

矿区农田土壤重金属分布特征与污染风险研究*

庞妍 同延安 梁连友 侯廷渝 高义民

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 对渭北旱原矿区 130 个农田土壤样品的 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 含量进行了测定,结果显示,Cd、Cu、Pb 平均含量均高于陕西省土壤背景值,而 Cr 和 Zn 含量低于背景值。利用地统计方法得到的土壤重金属含量分布图显示,土壤各重金属含量由西向东呈下降趋势,水泥厂周边土壤重金属含量最高。相关性分析和主成分分析结果表明,5 种重金属之间呈极显著正相关,说明其存在较高的同源性或复合关系。第 1 主成分主要由 Cd 构成,且主要反映了人为活动的影响,而第 2 主成分中的 Cr 所占负荷最高,体现了成土母质的作用,Cu、Pb 和 Zn 含量受人为活动和成土母质共同影响。分别利用污染负荷指数(PLI)法和潜在生态危害指数(PER)法对研究区域土壤污染风险进行了评价,评价结果为煤矿区呈无污染或轻做到中度污染,水泥厂区土壤呈中度污染水平,单一元素污染程度由高到低依次为 Cd、Pb、Cu、Cr、Zn。

关键词: 矿区 农田重金属 污染负荷指数 潜在生态危害指数

中图分类号: X825 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0165-07

引言

煤矿开采和水泥生产可能带来重金属污染风险。有研究显示^[1-4],煤矿开采产生的酸性废水中重金属含量很高,并会对周围土壤和水体造成污染。王丽等^[5]对神木 3 个煤矿区土壤重金属污染情况进行了研究,结果表明 3 个煤矿周围土壤中重金属元素污染程度基本一致,从大到小依次为 Cd、Ni、Cr、Mn、Cu。张锂等^[6]对兰州不同年限煤矿土壤测定后,发现矿区土壤重金属呈现一定的富集,其中 Cd 呈显著污染;Pb、Zn 呈中度污染。可见长期的矿业开采活动可造成周围土壤重金属累积性污染。另外,以石灰石煅烧生产水泥的过程中重金属逸放率可达 63% ~ 90%^[7-8]。水泥厂排放的灰分和废渣中含有 Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 等重金属,并会随风和雨水降落到远方,水泥厂周围表层及下层土壤的重金属含量高于对照区,受到不同程度的污染^[9-12]。由此可见,水泥厂是 Pb、Zn、Cd、Cr 等重金属的重要污染源,并对周围居民造成健康威胁^[13]。

渭北旱原位于陕西省关中平原向陕北黄土高原过渡地带,由于煤炭和石灰石资源丰富,该区成为陕西省重要的煤炭和水泥生产区,同时,该区还分布着大量农田,这就为当地土壤和农作物生产带来了重

金属污染风险,但是针对该区土壤重金属污染现状的研究少有报道。因此,对当地土壤重金属污染水平做出评价,并分析污染特征和来源是急需解决的问题。本文以渭北旱原矿区农田为例,分析矿区土壤重金属分布特征、污染范围和污染源,并分别采用污染负荷指数法和潜在生态危害指数法对土壤重金属污染水平进行综合评价,用当地土壤背景值作为评价标准,以期得到更为准确的评价结果,为矿区农田环境保护和重金属污染防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样区域概况

采样区域为陕西省渭北旱原煤矿和石灰石矿区,包括陕西省渭南市和铜川市的多个县级行政区,地处黄土高原沟壑区,年降水量 550 ~ 730 mm,属半湿润易旱区,大陆性季风气候,盛行风向为西北风,土壤类型以黄绵土为主,土壤呈碱性。本试验采样点如图 1 所示,以渭北旱原地区主要的大型煤矿和水泥厂等工矿企业为中心,由近及远扩散布点,采样点主要设置在海拔高度 800 ~ 1 400 m 的苹果园、玉米地等农田中。

1.2 样品采集及处理

本试验利用全球定位系统(GPS)确定农田采样

收稿日期: 2014-03-02 修回日期: 2014-04-12

* 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203045)

作者简介: 庞妍,博士生,主要从事土壤重金属修复、施肥与环境研究,E-mail: py1986-11-10@163.com

通讯作者: 同延安,教授,博士生导师,主要从事土壤化学、施肥与环境 and 农业生态研究,E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

