西安市汽车站地表灰尘中重金属的污染评价及其来源识别

田东凡，卢新卫，景一鸣，张 蒙，罗 润
（陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710119）

摘 要：[目的] 研究西安市长途汽车站地表灰尘中重金属的主要成分、可能来源及其污染水平，为改善汽车站内及周边环境现状提供科学依据。[方法] 利用 X-Ray 荧光光谱仪对西安市内 20 个具有代表性的汽车站地表灰尘中 Cu，Mn，Ni，Pb，V 和 Zn 的元素含量进行分析，采用地积累指数法及潜在生态风险指数法评价灰尘重金属的污染水平及环境风险，利用主成分分析。聚类分析等方法来研究城市汽车站地表灰尘中重金属的主要成分及其可能来源。[结果] Cu，Pb，Zn 均在不同程度上超过陕西省土壤背景值，其含量的平均值分别为 36.3，107.7，113.5 mg/kg。地积累指数法评价表明，除 Pb 为中度污染以外，其余元素均为无污染；潜在生态风险指数法表明，西安汽车站地表灰尘中的重金属元素处于中等污染水平，具有中等潜在生态风险。[结论] Cu，Mn 和 Ni 主要来自于自然源和交通源，Pb 和 Zn 主要来自汽车尾气的排放及零部件的磨损，V 则主要来自于自然源。

关键词：汽车站；地表灰尘；重金属；多元统计分析；潜在生态风险指数
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2017)01-0034-05 **中图分类号**：X53

文献参数：田东凡，卢新卫，景一鸣，等. 西安市汽车站地表灰尘中重金属的污染评价及其来源识别[J]. 水土保持通报，2017，37(1)：034-038. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.006；Tian Dongfan，Lu Xinwei，Jing Yiming，et al. Assessment of heavy metal pollution and source identification in surface dust at urban coach stations in Xi'an City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2017，37(1)：034-038. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.006

Assessment of Heavy Metal Pollution and Source Identification in Surface Dust at Urban Coach Stations in Xi'an City

TIAN Dongfan，LU Xinwei，JING Yiming，ZHANG Meng，LUO Run
（*College of Tourism and Environment，Shaanxi Normal University，Xi'an，Shaanxi* 710119，*China*）

Abstract：[Objective] The objective of the study is to investigate heavy metal pollution and possible sources of heavy metals in surface dust in coach stations of Xi'an City，in order to provide support for improving the environment in coach stations of Xi'an City. [Methods] Dust samples were collected from 20 representative coach stations in Xi'an City and the concentrations of Cu，Mn，Ni，Pb，V，and Zn were measured by X-Ray fluorescence spectroscopy. Pollution level and environmental risk of heavy metals in the dust were assessed using the geo-accumulation pollution index and the potentially ecological risk index，respectively. Correlation coefficient analysis，principal component analysis and cluster analysis were used to identify the possible sources of these heavy metals. [Results] The mean content of Cu，Pb and Zn in the dust was 36.3，107.7 and 113.5 mg/kg，respectively，which were significantly higher than their background values in soil in Shaanxi. The geo-accumulation index results indicated that the pollution level of Pb was medium，while other heavy metal pollution belonged to low-level. The potentially ecological risk index showed that the surface dust from coach stations was moderately polluted，and have medium ecological risk. [Conclusion]

收稿日期：2016-04-25 **修回日期**：2016-06-13
资助项目：国家自然科学基金项目"冶炼焦电工业区重金属与 PAHs 污染特征及人群健康风险研究"(41271510)；大学生创新创业训练计划项目(cx15041)
第一作者：田东凡(1995—)，女(汉族)，山东省青岛市人，本科生，环境科学专业。E-mail：673854139@qq.com。
通讯作者：卢新卫(1968—)，男(汉族)，陕西省蓝田县人，博士，教授，主要从事环境污染与修复。环境评价与治理方面研究。E-mail：luxinwei@snnu.edu.cn。

Source identification results suggest that Cu, Mn and Ni in the surface dust mainly came from nature and traffic, Pb and Zn mainly came from automobile exhaust emissions and worn-out parts, and V mainly came from the nature.

Keywords: coach station; surface dust; heavy metal; multivariate statistical analysis; potentially ecological risk index.

