

# 包头市典型工业区表层土壤中重金属污染状况及其潜在生态风险研究

孙 鹏<sup>1</sup>, 李艳伟<sup>1</sup>, 张连科<sup>1\*</sup>, 李玉梅<sup>1</sup>, 王维大<sup>1</sup>, 余维佳<sup>2</sup>

(1. 内蒙古科技大学能源与环境学院, 内蒙古自治区 包头 014010;

2. 包头市辐射环境管理处, 内蒙古自治区 包头 014010)

**摘要:** 为了解包头市典型工业企业对其所在地土壤中重金属含量的影响及污染现状, 利用相关性系数对其表层土壤中7种重金属(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Mn、Ni)来源进行研究, 并采用内梅罗综合污染指数法和潜在生态危害指数对其污染状况进行评价。结果表明, 7种重金属含量平均值均高于内蒙古土壤背景值, 其中Cd、Mn、Ni超标率已达100%, 而Cu、Pb、Zn的超标率分别为97%、93%和93%, 只有Cr超标率较低(53%), 污染程度依次为Cd > Pb > Cu > Ni > Zn > Mn > Cr, 其中Pb和Cd为重度污染, Cu、Zn、Ni为中度污染, Cr、Mn为轻度污染; Cu、Zn、Cr、Mn、Ni可能同时来自工业生产和交通运输两个源, 而Pb和Cd除上述来源外, 燃煤烟气的排放有较大贡献。潜在生态危害依次为Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Mn, 其中Cd的潜在生态风险最大, 应予以高度重视, 其他金属的风险均为轻微。

**关键词:** 典型工业区; 重金属; 污染评价; 来源分析; 包头市

**中图分类号:** X821

**文献标识码:** A

包头市位于内蒙古自治区西部, 境内矿产资源丰富, 是我国少数民族地区建设最早的工业基地之一<sup>[1]</sup>。随着工农业的快速发展和人口的急剧增加, 工业“三废”中重金属的沉降、扩散、累积以及含重金属农药、磷肥的大量施用和汽车尾气的排放致使土壤重金属污染日趋严重<sup>[2]</sup>。重金属是一种持久性有毒的污染物, 进入土壤后不能被生物降解, 并通过地面扬尘被人体直接吸收。当重金属在土壤中累积量超过土壤本身的承受能力时, 不仅会影响土壤中动植物的生长发育, 而且重金属还会通过植物的吸收、富集, 并最终通过食物链进入人体, 给人体健康带来潜在危害<sup>[3-4]</sup>。

目前, 有关土壤中重金属污染以及生态风险的研究已有文献报道<sup>[5-6]</sup>。通过采用污染指数法以及生态风险指数法评价土壤中的重金属污染状况以及潜在生态风险, 同时结合多元统计分析方法和地理信息系统(GIS)技术, 揭示重金属的空间分布特征及其规律性, 从而为区域土壤资源的合理利用与保护提供支

持<sup>[7-8]</sup>。然而, 以往的研究大多集中在东部经济快速发展的工业园区、高科技产业园区等区域, 研究目的大多在于评估人类活动影响下土壤资源的合理利用以及土壤环境质量的保持。在生态环境极为脆弱的西北干旱区, 随着人类活动日益增多, 区域经济开发强度的不断增大, 对于土壤中重金属的来源、污染状况以及生态风险的研究目前均相对缺乏。本文以包头市典型工业区为研究区, 以土壤中7种重金属(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Mn、Ni)含量、来源及污染现状为研究对象, 运用内梅罗综合污染指数法和潜在生态危害指数法, 并结合内蒙古土壤背景值来评价工业化区域规模和范围不断扩大的情况下, 包头市典型工业区表层土壤中重金属污染状况, 从而为该地区环境保护和资源的有效利用提供科学依据。

## 1 实验部分

### 1.1 样品采集

2014年10月对包头市典型工业企业包头钢铁集

收稿日期: 2015 - 11 - 08; 修回日期: 2016 - 05 - 28; 接受日期: 2016 - 06 - 29

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2015MS0408)