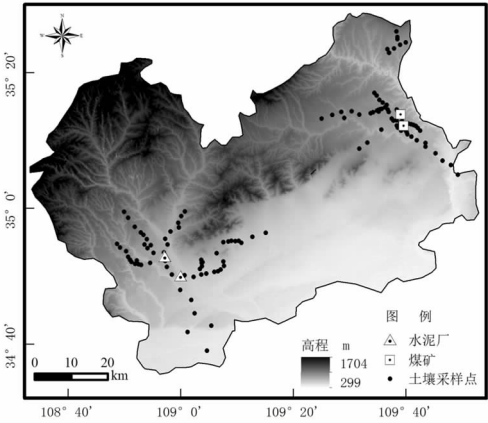


图 1 采样点分布图

Fig.1 Elevation map and sampling sites in study area

点,共确定 130 个采样地块,每个地块分别采集 0 ~ 10 cm 土层的混合土样,经除杂、风干、过筛后,准确称取过 100 目筛土样 0.250 0 g(精确到 0.000 1 g),采用 $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HF}$ 混合酸消解法测定 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 含量,并增加标准样和空白样与土样进行相同操作以保证测定结果的可靠性,所用酸均为优级纯,消解后用高纯水定容,再用 ICP-AES 测定。

1.3 数据处理与图形制作

土壤重金属含量分析与评价采用 Excel 2007 软件处理,重金属相关性分析和主成分分析采用软件 SPSS 16.0 处理,利用地统计软件 ARCGIS 9.3 制作土壤重金属含量分布图。

1.4 土壤重金属污染风险评价方法

目前国内最常用的土壤重金属污染评价方法是单因子污染指数法和综合污染指数法^[14-16],这种方法通常采用《国家土壤环境质量标准》中Ⅱ级标准作为参比值,但是由于各个地区土壤背景值具有差异性,采用统一标准可能造成有些地区土壤背景值很低,经过长年累积虽然未达到污染阈值,仍存在污染风险。例如,根据该标准,在 pH 值大于 7.5 的土壤中 Cr 质量比限值为 250 mg/kg,但有研究表明^[17],在碱性条件下,有利于六价铬的形成,且当土壤中总铬在 75 mg/kg 以上时,即可对植物造成毒害,显然在 pH 值大于 7.5 的土壤中 Cr 的阈值偏高。而有些地区的土壤背景值偏高,即使没有受到人为污染也接近临界值。另一种常用的评价方法是地累积指数法^[18],该方法采用当地土壤重金属背景值作为参比值,并考虑到成岩作用可能引起背景值波动而设定了常数,但它只是针对单一元素的污染水平进行评价,不能进行多元素综合评价。

本研究采用污染负荷指数(Pollution load index, PLI)法和潜在生态危害指数(Potential ecological

risk index, PER)法进行土壤污染风险评价,并以陕西省土壤背景值作为参比值。

污染负荷指数是由 Tomlinson 于 1980 年提出的,由评价区域所包含的多种重金属成分共同构成。该方法不仅可以反映单个采样点的重金属污染程度,而且可以对某一区域的土壤污染状况进行评价^[19-21]。

某一点的污染负荷指数计算公式为

$$P = \sqrt[m]{C_{f1} C_{f2} C_{f3} \cdots C_{fm}} \tag{1}$$

其中 $C_{fi} = C_i / C_{0i}$ ($i = 1, 2, \cdots, m$)

式中 C_{fi} ——重金属 i 的污染系数

C_i ——土壤重金属 i 的测定值

C_{0i} ——重金属 i 的参比值,采用陕西省土壤背景值(A 层)

m ——参与评价的重金属种类数

某一区域的污染负荷指数计算公式为

$$P_a = \sqrt[n]{P_1 P_2 P_3 \cdots P_n} \tag{2}$$

式中 P_a ——某污染区域的污染负荷指数

n ——该污染区域所含采样点数

PLI 等级划分标准为: $P < 1$ 时表示无污染; $1 \leq P < 2$ 为中等污染; $2 \leq P < 3$ 为强污染; $P \geq 3$ 为极强污染。

潜在生态危害指数法是 1980 年由瑞典科学家 Hakanson 提出的,主要用于土壤重金属潜在生态风险的评价,特点是综合考虑了多元素的浓度、毒性水平、生态敏感性以及协同作用,是一种应用相对广泛的潜在生态风险评价方法^[22-26]。其计算公式为

$$E_{ri} = T_{ri} \frac{C_i}{C_{0i}} \tag{3}$$

$$R = \sum E_{ri} \tag{4}$$

式中 E_{ri} ——土壤中某一重金属元素的潜在生态危害系数

T_{ri} ——单一重金属元素的毒性响应系数,Cd、Cu、Pb、Cr、Zn 分别取 30、5、5、2、1^[23]