城市灰尘主要是指附着、淀积于人工铺地(道路、桥面、街道、广场)及地面附着物、建筑物的裸露面上,未被固化粘结,且易于被地表径流、雨水及大气带动、运移和飘浮的粒径小于 20 目(<0.840 mm) 的固体颗粒物[1]。灰尘中常常积累了大量对人体有毒有害的物质(如重金属、多环芳烃等)[2-4],其在风力、降水、机动车和人群活动等条件影响下,可重新发生移动,也可通过呼吸道直接进入人体内,对生态环境以及居民身体健康造成严重危害。

由于汽车的大量普及,城市的大规模发展以及第二产业的飞速发展,产生了一系列有毒有害的污染物,重金属污染尤为严重[5-6]。自 1975 年 Day 等[7]开始研究城市灰尘以来,世界各地相继开展了一系列的城市灰尘污染研究,涉及到灰尘中重金属的含量、形态、来源及健康风险等内容。重金属因具有持久性和难降解性,被称为"化学定时炸弹"[8]。由于其累积效应明显,重金属的环境危害较大。

随着中国城市化水平的不断提高,城市地表灰尘的来源变得越来越复杂多样,其主要来源之一即为机动车排放[9]。由此可见交通是城市地表灰尘中重金属的重要来源,汽车尾气中含有大量的重金属,而汽车站是人们密集活动的重要场所之一,因此,汽车站及其周边的地表灰尘中的重金属可以对人体健康产生不良影响。目前,中国重金属的研究多涉及道路街尘[10-11]、工业灰尘[12]、休息娱乐场所灰尘[13]等,但对城市汽车站地表灰尘中重金属的研究较少。西安市是中国 16 个特大城市之一,城市发展快,人口密度大,交通流量大,车站数量较多。本文拟选取西安市内 20 个具有代表性的长途汽车站,采样并分析其地表灰尘中重金属 Cu,Mn,Ni,Pb,V 和 Zn 的元素含量,利用地积累污染指数法、潜在生态风险指数法对其进行环境风险评价,利用主成分分析、聚类分析等方法研究其地表灰尘中重金属的主要成分及其可能来源,旨在为改善汽车站内及周边环境现状提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　样品采集与处理

根据西安城市交通区分布和人口流动状况,在全市范围内选择了 20 个长途汽车站,分别为高陵客运站、蓝田县汽车站、纺织城客运站、临潼汽车站、阎良长途客运站、周至汽车站、周至尚村客运站、长安区客运站、水司客运站、引镇客运站、户县汽车站、户县汽车北站、户县汽车南站、威远客运站、三府湾客运站、城西客运站、城北客运站、城南客运站、西安汽车站、西安长途客运站。在每个汽车站随机采集 3～5 个位点的地表灰尘(总量不少于 500 g),采样在至少连续 7 d为晴天后进行,以确保样品的代表性。利用塑料刷和塑料铲子采集灰尘,并用聚乙烯塑料袋密封包装。

将采集好的街尘样品带回实验室,使其在通风、避光、室温的条件下自然风干 1～2 周,过 10 目(2 mm)的尼龙筛,去除砂砾、石子、植物根茎等外来可见杂物,然后将样品分成 2 份,其中一份过 20 目筛子(0.9 mm)后装袋并做好标记,用于测量基本理化指标;另一份取约 10 g,用于测定重金属的全量。

1.2　样品分析与质量控制

称取 4 g 处理后的样品,放入磨具内,将其拨平,用硼酸将周围填满,使用半自动压样机(YYJ-60 型,长春光机研究所)于 30 t 压力下压制成以硼酸衬底镶边的圆片状待测物品,用 X-Ray 荧光光谱仪(PW2403,荷兰帕纳科仪器公司)测定样品中的 Cu,Mn,Ni,Pb,V 和 Zn 的含量。在分析过程中,采用 GSS1 标准物质进行质量控制,将其误差控制在 5% 以内。

1.3　评价方法

目前,国内外尚无统一的城市灰尘重金属污染风险评价的标准方法,本文采用地积累污染指数法和潜在生态风险指数法对西安汽车站地表灰尘进行污染和生态风险评价,评价指标为 Cu,Mn,Ni,Pb,V 和 Zn。