作者简介: 孙鹏, 在读博士研究生, 讲师, 主要从事土壤化学与污染修复工作。E-mail: sp\_five666@163.com。

通讯作者: 张连科, 在读博士研究生, 副教授, 主要从事土壤化学与污染修复工作。E-mail: lkzhang@imust.cn。

团、包头铝业、希望铝业和一机集团所在区域采用梅花布点法或蛇形布点进行表层土壤样品采集(图1),采样深度为0~20 cm。采样点主要分布在道路、农田、住宅及工业区内认为扰动相对较少的地块,平均距离2~5 km 布设一个点位,共采集64个样品,每个样品由该采样点附近4~5个土壤样品混合而成,其量不少于1 kg,将样品中的碎石、根系等杂质去除后保存于聚乙烯塑料袋中,注明采样日期、地点等。

### 1.2 样品的处理及分析

样品采回后,在室内自然风干后碾碎,剔除植物残体、碎石等杂质后过20目和100目尼龙筛,装入聚乙烯塑料袋中备用<sup>[9]</sup>。

分别采用火焰原子吸收分光光度法和石墨炉原子吸收分光光度法测定样品中的Cu、Zn、Cr(GB/T 17138—1997, HJ 491—2009)、Pb、Cd(GB/T 17141—1997)和Mn、Ni(GB/T 17137—1997)含量。

为保证数据精度,所用Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Mn、Ni的标准溶液均购于中国计量科学研究院,所用试剂均为优级纯;且消解过程中设置空白样及3个平行样,分析过程均加入土壤国家标准物质(GBW07401)进行质量控制。

### 1.3 研究方法

本研究采用SPSS15.0对7种重金属进行相关性分析判别其来源,并利用单因子、内梅罗综合污染指数法及潜在生态危害指数法分别评价各重金属及其总体在研究区域内的污染等级和潜在生态风险危害等级。

#### 1.3.1 污染评价

内梅罗综合污染指数法<sup>[10]</sup>是土壤或沉积物重金属污染评价中较为常用的方法,是在单因子指数评价基础上发展起来的一种兼顾极值的加权型多因子环境质量指数,突出了高浓度污染物对土壤环境质量的影响,能反映出各种污染物对土壤环境的作用。其中单项污染指数( $P_i$ )计算公式为:

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

式中: $P_i$ —土壤中元素*i*的单项污染指数; $C_i$ —元素*i*的实测浓度(mg/kg); $S_i$ —内蒙古土壤中元素*i*的背景值(mg/kg)。单因子指数法分级标准与污染程度的划分为<sup>[11]</sup>:清洁安全( $P_i \leq 0.7$ )、尚清洁( $0.7 < P_i \leq 1$ )、轻污染( $1 < P_i \leq 2$ )、中污染( $2 < P_i \leq 3$ )、重污染( $P_i > 3$ )。

综合污染指数( $P$ )计算公式为:

$$P = \sqrt{(P_{i\max}^2 + P_{i\text{ave}}^2)/2} \quad (2)$$

式中: $P$ —土壤综合污染指数; $P_{i\max}$ —土壤单项污染指数的最大值; $P_{i\text{ave}}$ —土壤单项污染指数的平均值。综合污染指数分级标准与上述单项污染指数相同。

#### 1.3.2 潜在生态危害指数法

潜在生态危害指数法<sup>[12]</sup>是从沉积学角度提出的,根据重金属性质及环境行为特点,用于土壤或沉积物中重金属污染程度及其潜在生态危害的一种评价方法。计算公式为:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = T_r^i \times C_r^i = T_r^i \times (C_{\text{表}}^i/C_n^i) \quad (3)$$