R ——土壤中重金属的潜在生态危害指数

E_{ri} 和 R 的评价标准: $E_{ri} < 40$ 或 $R < 150$ 为轻微污染; $40 \leq E_{ri} < 80$ 或 $150 \leq R < 300$ 为中等污染; $80 \leq E_{ri} < 160$ 或 $300 \leq R < 600$ 为强污染; $160 \leq E_{ri} < 320$ 或 $R \geq 600$ 为很强污染; $E_{ri} \geq 320$ 为极强污染。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量及分布特征

研究区域土壤重金属含量(质量比)见表 1。土壤中 Cd、Cu 和 Pb 平均含量分别高于陕西省土壤(A

层)背景值 84.48%、19.81% 和 55.22%，而土壤 Cr 和 Zn 平均含量低于背景值。各重金属含量变异很大,表 1 中 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 所对应的变异系数分别为 75.143%、30.798%、32.148%、56.107%、27.238%，这可能是采样点所在区域工矿企业类型、分布、农田施肥情况和车流量等差异造成的。

表 1 背景值与土壤测定值比较

Tab.1 Background and soil sample values of heavy metal contents					
mg/kg					
参数	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
测定值	0.181	61.902	25.639	33.217	64.025
标准差	0.136	19.065	8.242	18.637	17.439
最大值	0.698	131.686	72.088	189.523	148.253
最小值	0.022	19.466	13.983	4.280	38.252
中值	0.136	60.992	23.853	30.115	60.408
陕西省背景值 ^[27]	0.094	62.500	21.400	21.400	69.400

由土壤重金属含量分布图(图 2)可以看出,研

究区域土壤重金属含量由西向东呈递减趋势,西部地区工矿企业以水泥厂为主,其周边土壤重金属含量最高,且随离水泥厂距离的增加而减少。水泥厂周边 10 km 范围内污染最为严重,甚至影响到 25 km 以外区域,这主要是因为水泥生产中产生的窑灰重金属含量较高,且烟尘粒径越小,烟气中重金属的冷凝黏附能力越强,如窑灰没有及时合理处理,即会随风扩散落到地表^[12]。而东部地区工矿企业以煤矿为主,其造成污染的原因主要是生产中排放的酸性废水和煤矸石,其中重金属含量较高^[28-29],经过长期风化产生的扬尘以及雨水淋溶作用会使重金属在土壤中逐渐富集^[30]。但本研究区域除有两个大型煤场外,还分布着很多小煤场,煤矸石堆较小且移动性大,因此煤矸石风化和淋溶作用的影响在时间和空间上都是大尺度的,因此土壤重金属含量总体低于水泥厂周边,且随与煤矿距离的增加呈不太明显的下降趋势。

