

天津公园灰尘与土壤重金属污染特征^{*}

吴绽蕾¹ 周俊² 胡蓓蓓^{1**} 王中良¹ 王祖伟¹ 孟伟庆¹

(¹天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387; ²天津市控制地面沉降工作办公室, 天津 300061)

摘要 对天津市区 41 个代表性公园及滨海新区 10 个大型公园灰尘和土壤重金属理化性质及含量进行了测定, 分析了灰尘和土壤中重金属的空间分布特征。结果表明: 天津市公园灰尘和土壤粒径分布呈双峰或多峰分布特征; 灰尘和土壤中有机质平均含量分别为 49.10 和 27.15 g · kg⁻¹。公园灰尘重金属 Cu、Pb、Cr、Cd 和 Ni 含量均值分别为 113.88、76.81、141.53、1.30 和 114.70 mg · kg⁻¹, 土壤中则分别对应 41.68、30.76、96.43、1.01 和 34.03 mg · kg⁻¹, 均高于天津市土壤背景值。天津和平区、南开区东北部与河西区所受重金属污染较小。相关分析与主成分分析表明, 有机质是灰尘与土壤中重金属 Cd 的重要载体, 包括交通流量、工业活动等在内的人为因素是公园灰尘、土壤重金属 Cr、Ni、Cu、Pb 的主要来源。

关键词 空间分布; 主成分分析; 人为输入

中图分类号 X502 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)4-1030-08

Characteristics of heavy metal pollution in dust and soil of Tianjin City, North China. WU Zhan-lei¹, ZHOU Jun², HU Bei-bei^{1**}, WANG Zhong-liang¹, WANG Zu-wei¹, MENG Wei-qing¹ (¹College of Urban and Environmental Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; ²Tianjin Land Subsidence Control Office, Tianjin 300061, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(4): 1030–1037.

Abstract: Dust and soil samples were taken from 41 parks in inner-city of Tianjin and 10 parks in Tianjin Binhai New Area to study the physicochemical properties and contents of heavy metals in the samples, with the special distribution patterns and possible sources of the heavy metals analyzed. In the parks, the particle sizes of dusts and soils presented bi- or multi-modal distribution, the organic matter content in the dusts and soils was averagely 49.10 and 27.15 g · kg⁻¹, and the Cu, Pb, Cr, Cd, and Ni contents in the dusts and soils were averagely 113.88, 76.81, 141.53, 1.30, and 114.70 mg · kg⁻¹, and 41.68, 30.76, 96.43, 1.01, and 34.03 mg · kg⁻¹, respectively, being much higher than the background values in Tianjin. The Heping District, northeastern part of Nankai District, and Hexi District were less polluted by the heavy metals. Pearson correlation analysis and principal component analysis indicated that organic matter was the main carrier of Cd, while traffic flux and industrial activities were the main pollution sources of Cr, Ni, Cu, and Pb.

Key words: spatial distribution; principal component analysis; anthropogenic input.

随着全球城市化进程的加快, 受工业、交通等人类活动的影响, 城市地表灰尘和土壤常含有较高浓度的有毒重金属。城市地表灰尘是城市生态环境中

具有环境指示作用的地表颗粒物, 是重金属等污染物质的源汇载体 (Adachi & Tainosho, 2005; 常静等, 2007); 城市土壤重金属来源广泛、种类复杂, 且重金属在土壤中的毒性极强, 极低的浓度便可显示较高的毒性 (郭笑笑等, 2011)。

国内外有关灰尘、土壤重金属的研究主要集中于街道、公路沿线 (Yang *et al.*, 2010; 梁涛等, 2011)。相关研究或侧重于分析重金属含量水平、

^{*} 国家自然科学基金项目 (40973078)、国家重点基础研究计划前期研究专项 (2010CB434806)、教育部新世纪人才计划项目 (NCET-10-0954)、天津市自然科学基金重点项目 (11JCZDJC24500, 10SYJJC27400) 和中国分布式科研总站开放基金项目 (2012002) 资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: huhubei0328@163.com

收稿日期: 2012-08-17 接受日期: 2013-01-14

迁移转化规律、赋存形态(王丽丽等,2009;Atafar *et al.*,2010;姜艳等,2011),亦或是通过多元统计和GIS空间分析对重金属的来源进行判析(张一修等,2012),但大多是将灰尘或土壤重金属污染现象进行单独研究(Alloway,2004;张一修等,2012)。近年来有关灰尘与土壤重金属研究日趋深入,首先加强了对于灰尘及土壤理化性质的研究(方凤满等,2011;Kong *et al.*,2012),关注点逐渐转向了污染评价与健康风险评估等方面(翟萌等,2010;Shi *et al.*,2011;何文鸣等,2012;刘金铃等,2012;唐荣莉等,2012;Oves *et al.*,2012);其次国内研究重点关注了公园、广场、地铁站等一些公共场所灰尘与土壤重金属污染情况(康丹,2010;李晓燕等,2010;徐孝智等,2011)。

公园是居民日常生活娱乐、休闲活动最重要的场所,人们极易与公园灰尘、表层土壤接触,进而受到灰尘与土壤中重金属的危害。刘申等(2010)对天津公园土壤重金属污染状况进行了调查,但采样点相对较少,覆盖范围不够广泛,其从行政区域对公园土壤重金属的综合污染指数与潜在生态危害进行了较为细致的分析与评价,但缺乏对重金属富集程度、来源的判析。重金属污染评价方法繁多,且目前国内外尚无统一的重金属环境污染评价标准和方法(王利军等,2012),因此单独采用某种评价方法会使研究结果产生偏差。综上所述,通过对公园灰尘土壤重金属含量进行空间分析,从不同角度、运用不同评价方法评价其污染程度,对于确定天津市公园重金属分布规律,保障居民身体健康具有重要意义。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

天津市位于我国东北部,东临渤海,市中心位于 $117^{\circ}10'E$, $39^{\circ}10'N$,属温带季风气候。天津市域面积 11917.3 km^2 ,人口1354.58万人,是中国北方最大的沿海开放城市。天津滨海新区位于天津东部沿海,面积 2270 km^2 ,海岸线153 km,常驻人口243万,拥有世界吞吐量第四的天津港,自然资源丰富,拥有雄厚的工业基础与四通八达的立体交通。

1.2 样品采集

于2012年11、12月微风或无风晴天,选取天津市41个代表性公园(图1)及滨海新区10个大型公园采集灰尘与土壤样品,土壤样品选取公园表层($0\sim5\text{ cm}$)土壤,用四分法组成一个混合样品。在

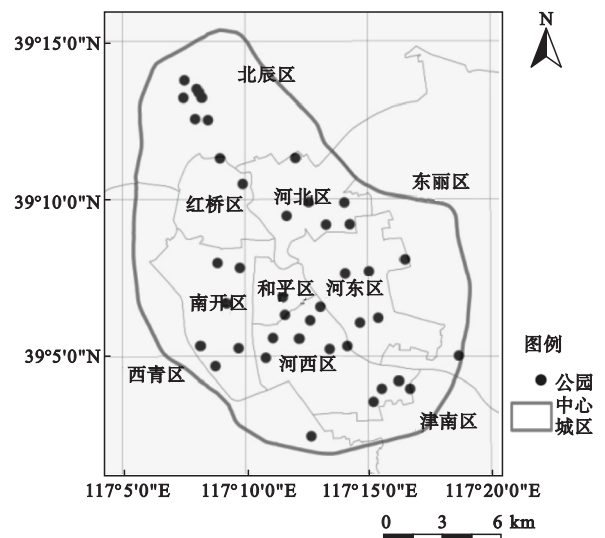


图1 天津中心城区公园灰尘、土壤采样点分布示意图

Fig.1 Sketch map of the sampling sites in the inner-city of Tianjin

游客较易聚集的公园门口水泥路面,用毛刷和塑料铲同步采集对应地表灰尘样品。收集过程中,每个采样点采用GPS定位,记录周围环境特征,后放在聚乙烯(PE)袋中保存,标记采样时间。

样品运往实验室后,在 35°C 恒温条件下烘干24 h,过35目($<500\text{ }\mu\text{m}$)尼龙网筛除去树叶、大颗粒物等杂质,过筛后的样品则可作为检测理化性质与重金属浓度的有效样品保存,后分为3份,原样用于检测粒度;过60目($<250\text{ }\mu\text{m}$)尼龙网筛样品用于滴定有机质含量;根据美国EPA标准,粒径 $<75\text{ }\mu\text{m}$ 的地表灰尘是通过再悬浮作用进入大气的重要物质来源,由于重金属沉积物主要富集于细颗粒中(尚英男等,2005),为使样品的测定值更具可比性,在结合我国重金属方面更为成熟的上海等地相关研究(张菊等,2011)基础上,选取粒度 $<63\text{ }\mu\text{m}$ 的样品进行测定,检测重金属浓度。样品过240目($<63\text{ }\mu\text{m}$)用于重金属消解,之后继续密封保存于聚乙烯袋中。

1.3 样品分析与测试

1.3.1 样品粒度的测定 称取 1.0 g 过35目($<500\text{ }\mu\text{m}$)尼龙网筛灰尘及土壤样品,加入 $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 六偏磷酸钠分散剂 10 mL 于小烧杯中充分摇匀,静置过夜。超声波仪中 100°C 下超声20 min,采用LS13 320型激光粒度仪测定灰尘、土壤样品粒度分布。

1.3.2 样品有机质的测定 有机质的测定采用重铬酸钾-油浴加热法:分别称取过60目($<250\text{ }\mu\text{m}$)土壤样品 0.15 g ,灰尘样品 0.1 g 放入硬质试管中,

依次加入重铬酸钾、优纯级浓 H_2SO_4 ，油浴加热后晾至常温，滴入指示剂，测定样品有机质含量。期间每批设立空白样（石英砂）3 个，标准土壤样品 2 个。

1.3.3 样品重金属的消解与测定 称取过 240 目 ($<63\ \mu\text{m}$) 灰尘及土壤样品 0.2 g 于聚四氟乙烯烧杯中，采用 $\text{HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$ 消解，采用 ICP-OES 测定重金属 Cu、Pb、Cr、Ni 的含量，采用 AAS 测定重金属 Cd 的含量。每批消解均做 3 个空白样品与 2 个标准样品，标准样品采用国家地质试验测试中心生产的长江底部沉积物标准物质 GBW 07309 (GSD29)，将由于试剂影响带来的误差减小到最低限度。每个样品测试 2 次，相对标准偏差均 $<10\%$ ，每 60 个样品做一次标准曲线，每 12 个样品做一次标线校正。

1.4 数据分析

本文采样点示意图采用 ArcGIS 10.0 绘制而成，表格数据采用 Excel 2010 完成，利用 Origin 8.0 软绘制灰尘与土壤颗粒物粒径分布图，并运用 SPSS 19.0 统计软件对相关数据进行处理和统计分析，包括对重金属元素与有机质间的相关性分析及重金属之间的来源解析。

2 结果与分析

2.1 天津公园灰尘与土壤理化性质

2.1.1 天津公园灰尘与土壤粒径特征 由表 1 可知，天津中心城区与滨海新区公园灰尘粒径均值明显高于土壤粒径，灰尘粒径范围更广。就空间而言，滨海新区公园灰尘、土壤粒径均值、范围较中心城区更大、更广。如图 2 所示，天津城区公园灰尘、土壤粒径分布极不规律，表现为非正态的双峰与多峰分布态势，灰尘呈现更明显的双峰趋势。

2.1.2 天津公园灰尘与土壤有机质含量 天津市公园灰尘有机质含量范围为 $16.09 \sim 96.36\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，远高于土壤有机质含量 ($19.05 \sim 43.98\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。滨海新区和中心城区公园灰尘有机质平

表 1 天津市公园灰尘、土壤样点粒径 (μm)
Table 1 Particle size in dust and soils of parks in Tianjin City

样品	区域	均值	范围
土壤	中心城区	112.2	60.6 ~ 242.7
	滨海新区	126.8	56.3 ~ 250.2
灰尘	中心城区	190.6	118.7 ~ 300.8
	滨海新区	220.7	100.6 ~ 280.7

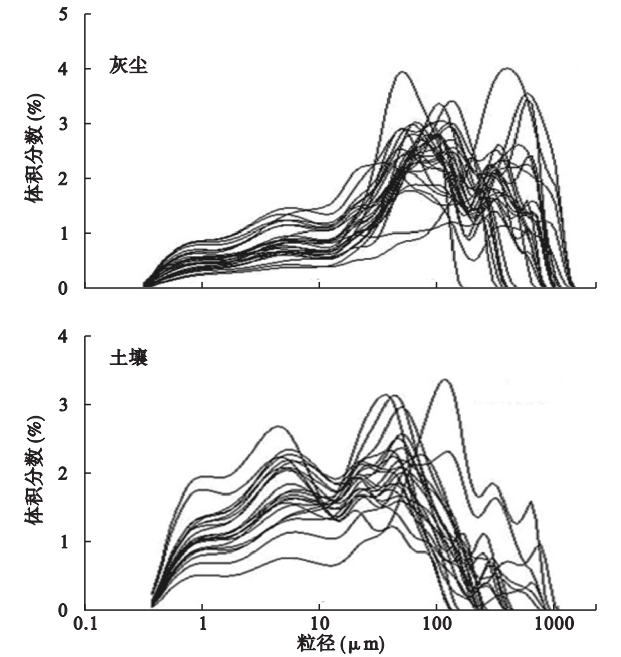


图 2 公园灰尘、土壤粒径分布
Fig. 2 Particle size distribution of dust and soils in parks

表 2 天津市公园灰尘、土壤有机质含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 2 Organic matter contents in dust and soils of parks in Tianjin City

样品	区域	平均	最大	最小	变异系数
土壤	滨海新区	30.64	40.26	19.05	7.16
	中心城区	23.67	43.98	22.40	10.36
灰尘	滨海新区	61.83	87.53	47.32	11.03
	中心城区	43.20	96.36	16.09	17.77

$n=51$ 。

均含量分别为 61.83 与 $43.20\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，也高于土壤中有机质含量。此外，灰尘有机质变异系数高于土壤，说明灰尘物质组成、来源更为广泛（张菊等，2011）。

表 3 天津市公园灰尘与土壤重金属与常量元素的含量水平 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 3 Heavy metal and constant element concentrations in dust and soils of parks in Tianjin City

地点	介质	Cu	Pb	Cr	Cd	Ni
中心城区公园	灰尘	120.03	111.52	161.84	1.16	41.06
	土壤	40.23	31.60	89.68	1.18	32.96
滨海公园	灰尘	122.06	61.84	136.64	0.82	76.08
	土壤	47.47	25.74	126.40	0.94	46.72
城区公园	灰尘(总)	120.43	101.78	156.90	1.02	47.93
	土壤(总)	41.65	30.45	96.88	1.13	35.66
中国土壤	背景值	22.60	26.00	57.30	0.10	26.90
天津土壤	背景值	28.80	21.00	84.20	0.09	33.30

中国土壤背景值选取中国环境监测总站(CEPA)1990年所测(中国环境监测总站,1990)。

2.2 天津公园灰尘与土壤重金属含量与空间分布特征

2.2.1 天津公园灰尘与土壤重金属含量 由表 3 可知,公园灰尘重金属含量范围变化更大,说明灰尘局部污染程度差异较大。天津公园灰尘重金属 Cu、

Pb、Cr 和 Ni 含量均值分别为天津土壤重金属元素背景值的 4.18、4.85、1.86 和 1.44 倍,超出背景值倍数较少,说明 4 种重金属外源部分占有一定比重;重金属 Cd 超出背景值约 12 倍,可见,Cd 受人类活动影响最大。公园土壤所测 5 类重金属除 Ni 外均

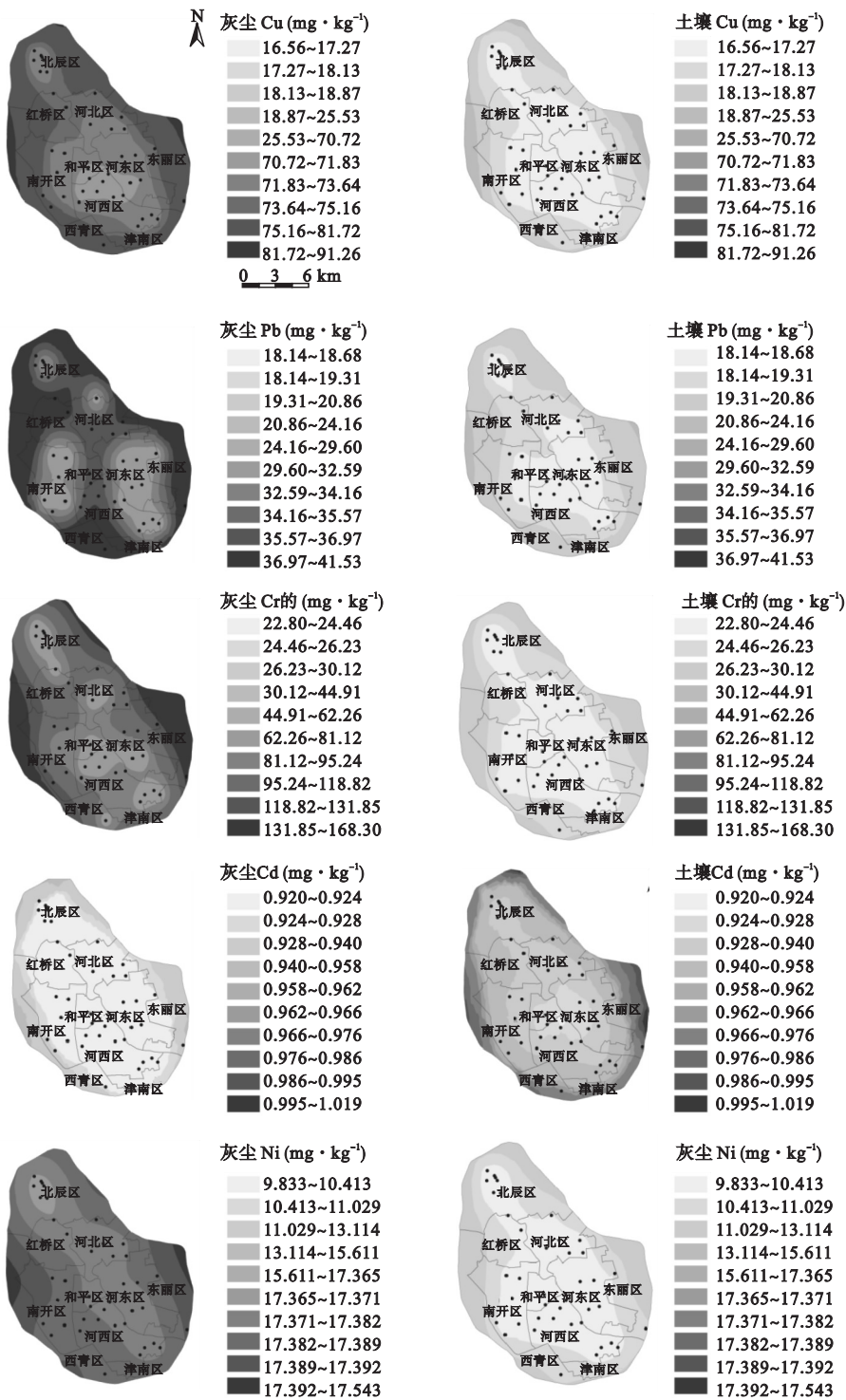


图 3 天津中心城区公园灰尘、土壤重金属空间分布示意图

Fig. 3 Spatial distribution maps of heavy metals in urban dusts and soils in the inner-city of Tianjin

高于天津土壤背景值。由此可见,天津公园已受重金属不同程度的污染。

2.2.2 天津公园灰尘与土壤重金属空间分布特征

地统计学方法可更清楚地显示公园灰尘、土壤重金属空间分布特征。经交叉验证法实现半函数模型的最优拟合,运用克里格空间插值法研究重金属空间分布特征(图 3)。由图 3 可见,同种重金属而言,天津中心城区公园土壤较灰尘所受污染较小(重金属 Cd 除外)。就重金属空间分布特征而言,和平区、南开区东部、河东区、河西区北部公园灰尘与土壤所受重金属污染较小。

2.3 天津公园灰尘与土壤重金属来源

2.3.1 相关系数分析法 相关性分析可用来衡量灰尘、土壤中的重金属与有机质两个变量间线性相关程度的强弱,其是研究变量间密切程度的一种常用统计方法(孙逸敏,2007)。公园灰尘与土壤中重金属和有机质的相关性如表 4 所示。天津市公园灰尘与土壤中仅重金属 Cd 与有机质有较好的相关性。

对于公园土壤,其重金属来源判析结果与公园灰尘类似。2 个主要因子描述了变量总方差贡献的 77.1%。与公园灰尘不同的是,土壤中重金属 Cd 在第 1 成分上存在正负荷。

2.3.2 主成分分析法 为了进一步探讨研究区公园灰尘与土壤重金属的主要来源,利用 SPSS 19.0 软件对样品重金属含量做了主成分分析,结果如图 4,5 所示。为突显影响样品中重金属来源的主要因子,分析前对数据进行了标准化转换,分析过程中采用了正交旋转突出影响因子,并提取出 2 个主要因子。Cu、Pb 在成分 2 上载荷较低,灰尘中重金属 Cd 与其他金属均不存在相关性,证明了重金属 Cd、来源的复杂性、多样性与不确定性。重金属 Cd 与有机质存在显著相关性,且在成分 2 上二者占有较高正负荷。

表 4 天津市公园灰尘、土壤重金属与有机质含量的 Pearson 相关系数
Table 4 Pearson correlative coefficients of heavy metal contents in dust and soils of parks in Tianjin City

介质	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
灰尘	0.794 *	0.386	0.074	0.135	0.263
土壤	0.801 *	0.319	-0.038	-0.084	-0.262

* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

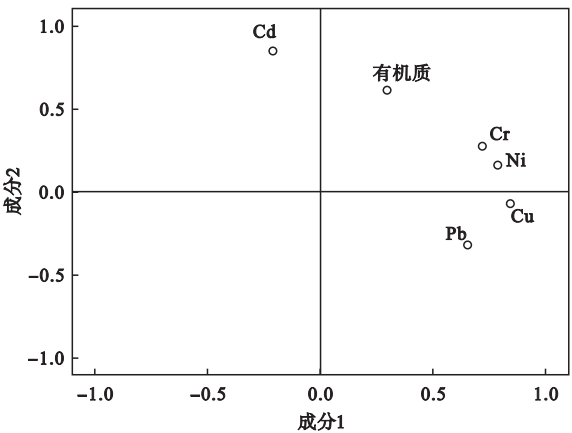


图 4 天津市公园灰尘的平均主成分
Fig. 4 Illustration of total metal concentrations in dust of parks in the coordinate system of two principal components in Tianjin City

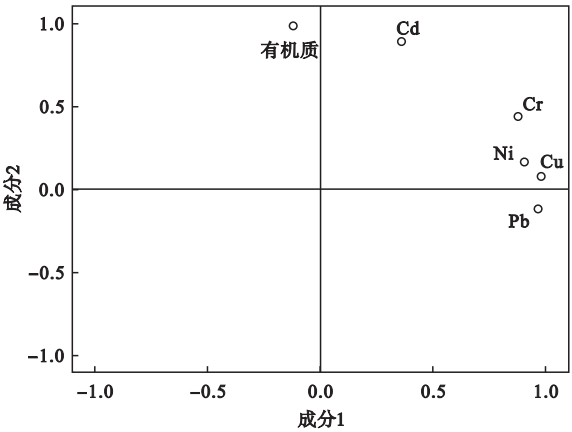


图 5 天津市公园土壤的平均主成分
Fig. 5 Illustration of total metal concentrations in soils of parks in the coordinate system of two principal components

3 讨论

3.1 天津市公园灰尘与土壤理化性质相关性

灰尘、土壤中颗粒物粒径大小对于样品重金属含量、分布、迁移转化均会产生重要影响(康丹等, 2010)。天津市公园颗粒物双峰态的粒度分布与现代尘暴降尘的粒度分布模式相似(王赞红和夏正楷, 2004),说明其是大气环流对于不同距离粗细颗粒物混合搬运的结果,印证了城市灰尘是风积作用的继续(孙东怀等, 2000)。灰尘颗粒物粒径较土壤粒径粗,说明地表灰尘结构组分复杂,更易受车辆碾压、人工清扫等人类生产活动的影响,与张志明(2008)等研究结果一致。中心城区较细的灰尘、土壤粒径可能是由于中心城区居民区较多,地形相对

表 5 国内外城市(国家)灰尘、土壤重金属含量水平比较($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 5 Comparisons on the heavy metal contents in other cities (countries) in dust and soil

国家/城市	介质	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	文献主要作者
Banja Luka,	灰尘	1. 46	2. 06	2. 90	1. 63	10. 24	Skrbic <i>et al.</i> , 2012
Bosnia, Herzegovina	土壤	2. 75	1. 27	2. 25	2. 08	2. 74	Madrid <i>et al.</i> , 2002
Seville	土壤	—	39	68	22	137	刘绍贵等, 2010
南昌	土壤	0. 21	57. 57	43. 13	25. 05	45. 68	史贵涛等, 2006
上海	土壤	—	—	—	—	55. 06	郑袁明等, 2002
北京	土壤	—	—	—	—	66. 2	刘申等, 2010
天津	土壤	2. 78	0. 61	1. 27	0. 91	1. 51	
贵阳	土壤	0. 31	185. 97	61. 59	47. 72	20. 01	
	灰尘	0. 62	37. 25	129. 80	61. 07	67. 80	张一修等, 2012
上海	灰尘	—	144. 01	190. 01	86. 26	273. 45	李瑞平等, 2012
昆明	灰尘	—	79. 41	168. 8	21. 47	97. 49	梁涛等, 2011
保定	灰尘	2. 84	77. 36	63. 73	23. 60	50. 79	郑小康等, 2009
北京	灰尘	0. 47	77. 36	63. 73	23. 60	50. 79	唐荣莉等, 2012

封闭,由于风力携带、大气环流等作用使细颗粒更易集聚于此(刘德鸿等,2012)。此外,研究发现,同一地点灰尘与土壤颗粒物粒径并未呈现显著相关性。

由于样品已经处理,灰尘中混入植物残体和生活垃圾的可能性较小,因此灰尘中有机质高含量的原因最有可能是由于灰尘颗粒对于有机质的吸附。灰尘有机质含量标准偏差较土壤大,说明灰尘来源、物质含量组成的多源性特点,其更易受人为因素影响(张菊等,2011)。

3.2 天津市公园灰尘与土壤重金属含量水平

天津市灰尘大部分重金属积累高于土壤,这与国内外绝大多数研究结果一致(张一修等,2012;Skrbic *et al.* ,2012)(表 5)。与其他重金属不同,天津公园土壤重金属 Cd 的含量高于灰尘,究其原因可能与公园建园前的垃圾填埋、施用城市污泥作为公园绿地土壤的肥料有关(卢瑛等,2009)。与有关道路(街道)灰尘、土壤等相关重金属研究结果相比,公园灰尘与土壤重金属污染程度明显较低,说明绿色植物通过滞留、吸附、过滤等方式有效阻止了重金属颗粒物的进一步扩散,绿色植物对重金属在灰尘与土壤等环境介质中的污染有很好的防治作用(郭广慧等,2008),即植被覆盖率高,重金属含量相对较低(龙永珍等,2010)。

重金属 Cd、Pb 成为天津市公园灰尘与土壤的主要污染因子,与刘申等(2010)对于天津公园土壤研究结果一致,但重金属含量又有了大幅增长,这与近年来天津城市及滨海新区的交通、工业快速发展有关。对比国内外(塞维利亚、北京、保定)相关研究可以发现,灰尘与土壤重金属 Cd 含量均较大程

度地超出当地土壤背景值,成为城市环境主要污染因子(Madrid *et al.* ,2002;郑小康等,2009;唐荣莉等,2012)。重金属 Cd 组分多样性、来源复杂性可能是造成其在多个城市灰尘、土壤中重金属含量超标较为严重的原因。

重金属 Pb 因其来源广泛、毒性高、迁移性、危害性强等特点引起人类高度重视。对天津中心城区公园灰尘重金属 Pb 含量的分析研究发现,地处外环线,接近工业园区的公园灰尘中 Pb 含量明显高于其他地区;中环线之内,重金属 Pb 含量较大值则出现在交通密度、人流量较大的公园灰尘之中。天津公园土壤重金属 Pb 含量低于北京公园土壤(66. 2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,郑袁明等,2002)及上海公园土壤(55. 06 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,史贵涛等,2006)含量,低于塞维利亚公园土壤重金属 Pb 含量(Madrid *et al.* ,2002)。伴随我国城市工业的发展,交通密度的增大,近年来重金属 Pb 也成为西安、杭州、南京、开封等城市的污染因子之一(王美青和章明奎,2002;黄丽等,2010;王晓云等,2011),其中,南京城市土壤重金属 Pb 含量均值高达 107. 31 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (卢瑛等,2002)。因此,重金属 Pb 在不同环境介质间的污染应当受到重视。此外,有学者将 Pb、Cu 定义为“城市元素”,这些元素的富集程度也是城市人为活动的直接反映(Accornero *et al.* ,2008)。

重金属空间特征分布显示,天津中心城区部分区域污染较小,究其原因,名胜风景区、政府办公区、教育居住区,工业污染与柴油车尾气排放极少,使其所受重金属污染较少。其他区域公园受重金属污染较为明显,可能主要是受天津老工业区的工业生产

活动布局(工业降尘)影响,重金属元素首先进入大气,受降尘影响,继而公园土壤受到污染(刘申等,2010)。

3.3 天津公园灰尘与土壤重金属来源

相关性分析显示,公园灰尘与土壤中仅重金属Cd与有机质有较好的相关性,说明有机质是灰尘和土壤中重金属Cd的主要载体。在有关公园灰尘与土壤重金属元素相关性研究中发现,公园灰尘与土壤中重金属Cu、Pb相关性良好(相关系数分别为0.617与0.738),重金属Cr、Cd、Ni相关系数低。表明,公园灰尘与土壤中的Cu、Pb元素为同一来源(李崇等,2008),可能为交通排放、工业活动原因亦或是二者共同导致,推测土壤中的重金属可能是经大气搬运、沉降到表层土壤(郁建桥等,2008);灰尘与土壤中的Cr、Cd、Ni元素可能还受到其他污染源的影响(钱鹏等,2010)。

由于重金属Pb的来源常与交通和工业密切相关,重金属Cu则主要来源于车体等的磨损(Violante *et al.*, 2009),因此在主成分分析中成分1可被称为“交通及工业”因子(张一修等,2012),代表包括交通因素(尾气排放、汽车轮胎与道路的膜破损等)、工业活动(冶炼厂、汽修厂等废气排放)等在内的人为活动的影响。灰尘中重金属Cd其他重金属均不存在相关性,证明了重金属Cd来源的复杂性、多样性与不确定性。重金属Cd与有机质的相关性,则说明有机质是灰尘中重金属Cd的重要载体,但重金属Cd的主要来源尚不确定。对于公园土壤,判定结果类似,有机质同样是土壤中重金属Cd的主要载体,土壤中重金属Cd的来源仍呈现多样性。

4 结 论

天津公园灰尘、土壤颗粒物粒径分布极不规律,表现为非正态的双峰、多峰分布,土壤颗粒细组分更多。

天津中心城区公园及滨海新区公园灰尘、土壤中重金属元素均值均超过了天津土壤环境背景值。同土壤相比,灰尘中各重金属元素积累更为严重。灰尘中重金属局部污染程度差异大。从总体上看,天津中心城区及滨海新区公园灰尘、土壤已受到重金属不同程度的污染,其中和平区、南开区东北部、河西区公园灰尘、土壤受重金属污染程度较小。

公园灰尘重金属Pb、Cu、Cr、Ni主要来源于包括交通运输、工业排放为主的人为活动,公园土壤重

金属Pb、Cu、Cr、Ni也主要来源于此。重金属Cd来源多样,因此尚不能确定其主要来源。有机质是天津公园灰尘与土壤中重金属Cd的重要载体。

参考文献

- 常 静, 刘 敏, 侯立军, 等. 2007. 城市地表灰尘的概念、污染特征和环境效应. 应用生态学报, **18**(5): 1153–1158.
- 方风满, 蒋炳炎, 王海东, 等. 2010. 芜湖市地表灰尘中重金属粒径效应及其健康风险评价. 地理研究, **29**(7): 1193–1202.
- 郭广慧, 雷 梅, 陈同斌, 等. 2008. 交通活动对公路两侧灰尘和土壤中重金属含量的影响. 环境科学学报, **28**(10): 1937–1945.
- 郭笑笑, 刘丛强, 朱兆洲, 等. 2011. 土壤重金属污染评价方法. 生态学杂志, **30**(5): 889–896.
- 何文鸣, 吴 峰, 张昌盛, 等. 2011. 河岸带土壤重金属元素的污染及危害评价. 生态学杂志, **30**(9): 1993–2001.
- 黄 丽, 卢新卫, 翟 萌, 等. 2010. 西安城市公园灰尘重金属污染及其风险评价. 城市环境与城市生态, **23**(1): 17–20.
- 姜 艳, 詹兴旺, 孙丽达, 等. 2011. 冶炼厂周围土壤中Cu、Pb、Zn、Cd的形态分布研究. 广东化工, **38**(9): 110–113.
- 康 丹. 2010. 西安城市公园不同粒径土壤中重金属污染研究(硕士学位论文). 西安: 陕西师范大学.
- 李 崇, 李法云, 张 营, 等. 2008. 沈阳市街道灰尘中重金属的空间分布特征. 生态环境, **17**(2): 560–564.
- 李瑞平, 姜咏栋, 李广德, 等. 2012. 基于GIS的农田土壤重金属空间分布研究——以山东省泰安市为例. 山东农业大学学报(自然科学版), **43**(2): 232–238.
- 李晓燕, 陈同斌, 雷 梅, 等. 2010. 北京城市广场及校园表土(灰尘)中重金属水平与健康风险. 地理研究, **29**(6): 989–996.
- 梁 涛, 史正涛, 吴 枫, 等. 2011. 昆明市街道灰尘重金属污染及潜在生态风险评价. 热带地理, **31**(2): 164–170.
- 刘 申, 刘凤枝, 李晓华, 等. 2010. 天津公园土壤重金属污染评价及其空间分析. 生态环境学报, **19**(5): 1097–1102.
- 刘德鸿, 王发园, 寇太纪. 2012. 洛阳市不同功能区地表灰尘重金属的粒径分布特征. 生态环境学报, **21**(4): 700–705.
- 刘金铃, 马新斌, 朱 伟, 等. 2011. 东江沉积物重金属分布特征及污染评价. 生态学杂志, **30**(5): 981–986.
- 刘绍贵, 张桃林, 王兴祥, 等. 2010. 南昌市城郊表层土壤重金属污染特征研究. 土壤通报, **41**(2): 463–466.
- 龙永珍, 邹海洋, 戴塔根. 2010. 长株潭市区近地表灰尘中重金属分布污染研究. 中南大学学报(自然科学版), **41**(4): 1633–1638.
- 卢 瑛, 甘海华, 张 波, 等. 2009. 深圳市城市绿地土壤

- 中重金属的含量及化学形态分布. 环境化学, **28**(2): 284–288.
- 卢 瑛, 龚子同, 张甘霖. 2002. 南京城市土壤 Pb 的含量及其化学形态. 环境科学学报, **22**(2): 156–160.
- 钱 鹏, 郑祥民, 周立旻, 等. 2010. 312 国道沿线灰尘、土壤重金属污染现状及影响及影响因素. 环境化学, **29**(6): 1139–1146.
- 尚英男, 倪师军, 张成江, 等. 2005. 成都市河流表层沉积物重金属污染即潜在生态风险评价. 生态环境, **14**(6): 827–829.
- 史贵涛, 陈振楼, 许世远, 等. 2006. 上海市区公园表层土壤铅含量及其污染评价. 土壤, **38**(3): 287–291.
- 孙东怀, 鹿化煜, Rea D, 等. 2000. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义. 沉积学报, **18**(3): 327–335.
- 孙逸敏. 2007. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性. 新疆教育学院学报, **23**(2): 120–123.
- 唐荣莉, 马克明, 张玉新, 等. 2012. 北京城市道路灰尘重金属污染的健康风险评价. 环境科学学报, **32**(8): 2006–2015.
- 王丽丽, 刘 敏, 欧冬妮, 等. 2009. 上海城市地表灰尘重金属粒级效应与赋存形态研究. 华东师范大学学报(自然科学版), (6): 64–69, 127.
- 王利军, 卢新卫, 雷 凯. 2012. 宝鸡市街尘重金属元素含量及其环境风险分析. 土壤通报, **43**(1): 200–205.
- 王美青, 章明奎. 2002. 杭州市城郊土壤重金属含量与形态的研究. 环境科学学报, **22**(5): 603–608.
- 王晓云, 马建华, 侯 千, 等. 2011. 开封市幼儿园地表灰尘重金属积累及健康风险. 环境科学学报, **31**(3): 583–593.
- 王赞红, 夏正楷. 2004. 北京 2002 年 3 月 20–21 日尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征. 第四季研究, **24**(1): 95–99.
- 徐孝智, 陈 扬, 徐殿斗, 等. 2011. 北京地铁站灰尘中重金属污染特征及健康风险评价. 中国环境科学, **31**(6): 944–950.
- 郁建桥, 王 霞, 温 丽, 等. 2008. 高速公路两侧土壤、气态颗粒物和重金属污染相关性研究. 中国农业科技导报, **10**(4): 109–113.
- 翟 萌, 卢新卫, 黄 丽, 等. 2010. 渭河(杨凌-兴平段)表层沉积物中重金属的粒径分布特征及污染评价. 陕西师范大学学报(自然科学版), **38**(4): 94–98, 103.
- 张 菊, 邓焕广, 王东启, 等. 2011. 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. 长江流域资源与环境, **10**(6): 705–710.
- 张一修, 王 济, 秦樊鑫, 等. 2012. 贵阳市道路灰尘和土壤重金属来源识别比较. 环境科学学报, **32**(1): 204–212.
- 张志明, 方凤满, 余 键, 等. 2008. 城市地表灰尘颗粒体积分形特征及其吸附性. 生态环境, **17**(5): 1887–1890.
- 郑小康, 李春晖, 黄国和, 等. 2009. 保定城区地表灰尘污染物分布特征及健康风险评价. 环境科学学报, **29**(10): 2195–2202.
- 郑袁明, 余 轲, 吴泓涛, 等. 2002. 北京城市公园土壤铅含量及其污染评价. 地理研究, **21**(4): 418–424.
- 中国环境监测总站. 1990. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社.
- Accornero A, Gnerre R, Manfra L. 2008. Sediment concentrations of trace metals in the Berre Lagoon (France): An assessment of contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **54**: 372–385.
- Adachi K, Tainosho Y. 2005. Single particle characterization of size-fractionated road sediments. *Applied Geochemistry*, **20**: 849–859.
- Alloway BJ. 2004. Contamination of soils in domestic gardens and allotments: A brief overview. *Land Contamination & Reclamation*, **12**: 179–187.
- Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, et al. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental Monitoring and Assessment*, **160**: 83–89.
- Kong XF, Lu B, Ji YQ, et al. 2012. Risk assessment of heavy metals in road and soil dusts with PM_{2.5}, PM₁₀ and PM₁₀₀ fractions in Dongying city, Shandong province, China. *Journal of Environmental Monitoring*, **14**: 791–804.
- Madrid L, Diaz-Barrientos E, Madrid F. 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere*, **49**: 1301–1308.
- Oves M, Khan MS, Zaidi A, et al. 2012. Soil contamination, nutritive value, and human health risk assessment of heavy metals: an overview. *Toxicity of Heavy Metals to Legumes and Bioremediation*, **5**: 1–27.
- Shi GT, Chen ZL, Bi CJ, et al. 2011. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmospheric Environment*, **45**: 764–771.
- Skrbic B, Milovac S, Matavulj M. 2012. Multi element profiles of soil, road dust, tree bark and wood rotten fungi collected at various distances from high-frequency road in urban area. *Ecological Indicators*, **13**: 168–177.
- Violante A, Pigna M, Del Gaudio S, et al. 2009. Coprecipitation of arsenate with metal oxides. 3. Nature, mineralogy, and reactivity of iron(III)-aluminum precipitates. *Environmental Science & Technology*, **43**: 567–571.
- Yang T, Liu QS, Li HX, et al. 2010. Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications. *Atmospheric Environment*, **44**: 1175–1185.

作者简介 吴旋蕾,女,1989 年生,主要研究方向为重金属污染评价与防治. E-mail: wzlelsa@126.com
责任编辑 魏中青