式中: $RI$ —多因子潜在生态危害指数; $C_{\text{表}}^i$ —元素*i*的

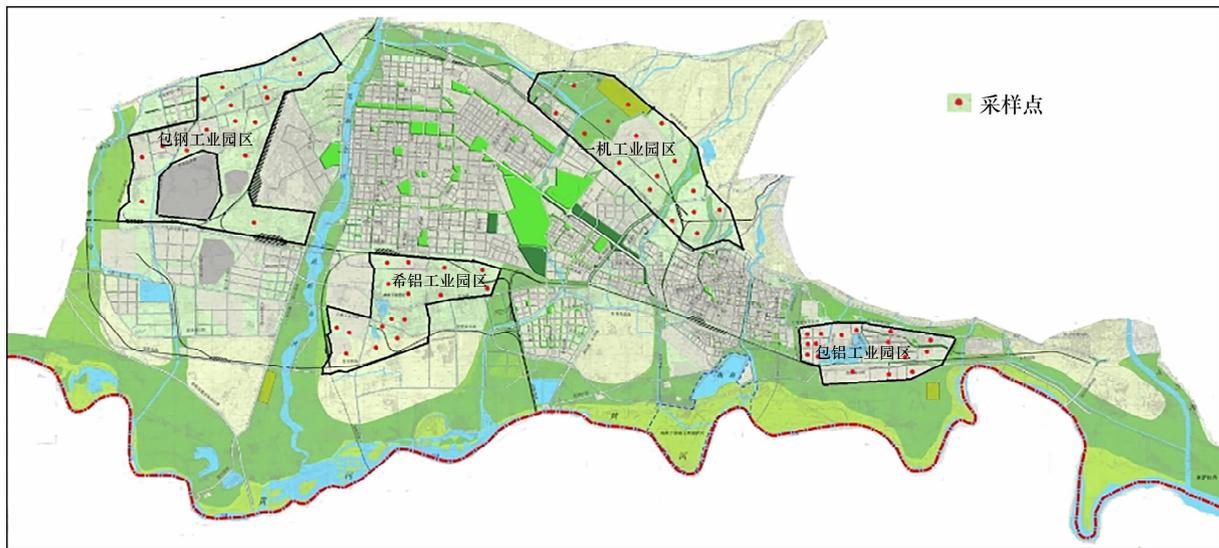


图1 采样点分布示意图

Fig.1 Schematic diagram of sampling locations

实测含量 (mg/kg);  $C_n^i$ —各重金属  $i$  的参比值 (mg/kg);  $C_r^i$ —元素  $i$  的污染系数;  $T_r^i$ —元素  $i$  的毒性系数, Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Mn、Ni 的毒性系数分别为 5、1、5、30、2、1、5;  $E_r^i$ —元素  $i$  的潜在生态危害指数。  $E_r^i \leq 40$ , 生态风险程度为轻微;  $40 < E_r^i < 79$ , 生态风险程度为中等;  $80 < E_r^i < 159$ , 生态风险程度为强;  $160 < E_r^i < 320$ , 生态风险程度为很强。

根据  $RI$  值的大小, 将生态风险程度分为四级。  $RI \leq 150$ , 综合潜在生态风险程度为轻微;  $150 < RI < 299$ , 综合潜在生态风险程度为中等;  $300 < RI < 600$ , 综合潜在生态风险程度为较强;  $RI > 600$ , 综合潜在生态风险程度为很强<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤重金属含量分析

包头市典型工业区 7 种重金属含量的统计数据见表 1。由表 1 可知, 7 种重金属含量远远高于内蒙古土壤环境背景值, 其中 Cd、Mn、Ni 的超标率已达 100%, 而 Cu、Pb、Zn 的超标率分别为 97%、93% 和 93%, 只有 Cr 的超标率较低(53%)。7 种重金属含量数学统计结果中, 偏度均大于 0, 表示大量样本集中在高含量区域, 其中 Cu 和 Cd 的偏度与峰度均很大, 表示两者变化幅度大, 大量高值样本与平均值偏离较远, 且远远高于内蒙古土壤背景值, 呈现高累积趋势; 其他重金属的峰度均低于 3, 表明中值附近数据较少而偏离中值的样品较多。变异系数可反映总体样本中各采样点平均变异程度, 变异系数越大, 重金属在空间上的分布差异越大, 说明所在地土壤受人类活动干扰越强烈, 一般认为变异系数大于 0.3 即为强变异。本文研究的 7 种重金属变异系数顺序为: Cu > Cd > Pb > Zn > Cr > Mn > Ni, 除 Ni 外, 其他 6 种重金属均有较强的变异性, 表明人类活动的干扰较大。

表 1 典型工业区土壤重金属含量

Table 1 Contents of heavy metals in soils of typical industrial

元素	背景值 (mg/kg)	工业区 平均值 (mg/kg)	标准差	偏度	峰度	变异 系数	超标率 (%)
Cu	12.9	38.44	41.78	3.93	17.4	1.09	0.97
Zn	48.6	99.20	48.09	1.15	0.73	0.48	0.93
Pb	15.0	55.06	41.50	1.53	1.57	0.75	0.93
Cr	36.5	40.58	17.73	2.32	1.80	0.44	0.53
Cd	0.037	0.51	0.50	1.69	6.79	0.97	1.00
Mn	446.0	714.86	217.17	0.60	-0.84	0.30	1.00
Ni	17.3	45.02	11.43	1.32	2.02	0.25	1.00

### 2.2 土壤重金属污染来源

城市土壤重金属主要来源于成土母质和人类活动, 同一来源的重金属之间存在着相关性。因此, 相关分析能够简单而有效地判别土壤重金属来源<sup>[14]</sup>。对于存在典型正相关关系的重金属, 其来源可能相同, 否则来源可能不止一个。本文将研究区域内 7 种重金属利用 SPSS15.0 软件进行相关性分析, 所得结果见表 2。Cu、Zn、Cr、Mn、Ni 与 Cd 的相关性系数均小于 0.3, 为弱相关, 这说明金属 Cd 污染来源不同于以上几种金属, 而相关性较强的 Cu、Zn、Cr、Mn 和 Ni 可能来自同一污染源。Pb 与其他几种金属均为正相关, 相关性系数大于 0.2, 说明 Pb 来自复合污染源。

表 2 典型工业区 7 种重金属相关性分析

Table 2 Relativity analysis of heavy metals in the typical industrial area of Baotou city

元素	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Mn	Ni
Cu	1						
Zn	0.452 *	1					
Pb	0.359	0.646 **	1				
Cr	0.603 **	0.423 *	0.287	1			
Cd	0.204	0.089	0.681 **	0.07	1		
Mn	0.514 **	0.704 **	0.376 *	0.548 **	-0.023	1	
Ni	0.233	0.455 *	0.279	0.448 *	0.059	0.422 * 1	

注: “\*”表示在置信度(双测)为 0.05 时, 相关性是显著的; “\*\*”表示在置信度(双测)为 0.01 时, 相关性是较显著的。

本研究选取炼钢、铝业及机械装备制造等重工业企业周边土壤作为研究对象, 划定的研究区域附近存在大型电厂, 因此推断包头市典型工业区土壤重金属富集可能主要与工业生产过程中“三废”的排放、交通运输及燃煤活动有关。首先, 上述工业企业在生产过程中会产生大量含有重金属的粉尘和气溶胶废气, 进入大气后自沉降或随降水沉降进入土壤并产生富集; 而废渣尤其是冶金企业的废渣是金属元素的重要载体, 其自然堆砌过程将通过扬尘或降水使重金属进入周边土壤造成局部重金属含量急剧上升。此外, 交通运输也可能使附近土壤重金属含量升高。研究区域的公路车流量较大, 且主要为装载煤炭及冶金矿石等原料的大型载重汽车, 尾气排放、轮胎以及车辆镀金部分磨损、燃料及润滑油的泄漏<sup>[15]</sup>和货物掉落都能释放出大量含 Cu、Zn、Pb、Cd 等的有害气体、粉尘和废渣, 导致土壤环境中各种重金属富集。需要特别指出的是, 包头作为北方

地区大型高能耗重工业城市,能源消费中煤炭和电力处于绝对优势,且电力的产生也源于燃煤电厂的输出。在采暖期及工业生产过程中需消耗大量煤炭,而煤炭中含有多种有害元素,如 Hg、Se、Pb、Cd、As、Zn、Sb 和 Ti 等<sup>[16]</sup>,这些元素经高温挥发或半挥发并吸附于细颗粒物或气溶胶随之进入大气后沉降进入土壤。相关分析研究中,Cd 仅与 Pb 显著相关而呈现明显的独立性,这可能是由于 Cd 超标主要源于燃煤烟气排放所致。

### 2.3 土壤重金属污染及潜在生态风险评价

包头市典型工业区土壤重金属采用单因子和内梅罗综合污染指数进行污染评价,并用潜在生态风险法对其进行生态风险评价的结果见表3。7种重金属的单因子污染指数大小顺序为: Cd > Pb > Cu > Ni > Zn > Mn > Cr, 污染最严重的 Cd 和 Pb 的单因子污染指数分别为 13.90 和 3.67, 处于重污染等级; Cu、Ni、Zn 的单因子污染指数介于 2~3 之间, 处于中污染等级; Mn、Cr 为轻污染等级。7种重金属内梅罗综合指数为 10.25, 处于重污染, 其单因子潜在生态风险指数大小顺序与污染指数略有不同, 顺序为: Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Mn。这是因为 Cr 潜在生态风险较大, 其毒性系数取值远高于 Zn、Mn 所致; Cd 的单因子潜在生态风险指数(416.99)远远大于其他重金属, 处于极强的潜在生态风险等级, 其他元素均为轻微等级。7种重金属综合潜在生态风险指数为 469.11, 属于强等级, 且由潜在生态风险评价图(图2)可以看出, 研究区大部分处于中级及

以上潜在生态风险等级, 只有小部分的研究区域综合潜在生态风险处于轻度。希望铝业工业区、包头铝业工业区和一机集团工业园区的综合潜在生态风险评价图具有相似的分布趋势, 即靠近居民区、住宅区、道路或农田区域的生态风险等级较强, 说明工业区表层土壤重金属的来源除工业园区外, 还受到周边人为活动的严重影响。

表3 包头市典型工业区污染评级及潜在生态风险评价

Table 3 Pollution index and potential ecological risk of heavy metals in typical industrial area of Baotou city

元素	污染评价		潜在生态风险评价	
	数值	污染等级	数值	风险等级
Cu	2.98	中污染	14.90	轻微
Zn	2.04	中污染	2.04	轻微
Pb	3.67	重污染	18.35	轻微
Cr	1.11	轻污染	2.22	轻微
Cd	13.90	重污染	416.99	极强
Mn	1.60	轻污染	1.60	轻微
Ni	2.60	中污染	13.01	轻微
综合评价	10.25	重污染	469.11	强

综上所述, 包头典型工业区 Cd 污染最为严重, 且极大的贡献率(88.89%)使研究区域土壤整体呈现重污染和强潜在生态风险等级。Cd 为人体非必需重金属元素, 被归为极毒元素, 是优先控制的人类致癌物和食品污染物之一<sup>[17]</sup>。Cd 主要应用于金属防腐镀膜、涂料、塑胶、汽车轮胎、发光元器件和农药化肥等工业生产<sup>[18-19]</sup>。自然土壤中 Cd 含量很低,

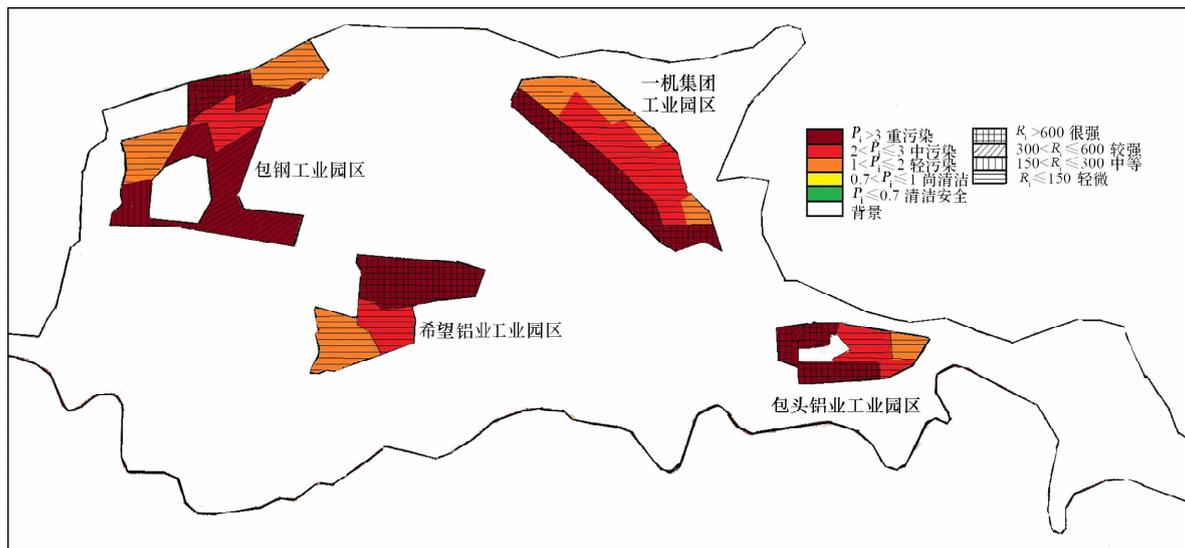


图2 潜在生态风险评价图

Fig.2 Evaluation map using potential risk for heavy metals

土壤 Cd 污染主要是人为源所致,包括有色金属开采及冶炼、化工厂、燃煤、灌溉、施肥等工业和农业活动<sup>[20]</sup>。当环境受到 Cd 污染后可通过食物链进入人体内形成镉硫蛋白,选择性蓄积于肝、肾中,使摄入者出现糖尿、蛋白尿和氨基酸尿及高血压等症<sup>[21]</sup>,尤其使骨骼代谢受阻,造成骨质疏松、萎缩、变形等一系列症状<sup>[22]</sup>,是日本痛痛病的元凶。目前包头市某些靠近工业企业的村落居民已现骨质疏松地方病,这可能与包头市局部地区 Cd 含量超标有关,有待于进一步研究确认。

### 3 结论

对包头市典型工业区土壤中 7 种重金属含量进行测定,并用相关性系数、内梅罗综合污染指数、潜在生态危害指数对土壤重金属污染进行评价。研究表明,重金属含量普遍超标,Pb、Cd 为重度污染,Cu、Zn、Pb、Cr、Cd 和 Mn 具有很强的变异性,人类活动对其干扰强烈,Cu、Zn、Cr、Mn、Ni 可能同时来自工业生产和交通运输两个污染源;而 Pb 和 Cd 除上述来源外,燃煤烟气的排放可能有较大贡献;其中 Cd 的潜在生态风险等级为极强,其他金属均为轻微,因 Cd 的贡献使得该区域土壤重金属总体处于强潜在生态风险等级,故应对 Cd 污染给予高度重视。

### 4 参考文献

- [1] 郭伟,付瑞英,赵仁鑫,等. 内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征[J]. 环境科学,2013,34(5):1895-1900.  
Guo W, Fu R Y, Zhao R X, et al. Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia[J]. Environmental Science,2013,34(5):1895-1900.
- [2] 陈满怀编著. 土壤环境学[M]. 北京:科学出版社,2005:216-273.  
Chen M H. The Soil Environment[M]. Beijing: Science Press,2005:216-273.
- [3] Kimpe C R D, Morel J L. Urban Soil Management: A Growing Concern[J]. Soil Science, 2000, 165(1): 31-40.
- [4] 管东生,陈玉娟,阮国标. 广州城市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 40(4):93-97.  
Guan D S, Chen Y J, Ruan G B. Study on Heavy Metal Concentrations and the Impact of Human Activity on Them in Urban and Suburb Soils of Guangzhou[J]. Acta

Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2001,40(4):93-97.

- [5] Bullock P, Gregory P J. Soil in the Urban Environment Blackwell Scientific Publications [M]. Great Britain: Oxford,1991.
- [6] 李荣华,沈锋,李晓龙,等. 陕西某铅锌冶炼厂区及周边农田重金属污染土壤的稳定化修复理论与实践[J]. 农业环境科学学报,2015,34(7):1269-1276.  
Li R H, Shen F, Li X L, et al. Theoretical Research and Immobilization Practice of Heavy Metal Polluted Soil in a Closed Lead-Zinc Smelter and Surrounding Farmland in Tongguan Shaanxi [J]. Journal of Agro-Environment Science,2015,34(7):1269-1276.
- [7] 宋伟,陈百明,刘琳. 中国耕地土壤重金属污染概况[J]. 水土保持研究,2013,20(2):293-298.  
Song W, Chen B M, Liu L. Soil Heavy Metal Pollution of Cultivated Land in China[J]. Research of Soil and Water Conservation,2013,20(2):293-298.
- [8] 郭伟,孙文惠,赵仁鑫,等. 呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价[J]. 环境科学,2013,34(4):1561-1567.  
Guo W, Sun W H, Zhao R X, et al. Characteristics and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot[J]. Environmental Science, 2013,34(4):1561-1567.
- [9] Hakanson L. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach [J]. Water Research,1980,14(8):975-1001.
- [10] 海米提·依米提,祖皮艳木·买买提,李建涛,等. 焉耆盆地土壤重金属的污染及潜在生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6):1523-1530.  
Hamid Y, Zulpiya M, Li J T, et al. Sources Explanation, Pollution and Assessment of Potential Ecological Hazards of Heavy Metals in the Soils of Yanqi Basin, China[J]. China Environmental Science, 2014, 34(6):1523-1530.
- [11] 喻超,智云宝,代杰瑞,等. 山东省威海市区域地质背景下土壤 Cd 的地球化学特征[J]. 物探与化探, 2014,38(5):1076-1084.  
Yu C, Zhi Y B, Dai J R, et al. Geochemical Characteristics of Cd in Soils Based on Regional Geological Background in Shandong Province [J]. Geophysical & Geochemical Exploration,2014,38(5):1076-1084.
- [12] 韦绪好,孙庆业,程建华,等. 焦岗湖流域农田土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2015,34(12):2304-2311.  
Wei X H, Sun Q Y, Cheng J H, et al. Pollution and

- Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils in Jiaogang Lake Basin, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34 (12): 2304 - 2311.
- [13] 徐友宁,张江华,柯海玲,等. 某金矿区农田土壤镉污染及其环境效应[J]. *中国地质*, 2013, 40(2): 636 - 643.
- Xu Y N, Zhang J H, Ke H L, et al. Cd Contamination of Farmland Soil in a Gold Mining Area and Its Environmental Effects [J]. *Geology in China*, 2013, 40 (2): 636 - 643.
- [14] 雷凌明,喻大松,陈玉鹏,等. 陕西泾惠渠区土壤重金属空间分布特征及来源[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(6): 911 - 915.
- Lei L M, Yu D S, Chen Y P, et al. Spatial Distribution and Sources of Heavy Metals in Soils of Jinghui Irrigated Area of Shaanxi, China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(6): 911 - 915.
- [15] 杨净,王宁. 夹皮沟金矿开采区土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(3): 595 - 600.
- Yang J, Wang N. Assessment of Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Soils from Jia-Pi-Gou Gold Mine Area, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(3): 595 - 600.
- [16] 樊文华,白中科,李慧峰,等. 复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(1): 348 - 354.
- Fan W H, Bai Z K, Li H F, et al. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Reclaimed Soils [J]. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(1): 348 - 354.
- [17] 徐铭焱,林涛,余爱华,等. 南京市不同功能区路域表土重金属污染评价及相关性分析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2014, 38(6): 65 - 71.
- Xu M H, Lin T, Yu A H, et al. Assessment and Correlation Analysis on Heavy Metals Contamination in Urban Road Topsoils of Different City Zones in Nanjing [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences)*, 2014, 38(6): 65 - 71.
- [18] 王济,张浩,曾希柏,等. 贵阳市城区土壤重金属分布特征及污染评价[J]. *土壤*, 2010, 42(6): 928 - 934.
- Wang J, Zhang H, Zeng X B, et al. Distribution and Pollution Assessment on Heavy Metals in Urban Soils of Guiyang [J]. *Soils*, 2010, 42(6): 928 - 934.
- [19] Lu X, Wang L, Kai L, et al. Contamination Assessment of Copper, Lead, Zinc, Manganese and Nickel in Street Dust of Baoji, NW China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161(2-3): 1058 - 1062.
- [20] Martin C W. Heavy Metal Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill, River Lahn, Germany [J]. *Catena*, 2000, 39(1): 53 - 68.
- [21] 冯新斌,倪建宇,洪业汤,等. 贵州省煤中挥发性和半挥发性微量元素分布规律的初步研究[J]. *环境化学*, 1998, 17(2): 148 - 153.
- Feng X B, Ni J Y, Hong Y T, et al. A Preliminary Study on the Distribution Laws of Some Volatile Trace Elements in Coal of Guizhou Province [J]. *Environmental Chemistry*, 1998, 17(2): 148 - 153.
- [22] 李一蒙,马建华,刘德新,等. 开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. *环境科学*, 2015, 36(3): 1037 - 1044.
- Li Y M, Ma J H, Liu D X, et al. Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risks of Urban Soils in Kaifeng City, China [J]. *Environmental Science*, 2015, 36(3): 1037 - 1044.

# Heavy Metal Pollution in Topsoil from the Baotou Industry Area and Its Potential Ecological Risk Evaluation

SUN Peng<sup>1</sup>, LI Yan-wei<sup>1</sup>, ZHANG Lian-ke<sup>1\*</sup>, LI Yu-mei<sup>1</sup>, WANG Wei-da<sup>1</sup>, YU Wei-jia<sup>2</sup>

(1. School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;

2. Baotou Radiation Environment Management Office, Baotou 014010, China)

**Abstract:** In order to understand the effect of industrial pollution in the Baotou industrial areas on heavy metal content in soils, correlation analysis was used to study the source of Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Mn, and Ni. The heavy metal pollution in the soils was assessed using the methods of Nemerow index and Hakanson's ecological risk index. The results show that the contents of these seven heavy metals are higher than the background values of soils in Inner Mongolia. The exceeding ratios of Cd, Mn, Ni contents in soil are 100%, and Cu, Pb, Zn, Cr were 97%, 93%, 93%, 53%, respectively. The pollution degree of single elements showed the order of Cd > Pb > Cu > Ni > Zn > Mn > Cr. Pb and Cd are strong pollution elements, whereas Cu, Zn, Ni are moderate pollution elements, Cr, Mn are minor pollution elements. The main sources of heavy metals (Cu, Zn, Cr, Mn, Ni) in soils of the industrial district were industrial pollutant discharge and transportation. Excluding the two sources mentioned previously, Pb and Cd are mainly attributed to the emissions of coal-fired flue gas. The potential ecological risk has the order of Cd > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Mn. Among them, Cd is the most harmful heavy metal pollutant and should be addressed.

**Key words:** typical industrial area; heavy metals; pollution evaluation; source analysis; Baotou city

本文引用格式: 孙鹏, 李艳伟, 张连科, 等. 包头市典型工业区表层土壤中重金属污染状况及其潜在生态风险研究[J]. 岩矿测试, 2016, 35(4): 433-439.

SUN Peng, LI Yan-wei, ZHANG Lian-ke, et al. Heavy Metal Pollution in Topsoil from the Baotou Industry Area and Its Potential Ecological Risk Evaluation [J]. Rock and Mineral Analysis, 2016, 35(4): 433-439. DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2016.04.016.