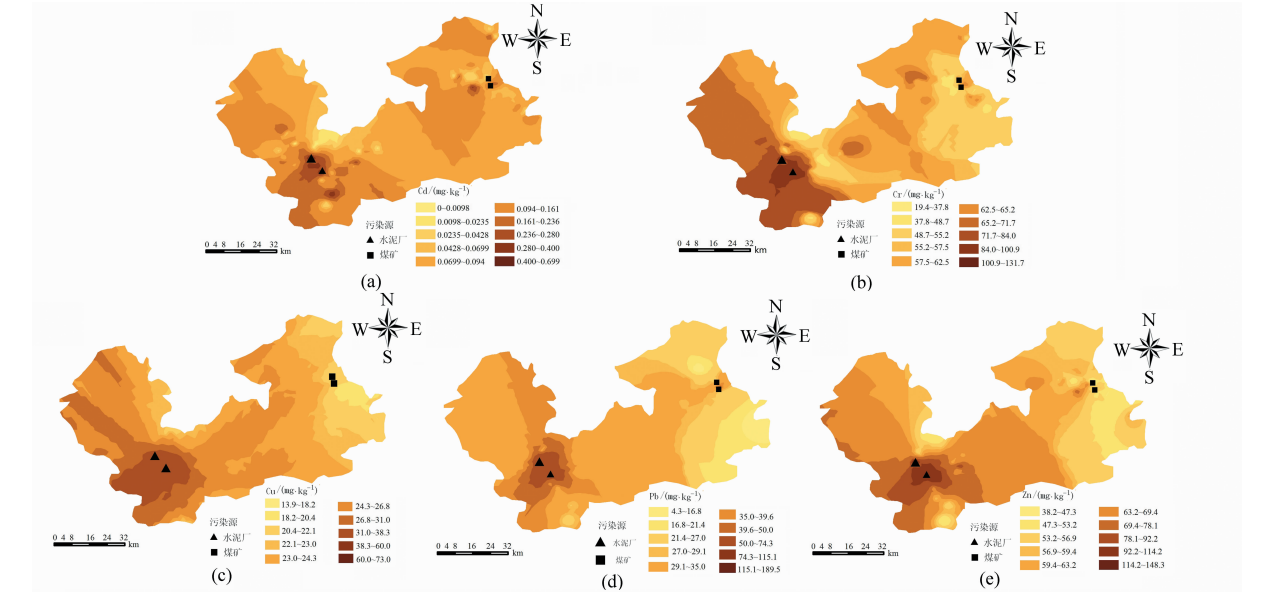


图 2 土壤重金属水平分布特征

Fig.2 Horizontal distributions of heavy metals in soils

(a) Cd (b) Cr (c) Cu (d) Pb (e) Zn

2.2 土壤重金属主成分分析

土壤重金属元素之间往往具有伴生或同源关系,由表 2 可以看出,5 种元素间均呈极显著正相关,说明元素间具有同源或复合关系^[31],其中 Cu 和 Zn 相关性最高,即具有较高的同源性,而 Cd、Cr 和 Pb 彼此间相关性较弱,说明这三者来源存在复合关系。

主成分分析是根据多个实测变量之间的相互关系,运用数学变换,将多个变量转变为少数几个线性综合指标,从而简化数据处理,目的是用较少的因子来说明众多变量之间因果关系。因子旋转前后,每个变量因子负荷代表着在系统中作用或重要性程

表 2 土壤重金属相关性分析

Tab.2 Correlation coefficients of heavy metal contents in soils					
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
Cd	1.000 0				
Cr	0.502 8 **	1.000 0			
Cu	0.704 3 **	0.695 7 **	1.000 0		
Pb	0.593 3 **	0.576 7 **	0.765 7 **	1.000 0	
Zn	0.793 4 **	0.629 7 **	0.916 8 **	0.679 9 **	1.000 0

注: ** 表示 $P < 0.01$, 元素间为极显著相关关系。

度,因子负荷的绝对值越大,表明该因子与变量关系越紧密^[32-33]。主成分分析结果显示(表 3 和表 4),

第 1 主成分和第 2 主成分的累积方差达到 85.694%,可反映 5 种重金属主要来源,其中第 1 主成分贡献率为 75.096%,说明该因子对研究区域重金属来源具有决定性作用。Cu、Pb 和 Zn 均在第 1 主成分中占有绝对高负荷,Cr 在第 1 主成分和第 2

主成分因子中所占负荷较接近,而旋转后 Cd 和 Cr 分别在第 1 主成分和第 2 主成分因子中占最高负荷,Cu、Pb 和 Zn 在第 1 主成分和第 2 主成分因子中所占负荷相当。

表 3 主成分特征值分析
Tab.3 Eigenvalues of factors for studied region

因子	初始特征值			提取后特征值			交换后特征值		
	特征值	解释方差	累积方差	特征值	解释方差	累积方差	特征值	解释方差	累积方差
1	3.755	75.096	75.096	3.755	75.096	75.096	2.522	50.448	50.448
2	0.530	10.598	85.694	0.530	10.598	85.694	1.762	35.246	85.694
3	0.405	8.091	93.785						
4	0.255	5.105	98.890						
5	0.056	1.110	100.000						

表 4 主成分负荷
Tab.4 Component matrixes

元素	旋转前		旋转后	
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 1 主成分	第 2 主成分
Cd	0.832	-0.406	0.905	0.195
Cr	0.768	0.568	0.253	0.922
Cu	0.951	0.006	0.743	0.593
Pb	0.837	0.083	0.606	0.583
Zn	0.932	-0.188	0.848	0.429

结合表 1 中各重金属的变异系数分析,第 1 主成分中的 Cd 变异性较大,且高值区主要分布在水泥厂附近,因此推断第 1 主成分为工矿企业排放的“三废”、交通运输和农田施肥等人为活动;第 2 主成分贡献率为 10.6%,在 Cr 上负荷最高,由于土壤 Cr 区域性分布和大范围内的变异主要受成土母质控制^[29],故第 2 主成分基本反映的是成土母质对其影响。Cu、Pb 和 Zn 在第 1 主成分和第 2 主成分中所占负荷相差不大,即人为活动和成土母质共同影响其含量。

2.3 土壤重金属污染风险评价

根据土壤重金属水平分布特征图和主成分分析结果可知,研究区域东部和西部由于工矿企业类型

和分布等不同,导致土壤重金属污染程度存在明显差异,因此将研究区域划分成煤矿区和水泥厂区,并分别用 PLI 法和 PER 法进行土壤重金属污染风险评价,以便得出更准确的评价结果。

基于污染负荷指数法计算得到研究区域土壤重金属污染水平如图 3 所示。煤矿区和水泥厂区土壤各元素的污染系数平均值由高到低依次为: Cd、Pb、Cu、Cr、Zn。重金属污染程度的不同,说明它们在土壤中赋存特征和迁移规律存在差异^[34],或者与外源重金属的含量差异有关,例如,水泥窑分立窑、湿法回转窑和新型干法窑等类型,无论是哪种类型的水泥窑,在煅烧水泥的过程中都会产生 Cd、Pb、Zn 和 Cu 等重金属的逸放,Cd 和 Pb 逸放率为 39% ~ 90%,而 Zn 和 Cu 逸放率为 15% ~ 47%,远低于 Cd 和 Pb^[7]。另外,渭北旱原地区成土母质中 Cd 含量很低,而工矿企业生产中使用的原料、添加物、废弃物和大型货运车辆产生的尾气,以及肥料中都含有一定的 Cd^[35-37],导致 Cd 富集程度较高。煤矿区 P 范围在 0.69 ~ 1.46 之间,呈无污染到中等污染水平;水泥厂区土壤 P 在 0.70 ~ 3.87 之间,呈无污染到极强污染。根据图 3 可知,煤矿区土壤总体呈清洁状态,但区域污染负荷指数 P_e 已接近 1,其污染不

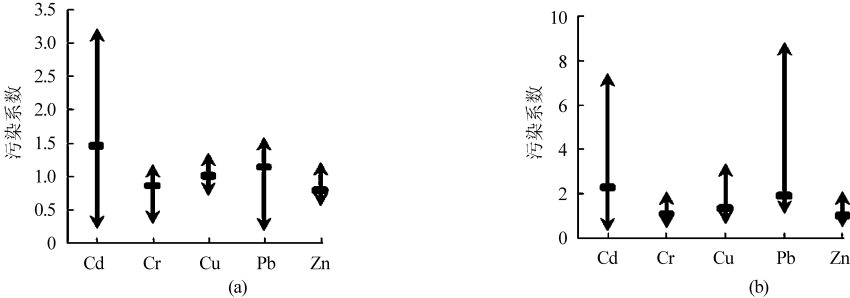


图 3 煤矿区和水泥厂区土壤重金属污染系数
Fig.3 Pollution load index of coal mine area and cement factory area
(a) 煤矿区 (b) 水泥厂区

可忽视;水泥厂区土壤污染负荷指数变异较大,总体呈中度污染水平。

根据 Hakanson 的潜在生态危害指数法计算得到评价区域潜在生态危害等级(图 4)。煤矿区 and 水泥厂区土壤潜在生态危害指数分别为 39.95 和 66.37,接近或相当于中等污染水平,两区域土壤各

元素的潜在生态危害系数由高到低依次为: Cd、Pb、Cu、Cr、Zn。5 种元素中 Cd 的毒性系数为 30,远高于其他元素,且 Cd 测定值与其背景值之比最大,因此其潜在生态危害系数最高,达中等危害程度。虽然其他元素未造成污染,但总体来看,煤矿区和水泥厂区土壤分别呈轻度-中度污染和中等污染水平。

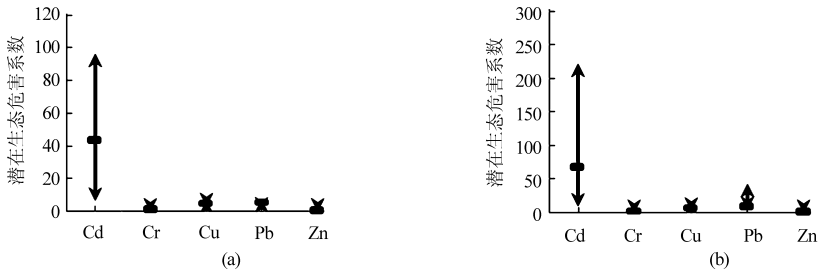


图 4 煤矿区和水泥厂区土壤重金属潜在生态危害系数
Fig. 4 Potential ecological risk index of coal mine area and cement factory area
(a) 煤矿区 (b) 水泥厂区

将污染负荷指数(PLI)法和潜在生态危害指数(PER)法进行比较可知,PLI 法可以同时评价土壤多种重金属元素的综合污染负荷,并可对某一流域或区域的污染负荷进行评价;而 PER 主要特点是在综合多种元素浓度特征的同时,突出了各元素的毒性水平。从评价结果来看,PLI 法评价的煤矿区土壤呈无污染状态,而 PER 法得出的结果为轻微至中等污染水平,PLI 法和 PER 法对水泥厂区土壤的评价结果均为中等污染水平,说明 2 种方法在污染较严重的情况下,评价结果相似,而对于污染较轻微的地区,PLI 法可能会低估毒性大、含量低的元素的污染程度,如 Cd。目前对于土壤重金属污染评价并没有统一的标准方法,因此采用何种评价方法,需要根据评价区域的污染元素种类、浓度等做适当选择。

3 结论

(1)渭北旱原工矿区农田土壤重金属呈现不同程度的富集。Cd、Cu 和 Pb 平均含量分别高于陕西省土壤背景值 84.48%、19.81% 和 55.22%,而土壤 Cr、Zn 平均含量低于土壤背景值,这可能是采样点

所在区域工矿企业类型、分布、农田施肥情况和车流量等差异造成的。

(2)研究区域土壤重金属分布特征为由西向东呈递减趋势,水泥厂周边土壤重金属含量最高,且周边 10 km 范围内污染最为严重。煤矿开采对当地及周边地区土壤重金属积累不明显。

(3)土壤重金属之间均呈极显著正相关关系,其中 Cu 和 Zn 相关性最高,即具有较高同源性,而 Cd、Cr 和 Pb 彼此间相关性较弱,说明三者来源存在复合关系。主成分分析表明,第 1 主成分中 Cd 负荷最高,主要受工矿企业排放的“三废”、交通运输、施肥等人为活动影响;Cr 在第 2 主成分中负荷最高,主要受成土母质及其风化物影响;Cu、Pb 和 Zn 受人为活动和成土母质共同影响。

(4)污染负荷指数评价结果表明煤矿区和水泥厂区分别为无污染和中等污染;潜在生态危害指数评价结果表明煤矿区和水泥厂区分别为轻微至中等污染和中等污染,单一元素的污染程度由高到低依次为: Cd、Pb、Cu、Cr、Zn,其中 Cd 的潜在生态危害系数达到中等污染水平,其他元素未造成污染。

参 考 文 献

- 1 Gammons C H, Duaime T E, Parker S R, et al. Geochemistry and stable isotope investigation of acid mine drainage associated with abandoned coal mines in central Montana, USA[J]. Chemical Geology, 2010, 269(1-2): 100-112.
- 2 Bhuiyan M A H, Parvez L, Islam M A, et al. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173(1-3): 384-392.
- 3 Das B K, Roy A, Koschorreck M, et al. Occurrence and role of algae and fungi in acid mine drainage environment with special reference to metals and sulfate immobilization[J]. Water Research, 2009, 43(4): 883-894.
- 4 Blodau C. A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds [J]. Science of the Total Environment, 2006, 369(1-3): 307-332.
- 5 王丽,王力,和文祥,等. 神木煤矿区土壤重金属污染特征研究[J]. 生态环境学报,2011,20(8-9):1343-1347.
Wang Li, Wang Li, He Wenxiang, et al. Contaminate characteristic of heavy metals in soils in Shenmu mining area[J]. Ecology

- and Environmental Sciences, 2011, 20(8-9):1343-1347. (in Chinese)
- 6 张锂, 韩国才, 陈慧, 等. 黄土高原煤矿区煤矸石中重金属对土壤污染的研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33(10):1141-1146.
Zhang Li, Han Guocai, Chen Hui, et al. Study on heavy metal contaminants in soil come from coal mining spoil in the Loess Plateau[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(10):1141-1146. (in Chinese)
- 7 苏达根, 林少敏. 水泥窑铅镉等重金属的污染及防治[J]. 硅酸盐学报, 2007, 35(5):558-562.
Su Dagen, Lin Shaomin. Pollution and prevention of heavy metals such as lead and cadmium in cement kilns[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2007, 35(5):558-562. (in Chinese)
- 8 林少敏, 黄利榆. 利用废弃物煅烧水泥时重金属 Pb、Cd 的逸放污染[J]. 生态环境学报, 2010, 19(1):77-80.
Lin Shaomin, Huang Liyu. Emission pollution of heavy metals Pb and Cd during cement calcinations by utilizing waste materials[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(1):77-80. (in Chinese)
- 9 Yu Qijun, Nagataki S, Lin Jinmei, et al. The leachability of heavy metals in hardened fly ash cement and cement-solidified fly ash[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(6):1056-1063.
- 10 Al-Khashman O A, Shawabkeh R A. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan [J]. Environmental Pollution, 2006, 140(3):387-394.
- 11 Bertoldi M, Borgini A, Tittarelli A, et al. Health effects for the population living near a cement plant: an epidemiological assessment[J]. Environment International, 2012, 41:1-7.
- 12 Bermudez G M A, Moreno M, Invernizzi R, et al. Heavy metal pollution in topsoils near a cement plant: the role of organic matter and distance to the source to predict total and HCl-extracted heavy metal concentrations [J]. Chemosphere, 2010, 78(4):375-381.
- 13 Ogunbileje J O, Sadagoparamanujam V M, Anetor J I, et al. Lead, mercury, cadmium, chromium, nickel, copper, zinc, calcium, iron, manganese and chromium (VI) levels in Nigeria and United States of America cement dust[J]. Chemosphere, 2013, 90(11):2743-2749.
- 14 董霁红, 于敏, 程伟, 等. 矿区复垦土壤种植小麦的重金属安全性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12):280-286.
Dong Jihong, Yu Min, Cheng Wei, et al. Safety of heavy metals pollution for wheat planted in reclaimed mining soil[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12):280-286. (in Chinese)
- 15 陈京都, 戴其根, 许学宏, 等. 江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价[J]. 生态学报, 2012, 32(11):3487-3496.
Chen Jingdu, Dai Qigen, Xu Xuehong, et al. Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11):3487-3496. (in Chinese)
- 16 陆安祥, 王纪华, 潘瑜春, 等. 小尺度农田土壤中重金属的统计分析与空间分布研究[J]. 环境科学, 2007, 28(7):1578-1583.
Lu Anxiang, Wang Jihua, Pan Yuchun, et al. Multivariate geostatistical and GIS-based approach to study the spatial distribution of soil heavy metals in field scale[J]. Environmental Science, 2007, 28(7):1578-1583. (in Chinese)
- 17 戴宇, 杨重法, 郑袁明. 土壤-植物系统中铬的环境行为及其毒性评价[J]. 环境科学, 2009, 30(11):3432-3440.
Dai Yu, Yang Zhongfa, Zheng Yuanming. A Review on the environmental behaviors and toxicity assessment of chromium in soil plant systems[J]. Environmental Science, 2009, 30(11):3432-3440. (in Chinese)
- 18 于云江, 胡林凯, 杨彦, 等. 典型流域农田土壤重金属污染特征及生态风险评价[J]. 环境科学研究, 2010, 23(12):1523-1527.
Yu Yunjiang, Hu Linkai, Yang Yan, et al. Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in farmland soils of a typical basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2010, 23(12):1523-1527. (in Chinese)
- 19 王博, 夏敦胜, 余晔, 等. 兰州城市表层土壤重金属污染的环境磁学记录[J]. 科学通报, 2012, 57(32):3078-3089.
Wang Bo, Xia Dunsheng, Yu Ye, et al. Magnetic records of heavy metal pollution in urban topsoil in Lanzhou, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(32):3078-3089. (in Chinese)
- 20 Suresh G, Sutharsan P, Ramasamy V, et al. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012, 84:117-124.
- 21 Caeiro S, Costa M H, Ramos TB, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach[J]. Ecological Indicators, 2005, 5(2):151-169.
- 22 姜菲菲, 孙丹峰, 李红, 等. 北京市农业土壤重金属污染环境风险等级评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8):330-337.
Jiang Feifei, Sun Danfeng, Li Hong, et al. Risk grade assessment for farmland pollution of heavy metals in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8):330-337. (in Chinese)
- 23 张菊, 陈诗越, 邓焕广, 等. 山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价[J]. 生态学报, 2012, 32(10):3144-3153.
Zhang Ju, Chen Shiyue, Deng Huanguang, et al. Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10):3144-3153. (in Chinese)
- 24 Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- 25 Yi Yujun, Yang Zhifeng, Zhang Shanghong. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin[J]. Environmental Pollution, 2011, 159(10):2575-2585.
- 26 陈景辉, 卢新卫, 翟萌. 西安城市路边土壤重金属来源与潜在风险[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7):1810-1816.
Chen Jinghui, Lu Xinwei, Zhai Meng. Sources and potential risk of heavy metals in roadside soils of Xi'an City[J]. Chinese

Journal of Applied Ecology, 2011,22(7):1810 – 1816. (in Chinese)

27 国家环境保护局. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

28 杨建,陈家军,王心义,等. 演马矿煤矸石堆周围环境中重金属分布特征[J]. 环境科学研究,2008,21(1):90 – 96.
Yang Jian, Chen Jiajun, Wang Xinyi, et al. Heavy metal concentrations distribution around the coal gangue pile of Yanma mine [J]. Research of Environmental Sciences,2008,21(1):90 – 96. (in Chinese)

29 冯启言,刘桂建. 兖州煤田矸石中的微量有害元素及其对土壤环境的影响[J]. 中国矿业,2002,11(1):67 – 69.
Feng Qiyang, Liu Guijian. Harmful microelements contained in gangue from Yanzhou coal mine and their influences to the soil [J]. China Mining Magazine,2002,11(1):67 – 69. (in Chinese)

30 Hamiani O El, Khalil H El, Lounate K, et al. Toxicity assessment of garden soils in the vicinity of mining areas in Southern Morocco[J]. Journal of Hazardous Materials,2010,177(1 – 3):755 – 761.

31 孙华,毛小军. 诸暨湮浦铜矿区土壤重金属空间变异分析[J]. 农业环境科学学报,2008,27(6):2178 – 2182.
Sun Hua, Mao Xiaojun. The heavy metal’s spatial variation of Zhuji Lipu copper mining area[J]. Journal of Agro-Environment Science,2008,27(6):2178 – 2182. (in Chinese)

32 李瑞平,郝英华,李光德,等. 泰安市农田土壤重金属污染特征及来源解析[J]. 农业环境科学学报,2011,30(10):2012 – 2017.
Li Ruiping, Hao Yinghua, Li Guangde, et al. Characteristics and sources analysis of soil heavy metal pollution in Taian City, Shandong, China[J]. Journal of Agro-Environment Science,2011,30(10):2012 – 2017. (in Chinese)

33 王雄军,赖健清,鲁艳红,等. 基于因子分析法研究太原市土壤重金属污染的主要来源[J]. 生态环境,2008,17(2):671 – 676.
Wang Xiongjun, Lai Jianqing, Lu Yanhong, et al. Main source of soil heavy metal pollution based on factor analysis in Taiyuan [J]. Ecology and Environment,2008,17(2):671 – 676. (in Chinese)

34 庞凤,李廷轩,王永东,等. 县域农田土壤铜、锌、铬含量空间变异特征及其影响因子分析[J]. 中国农业科学,2010,43(4):737 – 743.
Pang Su, Li Tingxuan, Wang Yongdong, et al. Spatial variability and influencing factors of the concentrations of Cu, Zn, and Cr in cropland soil on county scales[J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(4):737 – 743. (in Chinese)

35 Yang Zhongping, Lu Wenxi, Long Yuqiao, et al. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2011,108(1):27 – 38.

36 Schuhmacher M, Domingo J, Garreta J. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood[J]. Environmental Research, 2004,95(2):198 – 206.

37 朱建春,李荣华,张增强,等. 陕西规模化猪场猪粪与饲料重金属含量研究[J]. 农业机械学报,2013,44(11):98 – 104.
Zhu Jianchun, Li Ronghua, Zhang Zengqiang, et al. Heavy metal contents in pig manure and feeds under intensive farming and potential hazard on farmlands in Shaanxi Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2013,44(11):98 – 104. (in Chinese)

Distribution of Farmland Heavy Metals and Pollution
Assessment in Mining Area

Pang Yan Tong Yan’an Liang Lianyou Hou Tingyu Gao Yimin
(College of Nature Resource and Environment , