

西安市公园土壤及灰尘中重金属污染与生态风险评价

贾锐鱼, 朱万勇, 李楠, 仝婕

(西安科技大学 地质与环境学院, 西安 710054)

摘要:通过对西安市城区 6 个公园表层土壤和地表灰尘的取样调查,采用单项指数法、综合指数法、潜在生态风险指数法对其进行重金属污染评价,利用多元统计方法探讨了土壤和灰尘重金属间密切程度。结果显示:西安市公园土壤和灰尘中 5 种重金属元素 Cu、Cd、Zn、Pb、Cr 均值含量均高于陕西省土壤背景值。表层土壤和地表灰尘主要受到 Pb、Cu、Cd 的污染;土壤重金属污染多属中度—重度污染,灰尘重金属污染均属重度污染;公园土壤重金属元素潜在生态危害均属轻微生态风险,大明宫遗址公园、革命公园、曲江池遗址公园和莲湖公园灰尘重金属元素潜在生态危害属“强—很强”生态危害,其中大明宫遗址公园地表灰尘中重金属元素 Cd 潜在生态危害系数达到 978.33,属极强潜在生态危害;土壤和灰尘间对应重金属元素 Cu 和 Cr 存在极显著相关性,Pb 存在显著相关性。

关键词:重金属;污染;风险评价;西安市公园

中图分类号:X513;X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0316-05

Heavy Metal Contents and Ecological Risk Assessment of Soils and Dust in Urban Parks of Xi'an City

JIA Ruiyu, ZHU Wanyong, LI Nan, TONG Jie

(Institute of Geological and Environmental, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The surface soils and dust of six parks in urban areas of Xi'an City were sampled and analyzed. Single contamination index method, comprehensive contamination index method and potential ecological risk index method were used to evaluate heavy metal contamination. Multivariate statistical analysis was used to explore the relationship between heavy metals of the soil and the dust. Results showed that concentrations of all five heavy metals surveyed including Cu, Cd, Zn, Pb and Cr were higher than the soil element background values of Shaanxi Province. Surface soil and dust were mainly polluted by Pb, Cu and Cd. Heavy metal contamination levels of soil and dust were mostly middle/heavy pollution and heavy pollution respectively, the potential ecological risk of heavy metal pollution of soils in the parks was slight, the potential ecological risks of heavy metal pollution of dust in Daming Palace Ruins Park, Revolution Park, Qujiang Pool Park and Lianhu Park were at high-very high level, especially the risk of Cd pollution of surface dust in Daming Palace Ruins Park was much higher, up to 978.33. Very obvious and obvious relationship was observed between the corresponding heavy metals such as Cu, Cr and Pb in surface soils and dust.

Keywords: heavy metals; pollution; risk assessment; park of Xi'an City

重金属作为一种持久性有毒污染物,进入环境不能被生物降解^[1],而且可以通过吞食、吸入和皮肤吸收等途径进入人体,从而影响人体健康^[2]。土壤和灰尘被认为是重金属等污染物质的重要载体^[3],重金属元素通过土壤、大气等介质向生物圈转移是其地球化学循环的重要过程^[2]。随着我国城市化的迅速发展,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^[4]。城市公园作为城市居民重要的休闲游憩场所,与人们日常生活密切相关。其土壤和灰尘质量状况对游客的身体健康具有重要影响,尤其对儿童这一特殊群体^[5]。相关研究表明,我国许多地方的城市公园土壤和灰尘均受到各种重金属元素不同程度的污染^[6]。因此,城市公园土壤和灰尘重金属污染问题越来越受到人们的重视。

目前,对于城市公园土壤和灰尘重金属污染的生态风险评价研究主要集中在一些大城市,大多数研究是关于城市公园土壤重金属或者灰尘重金属含量及其污染评价的,形式单一,而对于城市公园土壤和灰尘重金属的综合研究较少,很多研究指出大气沉降是土壤重金属污染的主要来源,而灰尘的再扬起作用则是大气颗粒物的重要贡献者,说明城市地表灰尘与大气颗粒物、表层土壤存在明显的相互影响机制^[7],这对重金属迁移规律的研究具有十分重要的意义。本文以西安市为例,选定城区 6 个具有代表性的公园为研究对象,分析公园内土壤和灰尘重金属污染状况,并采用单项指数法、综合指数法、潜在生态风险指数法进行评价,利用多元统计方法探讨土壤重金属和灰尘重金属间密切程度,为西安市公园环境质量和居民健康保障提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验样品采集与测定

研究对象选定为西安市市属公园中的 6 个典型公园:兴庆公园、革命公园、莲湖公园、曲江池遗址公园、唐大慈恩寺遗址公园和大明宫遗址公园(表 1)。由于以上公园近年来游客比较密集,公园土壤类型相对均一,公园在西安市城区分布较均匀,因此选其作为研究对象。每个公园设置 5 个采样区域,根据每个采样区域的大小按照梅花形布点法^[8]选取 3~5 个采样点,用取土钻采集表层 0—20 cm 的土壤样品,连续用四分法将每个区域内采集的土样组成 1 个混合样品取 500 g。同时在各采样区域内的公园门口、凉亭、娱乐设施、水泥路面等游客较易聚集的场所,用塑料铲和毛刷采集 1 个地表灰尘样品 500 g,得到土壤和灰尘样品各 30 个。样品采集后装入聚乙烯塑料袋中贴上标签密封保存。

表 1 采样公园地理信息

公园名称	经度	纬度	海拔/m
曲江公园	34°12′18.71″E	108°58′43.39″N	452
莲湖公园	34°16′11.87″E	108°56′05.66″N	403
革命公园	34°16′22.27″E	108°57′16.10″N	405
兴庆公园	34°15′15.19″E	108°58′47.75″N	412
慈恩寺	34°13′09.42″E	108°57′47.50″N	426
大明宫	34°17′21.48″E	108°57′33.94″N	407

将样品带回实验室后,剔除土壤和灰尘样品中枯枝落叶、根茎、动物残体、石砾等杂物后,置于室内阴凉通风处风干,将风干后的样品研磨后过 100 目尼龙筛并收集,混匀后备用。

实验室采用 HCl—HNO₃—HClO₄—HF 消解

法^[9]对预处理的样品进行消解,采用石墨炉原子吸收法(GFAAS 法)测定样品中 Cd 元素含量,采用火焰原子吸收方法(FAAS 法)测定样品中 Cu,Cr,Zn,Pb 元素的含量。

1.2 评价方法

1.2.1 单项污染指数法 单项污染指数法是指以某介质中某污染物含量值与该污染物的限定值之比作为评价对象的污染指数 P_i ^[10],以此来确定主要的重金属污染及其危害程度的方法。其评价模型为:

$$P_i=C_i/S_i$$
 (1)

式中: P_i ——土壤中污染物的污染指数; C_i ——土壤中重金属的实测浓度(mg/kg); S_i ——土壤中重金属的评价标准值(mg/kg),采用陕西省土壤背景值作为土壤重金属的评价标准。分级方法为: $P_i\leq 1$ 属清洁; $1<P_i\leq 2$ 属轻度污染; $2<P_i\leq 3$ 属中度污染; $P_i>3$ 属重度污染。

1.2.2 综合污染指数法 内梅罗综合污染指数法^[10]能全面地反映土壤的污染状况,而且兼顾了单因子污染指数的平均值和最高值,可以突出污染较重的重金属污染物的作用。其评价公式为:

$$P=\sqrt{\frac{P_{i\max}^2+P_{i\text{avg}}^2}{2}}$$
 (2)

式中: P ——监测点的综合污染指数; $P_{i\max}$ ——最大单项污染指数; $P_{i\text{avg}}$ ——平均单项污染指数。根据 P 值变幅,确定的土壤质量分级标准为 $P\leq 0.7$ 属清洁(安全); $0.7<P\leq 1.0$ 属尚清洁(警戒限); $1.0<P\leq 2.0$ 属轻度污染; $2.0<P\leq 3.0$ 属中度污染; $P>3.0$ 属重污染。

1.2.3 潜在生态危害指数法 潜在生态风险指数是瑞典学者 Hakanson^[11]于 1980 年建立的,该方法不仅考虑了土壤重金属含量,而且将重金属的生态效应、环境效应与毒理学联系在一起,准确的揭示某一特定环境中各种污染物的影响和多种污染物的综合影响^[12]。计算公式为:

$$RI=\sum_{i=1}^n E_r^i=\sum_{i=1}^n T_r^i P_r^i$$
 (3)

式中:RI——潜在生态风险指数; E_r^i ——单一重金属的潜在生态风险系数; T_r^i ——单一重金属的毒性相应系数,各金属的毒性系数分别为 $Cd=30>Cu=Pb=5>Cr=2>Zn=1$ ^[13-14]; P_r^i ——各种所测重金属的单因子指数评价值。其分级标准见表 2。

1.3 统计分析方法

土壤和灰尘重金属元素含量数据采用 SPSS 19.0 软件进行相关性分析,它是研究变量间密切程度的一种常用统计方法^[15]。

表 2 潜在生态风险系数和潜在生态风险指数的分级标准^[11]

潜在生态风险 系数(E_i^r)	潜在生态风险 指数(RI)	污染程度
$E_i^r < 40$	$RI < 150$	轻微生态风险
$40 \leq E_i^r < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等生态风险
$80 \leq E_i^r < 160$	$300 \leq RI < 600$	强生态风险
$160 \leq E_i^r < 320$	$RI \geq 600$	很强生态风险
$E_i^r \geq 320$		极强生态风险

2 结果与分析

2.1 重金属元素含量分析

公园土壤和灰尘重金属元素含量统计如表 3—4 所示。可以看出西安市公园表层土壤中 5 种重金属元素 Cu, Cd, Zn, Pb, Cr 均值含量分别为 55.72, 0.20, 135.23, 65.85, 92.64 mg/kg, 地表灰尘对应元素均值含量为 212.36, 1.19, 264.64, 207.56, 125.43

mg/kg,均高于陕西省土壤背景值。在土壤中 Pb 的累积较为明显,其均值含量达到了土壤背景值的 3.15 倍,Cu,Cd,Zn,Cr 的均值含量分别为背景值的 2.77, 2.21,2.05,1.52 倍。地表灰尘中 Cu,Cd,Pb 积累明显,均值含量达到了土壤背景值的 10.57,13.24, 9.93倍,Zn 和 Cr 的积累量较小,但均值含量也达到了背景值的 4.00,2.05 倍。所有土壤样品中 Cu,Zn, Pb,Cr 元素含量均高于土壤背景值,Cd 元素含量高于土壤背景值的比例占到 83.33%;所有灰尘样品各重金属元素含量均高于土壤背景值。重金属元素变异系数较大,且灰尘重金属元素的变异系数均大于土壤相应元素的变异系数。从土壤和灰尘中重金属元素累积含量对比来看,灰尘中重金属元素含量远远高于土壤,灰尘中重金属元素 Cu,Cd,Zn,Pb,Cr 均值含量分别为对应土壤重金属元素含量的 3.81,5.98, 1.96,3.15,1.35 倍。

表 3 西安市不同公园土壤重金属元素含量统计

项目	土壤重金属含量/(mg·kg ⁻¹)				
	Cu	Cd	Zn	Pb	Cr
曲江公园	42.04±3.02	0.13±0.004	126.14±3.53	50.40±1.36	86.68±4.35
莲湖公园	81.80±4.74	0.22±0.003	194.28±4.04	101.76±2.81	106.20±6.95
革命公园	60.68±2.15	0.30±0.004	139.38±2.94	70.92±1.23	91.68±2.28
兴庆公园	49.00±2.39	0.27±0.004	161.18±3.93	78.58±1.56	97.14±2.56
慈恩寺	30.80±2.08	0.08±0.004	79.44±1.85	31.12±1.67	82.68±2.97
大明宫	70.02±2.18	0.19±0.003	110.98±2.98	62.34±1.54	91.46±2.82
均值	55.72±17.63	0.20±0.079	135.23±37.17	65.85±22.55	92.64±8.49
最大值	89.60	0.31	199.80	105.40	116.50
最小值	28.40	0.07	76.90	28.70	79.60
变异系数/%	31.64	39.63	27.49	34.24	9.16
土壤背景值/(mg·kg ⁻¹) ^[16]	20.10	0.09	66.10	20.90	61.10

注:重金属含量为平均值±标准偏差,下表同。

表 4 西安市不同公园灰尘重金属元素含量统计

项目	灰尘重金属含量/(mg·kg ⁻¹)				
	Cu	Cd	Zn	Pb	Cr
曲江公园	311.94±1.88	1.15±0.047	432.70±1.49	285.46±0.75	131.36±1.09
莲湖公园	387.26±2.47	0.85±0.028	346.36±0.97	336.54±3.34	161.08±1.00
革命公园	170.96±1.97	2.00±0.013	185.96±1.06	229.86±0.88	145.82±0.81
兴庆公园	64.10±1.29	0.12±0.004	156.62±1.88	79.50±1.65	106.76±0.84
慈恩寺	104.50±1.57	0.10±0.006	197.10±1.06	132.88±0.86	93.44±0.86
大明宫	235.38±2.74	2.94±0.036	269.12±1.14	181.12±0.91	114.14±1.21
均值	212.36±114.76	1.19±1.030	264.64±99.46	207.56±88.95	125.43±23.58
最大值	390.40	2.98	434.70	340.90	162.30
最小值	62.10	0.09	153.70	77.30	92.60
变异系数/%	54.04	86.29	37.58	42.86	18.80
土壤背景值/(mg·kg ⁻¹) ^[16]	20.10	0.09	66.10	20.90	61.10

以上数据可以看出,西安市公园土壤和灰尘均受到不同程度的重金属累积,表层土壤以重金属元素 Pb 累积最为典型,尤以莲湖公园的 Pb 累积最为严重,究其原因可能一方面由于莲湖公园历史悠久,园内建筑

材料如油漆、涂料中常添加铅作为着色剂或其他用途^[17],在长期的风化作用下,油漆和涂料中的铅不可避免地会进入环境,造成污染;另一方面莲湖公园坐落于西安市中心,交通活动频繁,公园周围大量汽车尾气

的排放也会导致土壤 Pb 含量增加^[18]。地表灰尘以重金属元素 Cd 累积最为典型,其中尤以大明宫遗址公园最为严重,其原因可能主要是大明宫遗址公园地处西安市老工业区北郊,受到工业活动的影响较大,其次就是当地交通尾气的排放所致,王伯光等^[19]指出重金属元素 Cd 跟机动车辆尾气排放显著相关。

2.2 重金属污染评价分析

2.2.1 土壤重金属元素污染分析评价 以陕西省土壤背景值为标准,计算出各公园土壤重金属的单项污染指数、综合污染指数和潜在生态风险指数。由表 5 可知,重金属元素 Cr 的单项污染指数为 1~2,处于轻度污染水平;莲湖公园、革命公园和兴庆公园土壤中 Zn 的污染指数分别为 2.94,2.11,2.44,达到中度污染水平;重金属元素 Cu,Cd,Pb 在莲湖、革命、兴庆、大明宫 4 大公园土壤中属于重度、中度污染水平,重金属元素 Cu,Pb 在曲江池遗址公园属中度污染。

表 5 公园土壤重金属污染指数和潜在生态风险指数

公园名称	单项污染指数					综合污染指数	潜在生态风险系数					潜在生态风险指数
	Cu	Cd	Zn	Pb	Cr		Cu	Cd	Zn	Pb	Cr	
曲江公园	2.09	1.46	1.91	2.41	1.42	2.38	10.46	43.73	1.91	12.06	2.84	70.99
莲湖公园	4.07	2.46	2.94	4.87	1.74	3.82	20.35	73.73	2.94	24.34	3.48	124.84
革命公园	3.02	3.36	2.11	3.39	1.50	2.91	15.09	100.67	2.11	16.97	3.00	137.84
兴庆公园	2.44	3.04	2.44	3.76	1.59	3.13	12.19	91.13	2.44	18.80	3.18	127.74
慈恩寺	1.53	0.86	1.20	1.49	1.35	1.98	7.66	25.93	1.20	7.44	2.71	44.95
大明宫	3.48	2.10	1.68	2.98	1.50	2.97	17.42	62.93	1.68	14.91	2.99	99.94

2.2.2 灰尘中重金属元素污染分析评价 由表 6 可知,6 个公园灰尘中重金属元素 Cu 和 Pb 单项污染指数均大于 3,达到重度污染水平;曲江、莲湖、革命、大明宫 4 大公园灰尘中重金属元素 Cd,Zn,Cr 污染达到重度、中度污染水平,兴庆公园和唐大慈恩寺遗址公园重金属元素 Zn 污染属中度污染水平。

从综合污染指数来看,曲江池、莲湖、革命、兴庆、慈恩寺、大明宫 6 大公园污染指数分别为 11.65,14.18,16.22,4.76,5.97,23.39,说明西安市公园地表灰尘重金属元素均属重污染。不同公园地表灰尘重金属元素污染程度依次为大明宫遗址公园>革命公园>莲湖公园>曲江池遗址公园>唐大慈恩寺遗址公园>兴庆公园。

从潜在生态风险指数来看,西安市公园地表灰尘

从综合污染指数来看,莲湖公园和兴庆公园的污染指数分别为 3.82,3.13,属重度污染;曲江池遗址公园、革命公园和 大明宫遗址公园污染指数分别为 2.38,2.91,2.98,属中度污染水平。不同公园土壤重金属污染程度依次 为莲湖公园>兴庆公园>大明宫遗址公园>革命公园>曲江池遗址公园>唐大慈恩寺遗址公园。

从潜在生态风险指数来看,西安市公园的土壤重金属元素 Cu,Zn,Pb,Cr 的潜在生态风险系数均小于 40,危害程度较低,属于轻微生态风险水平;重金属元素 Cd 的潜在生态危害较为严重,其中曲江池、莲湖、革命、兴庆和 大明宫 5 大公园生态风险系数分别为 43.73,73.73,100.67,91.13,62.93,属中等、强生态风险水平。6 大公园潜在生态风险指数均小于 150,处于轻微生态风险水平。不同公园的潜在生态危害程度依次 为革命公园>兴庆公园>莲湖公园>大明宫遗址公园>曲江池遗址公园>唐大慈恩寺遗址公园。

重金属元素 Zn,Cr 的潜在风险系数小于 40,危害程度低,属轻微生态风险水平;重金属元素 Cu,Pb 潜在风险系数范围为 15.95~96.33,表现为轻微、中度、强度生态风险;重金属元素 Cd 的潜在生态危害程度最大,在曲江池遗址公园、莲湖公园、革命公园和 大明宫遗址公园风险系数分别为 383.33,282.80,667.60,978.33,达到了极强、很强的生态风险水平。不同公园中 大明宫遗址公园的潜在生态风险指数最大为 1 088.02,其次为革命公园、曲江池遗址公园和莲湖公园,风险指数分别为 772.70,540.07,470.16,达到了很强、强生态风险水平,其余两个公园的污染程度在安全范围内,不会对游客的健康造成不良影响。不同公园潜在生态危害程度依次 为大明宫遗址公园>革命公园>曲江池遗址公园>莲湖公园>唐大慈恩寺遗址公园>兴庆公园。

表 6 公园灰尘重金属污染指数和潜在生态风险指数

公园名称	单项污染指数					综合污染指数	潜在生态风险系数					潜在生态风险指数
	Cu	Cd	Zn	Pb	Cr		Cu	Cd	Zn	Pb	Cr	
曲江公园	15.52	12.78	6.55	13.66	2.15	11.65	77.60	383.33	6.55	68.29	4.30	540.07
莲湖公园	19.27	9.43	5.24	16.10	2.64	14.18	96.33	282.80	5.24	80.51	5.27	470.16
革命公园	8.51	22.25	2.81	11.00	2.39	16.22	42.53	667.60	2.81	54.99	4.77	772.70
兴庆公园	3.19	1.37	2.37	3.80	1.75	4.76	15.95	41.20	2.37	19.02	3.49	82.03
慈恩寺	5.20	1.12	2.98	6.36	1.53	5.97	26.00	33.67	2.98	31.79	3.06	97.49
大明宫	11.71	32.61	4.07	8.67	1.87	23.39	58.55	978.33	4.07	43.33	3.74	1088.02

2.3 土壤重金属和灰尘重金属相关性分析

由表 7 可以看出,西安市公园土壤和灰尘之间对应重金属元素 Cu 和 Cr 存在极显著相关性,Pb 存在显著相关性,一方面说明重金属元素 Cu,Cr,Pb 在土壤和灰尘中的来源可能相同,鉴于 6 大公园均处于西安市主要城区,受人为影响较大,Cu,Pb 可能主要来源于频繁的交通排放,Cr 可能主要来源于密集城区的人类生活垃圾;另一方面说明重金属元素 Cu,Cr,Pb 可能在土壤和灰尘之间存在相互转化机制。另外两种重金属元素 Cd,Zn 在土壤和灰尘之间不存在显著相关性,说明土壤和灰尘中的 Cd,Zn 元素可能受到不同污染源的影响,污染来源较为复杂,而且在土壤和灰尘间无明显的相互转化机制。

表 7 公园土壤与灰尘间重金属的相关系数

元素	Cu	Cd	Zn	Pb	Cr
相关系数	0.598**	0.238	0.179	0.395*	0.584**

注:*代表 $p<0.01$ (极显著),*代表 $p<0.05$ (显著)。

3 结 论

(1) 西安市公园土壤和灰尘中 5 种重金属元素 Cu,Cd,Zn,Pb,Cr 含量均高于陕西省土壤背景值,重金属元素 Pb,Cu,Cd 是主要污染因子。不同公园土壤和灰尘中重金属元素的含量各不相同,其中曲江池遗址公园受到灰尘重金属元素 Cu,Cd,Zn,Pb 的重度污染;莲湖公园受到土壤重金属 Cu,Pb 和灰尘重金属元素 Cu,Cd,Zn,Pb 的重度污染;革命公园受到土壤和灰尘重金属元素 Cu,Cd,Pb 的重度污染;兴庆公园受到土壤重金属元素 Cd,Pb 和灰尘重金属元素 Cu,Pb 的重度污染;唐大慈恩寺公园受到灰尘重金属元素 Cd,Pb 的重度污染;大明宫遗址公园受到土壤重金属元素 Cu 和灰尘重金属元素 Cu,Cd,Zn,Pb 的重度污染。

(2) 不同公园土壤重金属元素污染程度依次为莲湖公园>兴庆公园>大明宫遗址公园>革命公园>曲江池遗址公园>唐大慈恩寺遗址公园,其中莲湖公园、兴庆公园属重度污染水平。6 大公园灰尘重金属元素均处于重度污染水平,生态危害程度依次为大明宫遗址公园>革命公园>曲江池遗址公园>莲湖公园>唐大慈恩寺遗址公园>兴庆公园,其中大明宫遗址公园、革命公园、曲江池遗址公园、莲湖公园潜在生态危害属强—很强生态风险。

(3) 重金属元素 Cd 在不同公园含量差异性明显,受到人为影响最大。大明宫遗址公园地表灰尘中 Cd 富集显著,表现为极高的生态风险水平,说明在受到大量工业活动和交通活动的双重影响下地表灰尘重金属元素 Cd 累积量显著增大。公园土壤和灰尘之间对应重金属元素 Cu 和 Cr 存在极显著相关性,

Pb 存在显著相关性,Cd 和 Zn 不存在显著相关性,表明了西安市公园土壤和灰尘中重金属元素 Cu,Pb,Cr 污染的同源性和 Cd,Zn 污染的非同源性。

参考文献:

- [1] 史贵涛,陈振楼,许世远,等. 上海城市公园土壤及灰尘中重金属污染特征[J]. 环境科学,2007,28(2):238-242.
- [2] 黄静,卢新卫,翟雨翔. 西安市公园土壤重金属元素含量水平及风险评价[J]. 地质科技情报,2009,28(4):127-130.
- [3] 常静,刘敏,侯立军,等. 城市地表灰尘的概念,污染特征与环境效应[J]. 应用生态学报,2007,18(5):1153-1158.
- [4] 吴旋蕾,周俊,胡蓓蓓,等. 天津公园灰尘与土壤重金属污染特征[J]. 生态学杂志,2013,32(4):1030-1037.
- [5] Davis S, Waller P, Buschbom R, et al. Quantitative estimates of soil ingestion in normal children between the ages of 2 and 7 years: Population-based estimates using aluminum, silicon, and titanium as soil tracer elements[J]. Archives of Environmental Health: An International Journal,1990,45(2):112-122.
- [6] 史贵涛,陈振楼,许世远,等. 上海市区公园土壤重金属含量及其污染评价[J]. 土壤通报,2006,37(3):490-494.
- [7] 方凤满,林跃胜,王海东,等. 城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应[J]. 生态学报,2011,31(23):7301-7309.
- [8] 姜勇. 土壤污染调查布点及样品采集技术研究[J]. 科技资讯,2009(29):137-138.
- [9] 王小平. 不同分解方法对 ICP-AES 测定植物样品中元素含量的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2005,25(4):563-566.
- [10] 国家环境保护总局. HJ/T166—2004. 土壤环境监测技术规范[S]. 北京:中国环境科学出版社,2004.
- [11] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. Water Research,1980,14(8):975-1001.
- [12] 时亚坤,李凯荣,闫宝环. 铜川三里洞煤矿煤矸石风化土壤重金属分布及污染状况分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):187-191.
- [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):152-155.
- [14] 徐争启,倪师军,虞先国,等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):112-115.
- [15] 孙逸敏. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性[J]. 新疆教育学院学报,2007,23(2):120-123.
- [16] 国家环境保护局,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.
- [17] 何稼敏,沈晓明. 用 X 线荧光衍射法和原子吸收光谱法测定油漆中的铅含量[J]. 广东微量元素科学,1998,5(6):26-29.
- [18] 郑袁明,余轲,吴泓涛,等. 北京城市公园土壤铅含量及其污染评价[J]. 地理研究,2002,21(4):418-424.
- [19] 王伯光,杨嘉慧,周炎,等. 广州市机动车尾气中金属元素的排放特征[J]. 中国环境科学,2008,28(5):389-394.