:X53

文献标志码:A

城市街道灰尘是指城市街道的垃圾灰尘颗粒物,粒径相对较粗或大粒径颗粒物所占比例较大,是城市生态系统中一类重要的环境介质^[1].城市街道灰尘颗粒物表面往往吸附大量金属污染物,在一定动力条件(如汽车交通碾压、风力及人群活动等)下能够被再次扬起从而进入大气环境,成为危害生态环境和人类健康的污染物^[2-4].近年来,对发达城市的街道灰尘重金属含量和健康风险评价的研究较多^[5-7],而对工业城市街道灰尘中重金属污染的研究相对较少.莱芜市是山东省典型工业城市,素有“钢城煤都”之称,其下辖莱城区自然资源丰富,工业兴起,是全国地方煤矿重点产煤县市区之一,同时拥有泰山钢铁不锈钢厂、九羊钢厂等众多钢铁企业,这些企业带来经济迅速发展的同时,也对城市生态环境和居民健康造成一定影响.本研究通过现场采样和室内分析对莱芜市城区街道灰尘中重金属的含量及理化性质进行测定,分析了重金属的空间分布特征,探讨了元素间的相关关系及其来源,并采用美国环境保护署(US EPA)人体暴露风险评价方法对街道灰尘中重金属对人体的环境健康风险进行了评价,以期为莱芜地区城市生态管理、重金属污染防治和人体健康风险预警提供科学的依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集

2015 年 7 月,在莱芜市城区采用网格布点法(1 km × 1 km)布设采样点 32 个,具体位置如图 1 所示.采用洁净塑料刷和塑料簸箕扫取街道表面灰尘样品,采样范围为 1~2 m²,采集样品质量约为 500 g.将样品装入自封袋密封,编号并记录采样点周边的环境状况.样品在 50 °C 下烘干(>24 h)后,去除大的沙粒、树叶等杂

收稿日期:2018-05-30;修回日期:2018-07-01.

基金项目:国家自然科学基金(41401563);山东省自然科学基金(ZR2014JL028);聊城大学大学生创新创业计划(CXCY2016070).

作者简介:张梦月(1995-),女,山东滨州人,内蒙古大学硕士研究生,研究方向为城市环境过程, E-mail:562492715@qq.com.

通信作者:张菊(1980-),女,四川自贡人,聊城大学副教授,研究方向为城市环境污染过程, E-mail:mickyjuzi@lcu.edu.cn.

质,用玛瑙研钵研磨后过 100 目的尼龙网筛,筛后的样品作为街道灰尘有效样品进行密封保存,用以测定 pH、有机质和重金属含量.

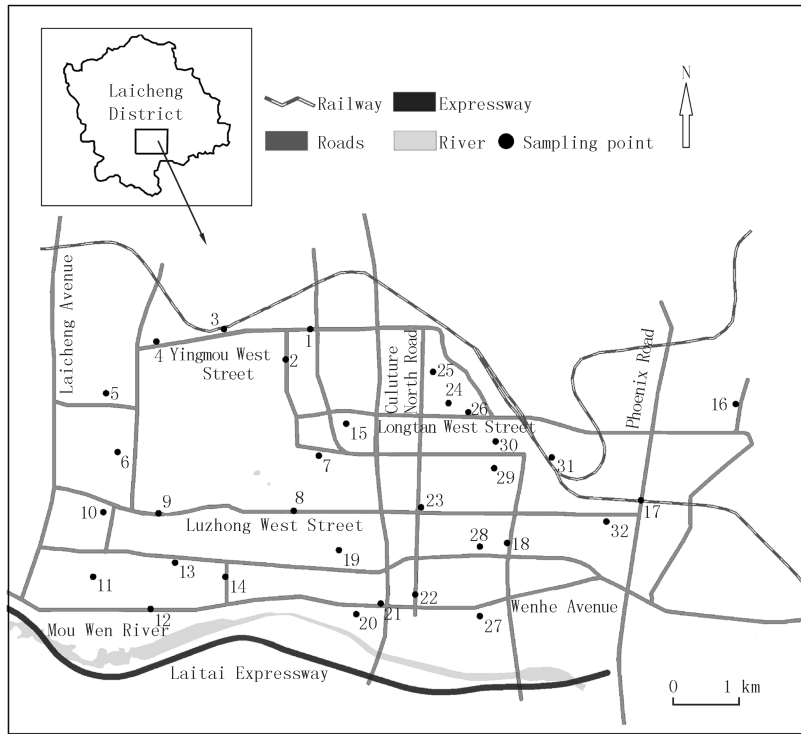


图 1 莱芜市城区街道灰尘采样点分布

Fig.1 The sketch map showing the sampling sites of street dust in the urban area of Laiwu City

1.2 样品分析与数据处理

样品经王水消解,用 AFS-933 双道原子荧光光度计(北京吉天)测定 Hg 和 As;Cr,Pb,Zn 和 Cu 经三元酸($\text{HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$)消解,用 TAS-990AFG 原子吸收分光光度计(普析)测定;pH 值的测定采用 pH 计法(水土质量比 2.5 : 1);有机质采用重铬酸钾容量法测定.实验所用试剂均为优级纯,在分析过程中进行试剂空白和平行样的测定,并使用国家土壤标准物质 GBW07403 标准物质(GSS-3)进行平行样分析,回收率 90%~110%之间,各重金属的相对标准偏差均小于 10%.使用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件进行数据统计分析,并采用 ArcGIS 10.3 软件绘制重金属含量的空间分布图.

1.3 健康风险评价模型

根据街道灰尘在环境中的迁移转化特征,灰尘主要通过 3 种暴露途径进入人体:口摄入、呼吸系统摄入和皮肤接触.本研究中的 6 种重金属均具有慢性非致癌风险,而 As 和 Cr 兼有致癌风险.考虑到 US EPA 未给出手-口接触和皮肤接触致癌斜率系数(Slope Factor, SF),本研究仅对 As 和 Cr 的吸入途径致癌风险值进行计算.不同的暴露途径计算公式^[3,8]如下:

经口摄入途径日平均暴露量(average daily dose by ingestion, ADD_{ing}):

$$ADD_{ing} = \frac{C \times IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6}, \quad (1)$$

吸入途径日平均暴露量(average daily dose by inhalation, ADD_{inh}):

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}, \quad (2)$$

皮肤接触日平均暴露量(average daily dose by dermal contact, ADD_{dermal}):

$$ADD_{\text{dermal}} = \frac{C \times SA \times SL \times ABS_d \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6}, \quad (3)$$

致癌重金属终生日平均暴露量(lifetime average daily dose by inhalation, $LADD_{\text{inh}}$):

$$LADD_{\text{inh}} = \frac{C \times EF}{PEF \times AT} \times \left(\frac{InhR_{\text{child}} \times ED_{\text{child}}}{BW_{\text{child}}} + \frac{InhR_{\text{adult}} \times ED_{\text{adult}}}{BW_{\text{adult}}} \right), \quad (4)$$

公式中各参数含义及取值见表 1.

表 1 重金属日平均暴露量评价参数取值

Tab.1 Parameter values of average daily dose of heavy metal

Parameters	Meaning	Unit	Value	
			Children	Adult
C	Concentrations	mg · kg ⁻¹	Concentration of heavy metal in street dust	
IngR ^[9]	Ingestion rate	mg · d ⁻¹	200	100
InhR ^[10]	Inhalation rate	m ³ · d ⁻¹	7.6	20
EF ^[11]	Exposure frequency	d · a ⁻¹	180	
ED ^[9]	Exposure duration	a	6	24
PEF ^[9]	Particle emission factor	m ³ · kg ⁻¹	1.36 × 10 ⁹	
SA ^[12]	Exposed skin area	cm ²	1 150	2 145
SL ^[9]	Skin adherence factor	mg · cm ⁻² · d ⁻¹	0.2	0.07
BW ^[9]	Average body weight	kg	15	70
AT ^[11]	Averaging time	d	Non-carcinogens ED×365 Carcinogens 70×365	
ABS _d ^[11]	Dermal absorption factor	unitless	0.001	

街道灰尘中重金属的非致癌风险熵(Hazard Quotient, HQ)、非致癌风险指数(Hazard index, HI)和致癌风险(Cancer Risk, CR)的公式^[3,8]如下:

$$HQ = ADD/RfD, \quad (5)$$

$$HI = \sum_{i=1}^3 HQ_i, \quad (6)$$

$$CR_i = LADD \times SF_i, \quad (7)$$

$$(\text{Risk})T = \sum_{i=1}^3 \text{Risk}_i, \quad (8)$$

式中,若 HQ 或 $HI < 1$,则认为非致癌风险较小或可以忽略, HQ 或 $HI > 1$ 时则认为存在非致癌风险^[13]; RfD 为参考剂量,mg · kg⁻¹ · d⁻¹; SF 为斜率系数,kg · d · mg⁻¹; $(\text{Risk})T$ 为 2 种重金属的致癌总风险,US EPA 推荐可接受风险值 10⁻⁶ ~ 10⁻⁴ 为土壤治理的基准^[14]. RfD 与 SF 值见表 2.

表 2 重金属人体参考剂量(RfD)及致癌斜率系数(SF)

Tab.2 Reference dose and carcinogenic slope factor of heavy metal for human body

Parameters	Hg ^[15]	As ^[8]	Cr ^[8]	Pb ^[8]	Zn ^[8]	Cu ^[8]
RfD_{ing}	3.00E-04	3.00E-04	3.00E-03	3.50E-03	3.00E-01	4.00E-02
RfD_{inh}	8.57E-05	3.01E-04	2.86E-05	3.52E-03	3.00E-01	4.02E-02
RfD_{dermal}	2.10E-05	1.23E-04	6.00E-05	5.25E-04	6.00E-02	1.20E-02
$SF^{1)}$	—	15.1	42	—	—	—

注:1) SF 为吸入途径的致癌系数

2 结果与讨论

2.1 莱芜市城区街道灰尘重金属含量及理化性质

莱芜市城区街道灰尘重金属含量及理化性质的参数统计见表 3,表 4.应用 SPSS 18.0 软件中 Shapiro-

Wilk 法对数据进行正态检验,As,Cr,Pb 和 Zn 属于正态分布,Hg,Cu,pH 和有机质呈正偏态分布。

街道灰尘中 6 种重金属的平均含量均符合土壤环境质量标准(GB 15618-1995)二级标准。除 Cr 外其他元素平均值均超过山东省土壤背景值,Hg,As,Pb,Zn 和 Cu 分别为山东省土壤背景值的 8.95、1.26、2.05、1.52 和 1.26 倍,而 Cr 有 11 个点位超标,超标率为 34.4%。街道灰尘 pH 的平均值为 9.40,范围在 7.70~12.04 之间,呈碱性,明显高于山东省土壤背景值。含有碱性物质的大气颗粒物沉降、老化的路面和城市建筑材料等进入到街道灰尘中导致了街道灰尘 pH 的升高^[16]。有机质的平均值为 54.06 g·kg⁻¹,明显超过山东省土壤背景值。有机质的来源可能与土壤颗粒、汽车尾气排放、植物残体和城市垃圾等有关^[16]。街道灰尘中重金属变异系数较大,说明重金属分布不均匀,其来源受外界的影响较大。

与国内其他城市相比,莱芜市城区街道灰尘中重金属 Cr,Pb,Zn 和 Cu 平均含量较低;Hg 平均含量为莱芜市钢城区的 2.13 倍;As 平均含量高于北京市,是其平均含量的 1.89 倍。莱芜市城区街道灰尘中重金属平均含量远远小于宝鸡市、沈阳市和铜陵市等典型工业城市,pH 值和有机质含量均低于上海市街道灰尘水平。

表 3 莱芜市城区街道灰尘重金属含量与标准及国内其他城市对比

Tab.3 The comparison of average heavy metals concentrations in urban street dust of Laiwu City with the standards and those in several other cities

Cities and standards	Hg/ (mg·kg ⁻¹)	As/ (mg·kg ⁻¹)	Cr/ (mg·kg ⁻¹)	Pb/ (mg·kg ⁻¹)	Zn/ (mg·kg ⁻¹)	Cu/ (mg·kg ⁻¹)	pH	Organic matter /(g·kg ⁻¹)
Laiwu(this study)	0.170	11.7	60.6	52.9	96.3	30.3	9.40	54.06
Maximum	0.630	19.6	103.2	81.2	149.8	53.1	12.04	118.85
Minimum	0.036	5.5	32.9	15.9	43.1	19.8	7.70	21.49
Soil background value in Shandong province ^[17]	0.019	9.3	66	25.8	63.5	24	7.7	11.6
Soil grade I standards ^[18]	0.15	15	90	35	100	35	—	—
Soil grade II standards ^[18]	1	25	250	350	300	100	—	—
Beijing ^[19]	0.34	6.2	86.6	54	219.2	45.6	—	—
Shanghai ^[16]	—	—	105	196	584	152	9.52	63
Gangcheng District ^[20]	0.08	9.5	77.7	42.8	94.1	30.6	—	—
Baoji ^[15]	1.1	19.8	126.7	433.2	715.3	123.2	—	—
Shenyang ^[21]	—	—	—	106.3	334.5	81.3	—	—
Tongling ^[22]	—	259.4	145.5	312.3	2 689.6	1 346.6	—	—

注:“—”表示无数据。

表 4 莱芜市城区街道灰尘重金属理化性质统计参数

Tab.4 Statistical parameters of heavy metals physicochemical characteristics in the urban street dust of Laiwu City

Statistical parameter	Hg	As	Cr	Pb	Zn	Cu	pH	Organic matter
Standard Deviation	0.13	3.5	18.8	12.5	29.4	10.2	1.17	25.28
Coefficient of variance/%	76.7	29.9	31	23.7	30.5	33.8	12.4	46.8
Skewness	1.878	0.811	0.562	-0.238	0.103	0.947	0.829	1.304
Kurtosis	4.986	0.429	0.29	1.43	-0.792	-0.503	-0.253	1.474

2.2 莱芜市城区街道灰尘重金属含量的空间分布特征与来源分析

应用 ArcGIS 10.3 软件采用普通克里格插值法对各重金属含量的空间分布进行了分析,结果如图 2 所示,莱芜市城区街道灰尘各重金属的含量除 Pb 外,均表现为从西向东降低的趋势。莱芜市城区自西向东可以分为 3 个功能区,即工业区、居民商业混合区和开发区。工业区有对环境影响较大的企业工厂,例如不锈钢

厂、机械加工厂、泰钢原料厂等,并且工业区发展历史长,车辆过往较多,因此重金属含量相对较高,居民商业混合区主要以居民小区、学校、医院、酒店、餐饮等为主,虽车流量和人流量较大,但没有对环境影响较大的工厂企业,因而重金属含量较低,东部开发区以科技文化交流为主,人口密度小,重金属的含量低,但东部开发区临近京沪高速,车流量大,这可能是导致街道灰尘中 Pb 含量较高的原因。

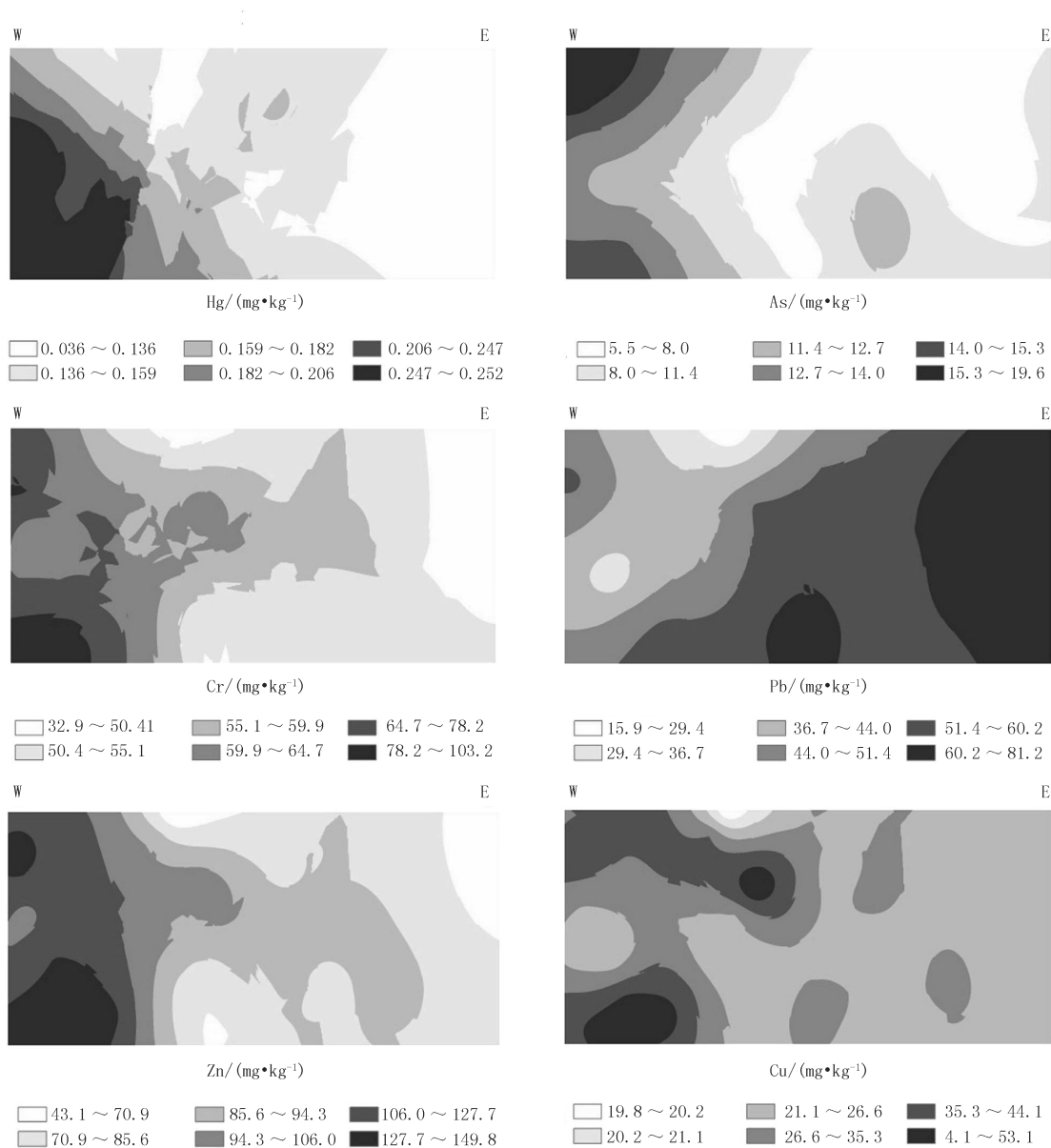


图 2 莱芜市城区街道灰尘中重金属含量的空间分布

Fig.2 Spatial distributions of heavy metals concentrations in the urban street dust of Laiwu City

利用重金属之间的相关性可用于分析其是否具有相同的来源^[23].街道灰尘重金属和理化性质的 Pearson 相关系数见表 5.Cr,Zn 和 Cu 两两之间相关系数均在 0.83 以上,具有极显著相关性($P < 0.01$);Hg 和 As 与其他元素的相关性较弱,仅 As 与 Cu 呈显著相关($P < 0.05$).研究表明^[16],有机质能吸附重金属,是重金属良好的载体;pH 的升高会影响街道灰尘对重金属的吸附作用以及重金属赋存形态的变化,从而影响重金属的含量.而本研究中各重金属与有机质含量无显著相关关系($P > 0.05$);各重金属(除 Pb 外)与 pH 呈正相关,但仅 As 与 pH 具有极显著的正相关关系($P < 0.01$),说明莱芜市城区街道灰尘重金属含量受 pH、有机质含量的影响较小。

表5 莱芜市城区街道灰尘重金属和理化性质的 Pearson 相关系数

Tab.5 Pearson correlation coefficients of heavy metals and physiochemical properties in the urban street dust of Laiwu City

Heavy metals and physiochemical properties	Hg	As	Cr	Pb	Zn	Cu	pH
As	0.02						
Cr	0.12	0.23					
Pb	-0.04	-0.01	0.24				
Zn	0.06	0.25	0.88 ^a	-0.03			
Cu	0.15	0.38 ^b	0.84 ^a	0.24	0.83 ^a		
pH	0.33	0.48 ^a	0.27	-0.27	0.29	0.32	
Organic matter	0.14	0.03	0.10	0.15	-0.08	-0.10	-0.17

注:^a表示 $P < 0.01$; ^b表示 $P < 0.05$.

Hg 污染较严重的区域位于泰山不锈钢厂附近,最大含量为 $0.630 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是山东省土壤背景值的 33.16 倍;As 是燃煤的标志元素^[4],而工业区不锈钢厂、冶金机械厂等工厂企业在生产过程中均需大量使用煤炭和燃油,由此初步推断工业生产是影响 Hg 和 As 含量的主要因素,Zn 和 Cu 污染较严重的区域附近有莱泰高速经过,并且区域内有众多的汽车修理处,交通量大并且汽车轮胎、制动器老化磨损严重^[7,24];Cu 的另一高值区位于中心商业区,汽车行驶缓慢,停车较多,因此造成了刹车系统和其他汽车零部件的较多磨损^[7],导致 Cu 在街道灰尘中的累积,Zn 和 Cu 具有极显著的正相关关系(表 5),因此 Zn 和 Cu 可能主要受交通因素的影响,Pb 含量在商业区域和交通干道密集区域较高,莱芜市中心繁华地带商业发达,区域内有莱芜汽车总站和众多公交汽车站点,汽车尾气排放是灰尘中 Pb 的一个重要来源^[5].Cr 平均含量小于背景值,整体受自然因素影响较大^[25],并且由图 2 可知,Cr,Zn 和 Cu 的高值区有重叠,所以推断 Cr 同时也受交通因素影响.Cr,Zn 和 Cu 具有显著相关性,As 和 Cu 具有相关性,因此交通和工业生产可能是莱芜市城区街道灰尘中重金属的主要来源.

2.3 莱芜市城区街道灰尘重金属健康风险评价

采用 US EPA 人体暴露风险评价方法对莱芜市城区街道灰尘中 6 种重金属(Hg,As,Cr,Pb,Zn 和 Cu)进行健康风险评价,重金属不同暴露途径非致癌风险熵(HQ)和非致癌风险指数(HI),重金属致癌风险(CR)结果分别如表 6 和表 7 所示.

由表 6 可知,重金属的不同暴露途径非致癌风险熵由大到小均表现为口摄入途径、皮肤接触途径、吸入途径,说明口摄入为莱芜市城区街道灰尘暴露风险的主要途径,这与 Muhammad U A 等人的研究结果一致^[26].不同暴露途径各重金属的非致癌风险熵均表现为儿童大于成人.通过口摄入途径,儿童非致癌风险熵最大的是 As,HQ 达到了 $2.56\text{E}-01$,其次是 Cr;而吸入和皮肤接触途径儿童非致癌风险熵最大的均为 Cr,HQ 分别为 $3.89\text{E}-04$ 和 $7.64\text{E}-03$.各重金属非致癌风险指数大小顺序为 As,Cr,Pb,Cu,Hg,Zn.街道灰尘重金属的儿童非致癌指数是成人的 9.10~9.37 倍;儿童与成人的非致癌风险值均小于 1,非致癌风险较小或可以忽略.

由表 7 可知,莱芜市城区街道灰尘重金属致癌风险表现为:Cr 高于 As,儿童和成人致癌总风险均远小于阈值范围($10^{-6} \sim 10^{-4}$),说明街道灰尘中 As,Cr 致癌风险较低,对居民的身体健康造成致癌危害的可能性很小.

3 结 论

从莱芜市城区街道灰尘中 6 种重金属元素的平均含量来看,各元素均符合土壤环境质量标准二级标准,除 Cr 外其他元素平均值均超过了山东省土壤背景值,但 Cr 仍有 11 个点位超标;街道灰尘中各重金属含量除 Pb 外均表现为从西向东降低的趋势,Cr,Zn 和 Cu 之间具有极显著正相关关系且 As 和 Cu 具有显著正相关关系,因此推断交通和工业生产可能是该地区街道灰尘中重金属的主要来源,重金属的空间分布特征为重

金属污染防治提供了重要依据.对于重金属非致癌风险,不同暴露途径非致癌风险由高到低为口摄入途径、皮肤接触途径、吸入途径,并且儿童与成人非致癌风险值均小于 1,所以非致癌风险较小或可以忽略;儿童与成人致癌总风险远小于阈值范围 10^{-6} ,致癌风险很小.尽管非致癌风险和致癌风险都远低于人体最大可接受水平,建议有关部门仍应加强对莱芜市城区街道灰尘重金属污染防治的重视.

表 6 莱芜市城区街道灰尘重金属非致癌风险熵(HQ)和非致癌风险指数(HI)

Tab.6 Hazard quotient and hazard index of heavy metals in urban street dust of Laiwu City

Heavy metal	Hazard quotient(HQ)						Hazard index(HI)	
	Ingestion		Inhalation		Dermal contact		Children	Adult
	Children	Adult	Children	Adult	Children	Adult		
Hg	3.72E-03	3.98E-04	3.64E-07	2.05E-07	6.11E-05	8.54E-06	3.78E-03	4.07E-04
As	2.56E-01	2.74E-02	7.13E-06	4.02E-06	7.18E-04	1.00E-04	2.57E-01	2.75E-02
Cr	1.33E-01	1.42E-02	3.89E-04	2.20E-04	7.64E-03	1.07E-03	1.41E-01	1.55E-02
Pb	9.93E-02	1.06E-02	2.76E-06	1.56E-06	5.01E-09	7.50E-11	9.93E-02	1.06E-02
Zn	2.11E-03	2.26E-04	5.90E-08	3.33E-08	1.21E-05	1.70E-06	2.12E-03	2.28E-04
Cu	4.97E-03	5.33E-04	1.38E-07	7.80E-08	1.91E-05	2.67E-06	4.99E-03	5.36E-04

表 7 莱芜市城区街道灰尘重金属致癌风险(CR)

Tab.7 Carcinogenic risk of heavy metals in the urban street dust of Laiwu City

Heavy metal	Carcinogenic risk			Total carcinogenic risk
	Maximum	Minimum	Average	
As	3.23E-11	1.85E-12	8.73E-12	3.12E-09
Cr	5.30E-09	1.69E-09	3.11E-09	

参 考 文 献

- [1] 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,2010,32(5):78-81.
- [2] 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价[J].环境科学,2011,32(9):2661-2668.
- [3] Cao Z G, Chen Q Y, Wang X Y, et al. Contamination characteristics of trace metals in dust from different levels of roads of a heavily air-polluted city in north China[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2018, 40(6): 2441-2452.
- [4] 闫慧,陈杰,肖军.典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价:以许昌市为例[J].环境科学,2013,34(10):4017-4023.
- [5] 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.
- [6] 郭金停,周俊,胡蓓蓓,等.天津城市公园灰尘重金属污染健康风险评价[J].生态学杂志,2014,33(2):415-420.
- [7] 于洋,马俊花,宋宁宁,等.北京市地表灰尘中 Cu 的分布及健康风险评价[J].生态毒理学报,2014,9(4):744-750.
- [8] 张文超,吕森林,刘丁彧,等.宣威街道尘中重金属的分布特征及其健康风险评价[J].环境科学,2015,36(5):1810-1817.
- [9] U.S.Environmental Protection Agency. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites[M]. Washington D C: Office of Emergency and Remedial Response, 2002 :4-24.
- [10] Van den Berg R. Human exposure to soil contamination: a qualitative and quantitative analysis towards proposals for human toxicological intervention values (partly revised edition)[R]. RIVM Report no.725201011. National Institute for Public Health and the Environment, the Netherlands, 1994.
- [11] Ferreira-Baptista L, De Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A topical urban environment[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(25): 4501-4512.
- [12] 王喆,刘少卿,陈晓民,等.健康风险评价中中国人皮肤暴露面积的估算[J].安全与环境学报,2008,8(4):152-156.
- [13] 张鑫,张敏,任伊凡,等.某废弃厂房和建筑用地表层土壤中重金属的健康风险初探[J].河南师范大学学报(自然科学版),2018,46(6):54-60.
- [14] 郭念,江韬,魏世强,等.典型工业退役场地土壤重金属污染及风险评价[J].西南师范大学学报:自然科学版,2014,39(5):118-125.
- [15] 陈灿灿,卢新卫,王利军,等.宝鸡市街道灰尘重金属污染的健康风险评价[J].城市环境与城市生态,2011,24(2):35-38.
- [16] 张菊.上海城市街道灰尘重金属污染研究[D].上海:华东师范大学,2005:1-101.
- [17] 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,1990:329-493.

- [18] 国家环境保护局科技标准司.GB 15618-1995 土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [19] 刘春华,岑况.北京市街道灰尘的化学成分及其可能来源[J].环境科学学报,2007,27(7):1181-1188.
- [20] 戴彬,吕建树,战金成,等.山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评价[J].环境科学,2015,36(2):507-515.
- [21] 李法云,胡成,张营,等.沈阳市街道灰尘中重金属的环境影响与健康风险评估[J].气象与环境学报,2010,26(6):59-64.
- [22] 李如忠,潘成荣,陈婧,等.铜陵市区表土与灰尘重金属污染健康风险评估[J].中国环境科学,2012,32(12):2261-2270.
- [23] 张菊,邓焕广,王东启,等.上海郊区小城镇街道灰尘理化性质及重金属时空分布特征[J].长江流域资源与环境,2011,20(6):705-710.
- [24] Li X D,Poon C S,Liu P S.Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J].Applied Geochemistry,2001,16(11/12):1361-1368.
- [25] Facchinelli A,Saechi E,Mallen L.Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils[J].Environmental Pollution,2001,114(3):313-324.
- [26] Muhammad U A,Liu G J,Balal Y,et al.Pollution characteristics and human health risks of potentially (eco) toxic elements (PTEs) in road dust from metropolitan area of Hefei,China[J].Chemosphere,2017,181:111-121.

Concentrations and health risk assessment of heavy metals in urban street dust of Laiwu City

Zhang Mengyue^{1,2}, Zhang Zhibo¹, Liu Tao¹, Zhang Quanxiang¹, Lu Wei¹, Zhang Ju¹

(1.School of Environment and Planning,Liaocheng University,Liaocheng 252000,China;

2.School of Ecology and Environment,Inner Mongolia University,Hohhot 010000,China)

Abstract: The dust samples were collected from the main streets in the urban area of Laiwu City. Heavy metals concentrations and the basic physicochemical properties including the pH and organic matter content of street dust were analyzed. The spatial distribution and the correlation between the heavy metals concentrations and the basic physicochemical properties of street dust were discussed. Health risk assessment of heavy metals in the street dust was carried out. The results showed that the mean concentrations of Hg, As, Cr, Pb, Zn and Cu were 0.170, 11.7, 60.6, 52.9, 96.3 and 30.3 mg · kg⁻¹ respectively. The street dust was mainly alkaline with the average pH value of 9.40. The organic matter content was 21.49—118.85 g · kg⁻¹ with an average of 54.06 g · kg⁻¹. The concentrations of heavy metals were all in accordance with the second class standard of soil environmental quality standard (GB15618—1995). The mean concentrations of heavy metals except Cr all exceeded the soil background values of Shandong province. Except for Pb, the spatial distribution of heavy metals in the urban area of Laiwu City showed a decreasing trend from the west area to the east area, reflecting the impact of human activity intensity. The significant correlations between Cr, Cu and Zn might suggest the two possible sources of heavy metals in urban street dust; one might be related to vehicle transportation, and the other might be industrial production. However, Hg and As had weak correlations with other heavy metals indicating they might mainly come from other pollution sources. The health risk assessment results showed that the ingestion was the main way contributing to the hazard quotients of heavy metals in urban street dust, followed by the dermal contact and inhalation way. The order of non-carcinogenic hazard risks of heavy metals was as follows: As,Cr,Pb,Cu,Hg,Zn. Non-carcinogenic hazard risks induced by the six heavy metals were higher to children than to adults; however, both of the non-carcinogenic hazard risk was less than the risk threshold i.e. one indicating the health hazard was low or neglectable. As and Cr have very low carcinogenic risk for people who live in the urban area of Laiwu City.

Keywords: heavy metal; street dust; spatial distribution; health risk assessment; Laiwu City

[责任编辑 赵晓华]