1.3.1　*地积累污染指数法*　地积累污染指数法是由德国海德堡大学沉积物研究所的 Müller 于 1969 年提出[14],现广泛应用于街尘中重金属含量的评价。其公式为:

$$I_{Geo}=\log_2[C_i/(k\times B_i)] \quad (1)$$

式中:I_{Geo}——地积累污染指数;C_i——汽车站地表灰尘中重金属含量的实测值(mg/kg);B_i——所测元素的背景值,本文选取陕西省土壤背景值;k——常数,$k=1.5$。地积累污染指数可划为 7 个等级,即:0—6 级(表 1)[15]。

1.3.2　*潜在生态风险指数法*　潜在生态风险指数法

是由瑞典学者 Lars Håkanson 在 1980 年提出，用于评价重金属污染及生态风险性的一种方法[16]。其计算公式为：

$$C_f^i = C^i / C_n^i \tag{2}$$

式中：C_f^i——汽车站地表灰尘中重金属元素的污染系数；C^i——对应该元素的实测浓度（mg/kg）；C_n^i——通常取工业化以前沉积物中该重金属元素的评价参比值[17]，本文选取陕西省表层土壤元素背景值为评价参比。

表 1 地积累污染指数分级

污染程度	分级	地积累污染指数
无污染	Ⅰ	≤0
轻度污染	Ⅱ	0～1
偏中污染	Ⅲ	1～2
中度污染	Ⅳ	2～3
偏重污染	Ⅴ	3～4
重污染	Ⅵ	4～5
严重污染	Ⅶ	≥5

$$C_d = C_f^1 + C_f^2 + \cdots + C_f^i + \cdots \tag{3}$$

式中：C_d——重金属污染指数。

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i \tag{4}$$

式中：E_r^i——汽车站地表灰尘中重金属元素的潜在生态风险指数；T_r^i——该元素的毒性响应系数，其能反映重金属元素的毒性水平以及生物对重金属污染的敏感程度[17]。

$$E_R = \sum E_r^i \tag{5}$$

式中：E_R——综合重金属元素潜在生态风险系数。

重金属污染评价指标及其污染程度具体数值如表 2 所示。

表 2 潜在生态风险指数分级

单因子		综合		单因子		综合	
污染系数	等级	污染指数	等级	生态风险系数	等级	生态风险指数	等级
＜1	低	＜6	低	＜10	轻微	＜40	轻微
1～3	中等	8～16	中等	10～20	中等	40～80	中等
3～6	较重	16～32	较重	20～40	强	80～160	强
≥6	严重	≥32	严重	40～80	很强	≥160	很强
				≥80	极强		

2 结果与分析

2.1 西安市汽车站地表灰尘中重金属浓度水平

西安市汽车站地表灰尘中重金属含量测试统计结果见表 3。由表 3 可见，西安汽车站地表灰尘中 Cu，Pb，Zn，V，Mn 和 Ni 的平均含量分别为 36.3，107.7，113.5，46.8，296.2 和 23.2 mg/kg。与陕西省土壤背景值相比，Cu，Pb 和 Zn，的平均含量均超过陕西土壤背景值，而 Mn，Ni 和 V 的平均含量均低于陕西土壤背景值。Cu，Pb，Zn 和 Ni 的变异系数（标准差/平均值）较大，表明各汽车站地表灰尘中这 4 种元素的含量差异大。同时，在所调查的灰尘样品中，Cu，Pb，Zn 和 Ni 含量超过陕西土壤背景值的样品分别占到 75%，100%，75% 和 15%。Cu，Pb，Zn 这 3 种元素的平均值分别是陕西省土壤重金属背景值的 1.37，5.03，1.64 倍，说明这 3 种元素在西安汽车站地表灰尘中存在一定程度的积累，其中以 Pb 的积累最为严重。

表 3 西安城市汽车站地表灰尘重金属含量

元素	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	陕西土壤背景值[10]	超标率/%
Cu	9.6	81.3	36.3	19.5	0.54	21.4	75
Pb	29.0	274.5	107.7	54.5	0.51	21.4	100
Zn	19.4	316.9	113.5	67.8	0.60	69.4	75
V	36.3	64.0	46.8	6.1	0.13	66.9	0
Mn	131.7	506.0	296.2	76.8	0.26	557	0
Ni	13.8	55.0	23.2	9.1	0.39	28.8	15

已有研究表明，福州市公交枢纽站地表灰尘中的重金属 Cu，Pb，Zn，Mn，Ni 的含量分别为 138.96，112.73，113.4，670.93，23.2 mg/kg，浙江省城市汽车站地表灰尘中重金属 Cu，Pb，Zn，Mn，Ni 的含量分别为 172.8，287.1，424.0，788，54.4 mg/kg。与福州市相比，Pb 和 Ni 的含量两者相似，但 Cu，Zn，Mn 的含量西安市远低于福州市；与浙江省相比，该 5 种元素的平均含量西安市均远低于浙江省。

2.2 西安市汽车站地表灰尘中重金属元素的多元分析

2.2.1 相关性分析 利用 SPSS 19.0 统计软件对西安市汽车站地表灰尘中重金属的含量进行统计分析，从表 4 可见，在置信水平为 0.01 水平下，Cu-Ni，Mn-Ni，Pb-Zn 的相关系数较高，呈显著正相关；在置信水平为 0.05 水平下，Cu-Zn 的相关系数较高，呈显著正相关。

一般情况下 Mn 被看作是自然来源的特征元素，Cu-Ni 和 Mn-Ni 之间相关系数较高，推测 Mn，Ni 这 2 种重金属主要受自然母质——全新世近期黄土的影响[18]。而西安市汽车站地表灰尘中 Cu，Pb，Zn 的含量与陕西省土壤背景值相比显著超标，推测这 3 种元素可能有相似的来源，且主要受人类活动的影响。

表 4　西安市汽车站地表灰尘重金属含量的皮尔逊相关系数矩阵

金属元素	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Cu	—	0.116	0.005	0.156	0.374	0.020
Mn	0.363	—	0.005	0.444	0.072	0.554
Ni	0.600**	0.597**	—	0.315	0.186	0.172
Pb	0.330	−0.181	0.237	—	0.604	0.007
V	−0.210	0.411	0.308	0.123	—	0.841
Zn	0.514*	0.141	0.318	0.581**	−0.048	—

注：**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关；*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.2.2　主成分分析　运用正交旋转法对西安汽车站地表灰尘中的重金属元素进行主成分分析,根据分析结果,西安市汽车站地表灰尘中的前 5 个因子的累计解释总方差为 85.753%,各重金属元素在 5 因子上的载荷如表 5 所示。

如表 5 和图 1 所示,第 1 个主成分的贡献率为 34.523%,Mn,Ni 和 Cu 在第 1 主成分上有较高的正载荷,分别为 0.872,0.837 和 0.695;第 2 个主成分的贡献率为 30.386%,Pb 和 Zn 在第 2 主成分上有较高的正载荷,为 0.939 和 0.801;第 3 个主成分的贡献率为 20.844%,V 在第 3 主成分上有较高的正载荷,为 0.953。

表 5　西安市汽车站地表灰尘中重金属含量主成分分析的旋转成分矩阵

金属元素	主成分			变量共同度
	1	2	3	
Cu	0.695	0.442	−0.453	0.883
Mn	0.872	−0.177	0.267	0.863
Ni	0.837	0.270	0.154	0.798
Pb	−0.072	0.939	0.138	0.905
V	0.218	0.039	0.953	0.957
Zn	0.274	0.801	−0.153	0.739
特征值	2.071	1.823	1.251	—
解释总方差/%	34.523	30.386	20.844	—
累计解释总方差/%	34.523	64.909	85.753	—

注:提取方法为主成分法;旋转法为具有 Kaiser 标准化的正交旋转法;旋转在 6 次迭代后收敛。

2.2.3　聚类分析　对西安市汽车站地表灰尘中的重金属元素进行聚类分析,聚类树状图(图 1)形象地反映了元素间的远近程度,可以帮助我们更好地了解不同重金属元素之间的亲疏关系。从图 1 可知,Cu,Mn,Ni 为第 1 类,Pb 和 Zn 为第 2 类,V 为第 3 类。聚类分析结果与因子分析结果吻合。

2.2.4　来源分析　汽车站地表灰尘的化学组成成分不仅与当地交通状况有关,也受当地工业、生活等污染因素的影响[19],上述分析结果表明,第Ⅰ主成分中 Cu,Mn,Ni 有较高的正载荷,Mn 和 Ni 的平均含量均低于陕西省土壤重金属背景值,Cu 的最小值也小于陕西省土壤重金属背景值,且 Mn 是成土母质的重要组成成分,故第Ⅰ主成分可能反映了地球化学成分的影响。Ni 的最大值出现在城西客运站附近,为 55mg/kg,是陕西省土壤重金属背景值的 1.9 倍,位于西安地铁 1 号线的出口附近,周边人流密度大,商贩众多,车流密集,所以 Ni 还与交通污染有一定关系,有研究表明,Ni 主要来自汽车制动器衬片及其他零件[20]。Cu 的主要来源之一即为交通污染,特别是汽车等金属零部件的磨损[21],所以,Cu,Mn 和 Ni 主要来自于自然源和交通源。

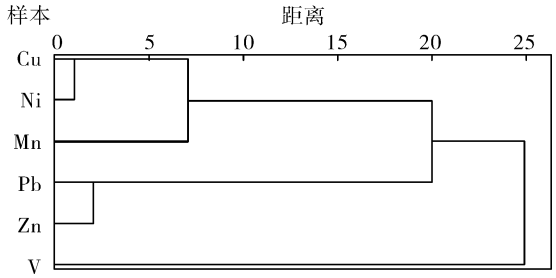


图 1　基于平均联接(组内)的聚类分析

Cu,Pb 和 Zn 元素的含量均显著高于陕西省土壤重金属背景值,说明西安市汽车站地表灰尘中这些重金属的状况已不再受当地土壤控制,而是存在人为的污染源,并以 Pb 和 Zn 的含量最高,污染最为严重。陕西土壤背景值中 Pb 和 Zn 的含量分别为 21.4,69.4mg/kg,而 Pb 和 Zn 测量的平均值分别是背景值的 5.03 和 1.64 倍。又根据相关分析和主成分分析可知,Pb 和 Zn 有共同的污染来源。汽车尾气的排放以及磨损的橡胶轮胎和刹车里衬,产生的重金属会吸附在地表颗粒物中[20,22]。Amato 等[23]在对巴塞罗那<10 μm 的地表颗粒物的进行分析时发现,重金属来源由刹车里衬贡献 27%,矿物燃烧贡献 37%,尾气排放贡献 20%,轮胎磨损则贡献 16%。李海燕等[24]认为,交通活动对地表灰尘重金属含量与分布的影响主要表现在交通流量及车辆行驶速度和变速频率上。结合汽车站的实际情况和采样点周边的环境状况分析可知,汽车尾气排放、零部件损耗以及车辆经常的刹车及停车等是造成 Pb 和 Zn 排放超标的主要原因,且 Zn 和 Pb 的地表吸附量与交通流量有正相关关系[25]。V 的平均含量低于陕西省土壤重金属背景值,故推测 V 的主要来源即为自然源。

2.3　西安市汽车站地表灰尘中重金属元素的环境风险分析

2.3.1　基于地积累污染指数法的评价　图 2 是以陕

西省土壤重金属背景值为评价参比，基于地积累污染指数法，由重金属元素的平均值所计算出的西安市汽车站地表灰尘中重金属污染的评价结果。

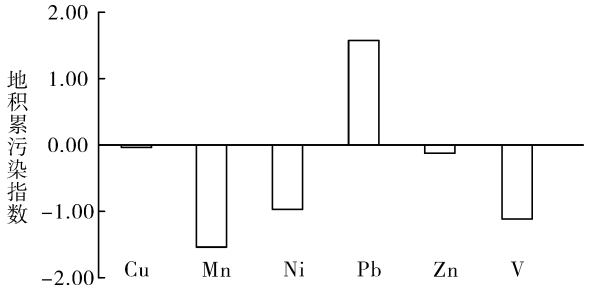


图2 地积累污染指数法评价结果

由图2知，西安市汽车站地表灰尘中重金属污染水平为：Pb＞Cu＞Zn＞Ni＞V＞Mn，其中Cu，Zn，Ni，V，Mn均为无污染，而Pb则为偏中度污染。由Paniand等的研究可知，同一道路，在其车辆经常减速、刹车以及停车的区域，颗粒物的积累量和重金属的含量都会受到相应的影响，特别是会导致Pb的富集。

2.3.2 *基于潜在生态风险指数法的评价* 由表6可以看出，西安市汽车站地表灰尘中重金属元素多项污染系数的平均值为10.40，属于中等污染；潜在生态风险指数的平均值为41.21，属于中等风险。不同重金属元素的单项污染系数从大到小的顺序为：Zn＞Cu＞Pb＞Ni＞V＞Mn，单项潜在生态风险系数从大到小的顺序为：Zn＞Cu＞Ni＞Pb＞V＞Mn。

评价结果显示，在单项污染系数指标下，Zn的污染等级为较重，Cu和Pb为中等，Ni，V和Mn均为低污染等级。在潜在生态风险指数指标下，Zn的风险等级为强，其余元素均为轻微风险等级。

表6 西安市汽车站地表灰尘中重金属污染系数和潜在生态风险系数

元素	单项污染系数 C_i^f		单项潜在生态风险系数 E_r^i	
	平均值	等级	平均值	等级
Cu	1.69	中等	8.47	轻微
Mn	0.53	低	0.54	轻微
Ni	0.81	低	4.02	轻微
Zn	5.04	较重	25.15	强
Pb	1.63	中等	1.63	轻微
V	0.70	低	1.40	轻微

3 结论

(1) 重金属元素含量分析表明，西安市汽车站地表灰尘中Cu，Pb，Zn，V，Mn，Ni含量的平均值分别为36.3，107.7，113.5，46.8，296.2，23.2 mg/kg，其中Cu，Pb，Zn这3种元素的平均值分别是陕西省土壤重金属背景值的1.37，5.03，1.64倍，V和Mn的含量均未超标。

(2) 根据多元统计分析结果，西安市汽车站地表灰尘中的Cu，Mn和Ni主要来自于自然源和交通源，Pb和Zn主要来自汽车尾气的排放及零部件的磨损，V则主要来自于自然源。

(3) 地积累污染指数法评价表明，西安市汽车站地表灰尘中重金属的污染水平为：Pb＞Cu＞Zn＞Ni＞V＞Mn，其中Cu，Zn，Ni，V，Mn均为无污染，而Pb则为中度污染。

(4) 潜在生态风险指数法评价表明，西安市汽车站地表灰尘中的重金属元素处于中等污染水平，具有中等潜在生态风险。Zn的污染等级为较重，Cu和Pb为中等，Ni，V和Mn均为低污染等级；Zn的潜在风险等级为强，其余元素均为轻微风险等级。

[参 考 文 献]

[1] 朱礼学.城市尘土地球化学调查的意义及构想[J].四川地质学报，2003，23(3)：174-175.

[2] Xie Shanju，Dearing J A，Boyle J F，et al. Association between magnetic properties and element concentrations of Liverpool street dust and its implications [J]. Journal of Applied Geophysics，2001，48(2)：83-92.

[3] Akther M S，Madany I M. Heavy metals in street and house dust in Bahrain [J]. Water，Air，and Soil Pollution，1993，66(1)：111-119.

[4] 向丽，李迎霞，史江红，等.北京城区道路灰尘重金属和多环芳烃污染状况探析[J].环境科学，2010，31(1)：159-167.

[5] Loganathan P，Vigneswaran S，Kandasamy J. Road-deposited sediment pollutants：A critical review of their characteristics，source apportionment，and management [J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology，2013，43(13)：1315-1348.

[6] Jordanova D，Jordanova N，Petrov P. Magnetic susceptibility of road deposited sediments at a national scale-relation to population size and urban pollution[J]. Environmental Pollution，2014，189(12)：239-251.

[7] Day J P，Hart M，Robinson M S. Lead in urban street dust[J]. Nature，1975，253(31)：243-245.

[8] Stigliani W M，Doelman P，Salomons W，et al. Chemical time bombs-predicting the unpredictable [J]. Environment，1991，33(4)：4-30.

[9] 李小飞，陈志彪，张永贺，等.福州市公交枢纽站地表灰

尘重金属含量。来源及其健康风险评价[J].环境科学研究,2013,26(8):906-912.
[10] 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.
[11] 刘德鸿,王发园,周文利,等.洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险[J].环境科学,2012,33(1):253-259.
[12] 王利军,卢新卫,荆淇,等.宝鸡长青镇铅锌冶炼厂周边土壤重金属污染研究[J].农业环境科学学报,2012,3(2):325-330.
[13] 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.
[14] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. Geojournal, 1969, 2(3):108-118.
[15] 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,1990:87-90;330-497.
[16] 张菊,邓焕光,陈振楼,等.上海市区街道灰尘重金属污染研究[J].土壤通报,2007,38(4):727-731.
[17] 王利军,卢新卫,雷凯.宝鸡市街尘重金属元素含量及其环境风险评价[J].土壤通报,2012,43(1):200-205.
[18] 陈秀端,卢新卫,赵彩凤,等.西安市二环内表层土壤重金属空间分布特征[J].地理学报,2011,66(9):1281-1288.
[19] 章明奎.浙江省汽车站地表灰尘中重金属含量及其来源研究[J].环境科学学报,2010,30(11):2294-2303.
[20] Preciado H F, Li L Y, Evaluation of metal loadings and bioavailability in air, water and soil along two highways of British Columbia, Canada[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2006, 172(1/2/3/4):81-108.
[21] 陈青林,王惠,杨宝山,等.济南市地表灰尘重金属含量及其污染评价[J].济南大学学报:自然科学版,2013,27(4):428-432.
[22] Gunawardana C, Goonetilleke A, Egodawatta P, et al. Source characterization of road dust based on chemical and mineralogical composition[J]. Chemosphere, 2012, 87(2):163-170.
[23] Amato F, Schaap M, Hugo A C, et al. Short-term variability of mineral dust, metals and carbon emission from road dust resuspension[J]. Environment, 2013, 74(2):134-140.
[24] 李海燕,石安邦.城市地表颗粒物重金属分布特征及其影响因素分析[J].生态环境学报,2014,23(11):1852-1860.
[25] Pandian S, Gokhale S, Ghoshal A K. Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections[J]. Transportation Research(Part D): Transport and Environment, 2009,14(3):180-196.

《水土保持通报》2015 年刊载文献被引频次 TOP10 文献参数

(检索范围:中国学术期刊网络出版总库;检索时间:20170228)

[1] 单立山,李毅,石万里,等.土壤水分胁迫对红砂幼苗生长和渗透调节物质的影响[J].水土保持通报,2015,35(6):106-109.
[2] 徐勇,奚砚涛.江苏省植被覆盖动态变化及其与气候因子的关系[J].水土保持通报,2015,35(4):195-201.
[3] 姜德文,田颖超,郝捷,等.生产建设项目水土保持分类与分类管理对策[J].水土保持通报,2015,35(3):116-120.
[4] 曹磊,谢飞,吴颖超,等.江苏省 NDVI 时空变化特征及其与气候因子的关系[J].水土保持通报,2015,35(2):151-154.
[5] 李旭霖,刘庆花,柳新伟,等.不同改良剂对滨海盐碱地的改良效果[J].水土保持通报,2015,35(2):219-224.
[6] 吴涛,解雪峰,蒋国俊,等.东阳江流域生态系统健康评价[J].水土保持通报,2015,35(2):326-331.
[7] 胡珍,杨钢桥,汪文雄,等.基于农户视角的农地整理项目后期管护绩效评价[J].水土保持通报,2015,35(2):198-204.
[8] 郭彪,王尚义,牛俊杰,等.晋西北不同植被类型土壤水分时空变化特征[J].水土保持通报,2015,35(1):267-273.
[9] 孟丽红,叶志平,袁素芬,等.江西省 2007—2011 年水资源生态足迹和生态承载力动态特征[J].水土保持通报,2015,35(1):256-261.
[10] 张丽,张中东,郭正宇,等.深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响[J].水土保持通报,2015,35(1):102-106,117.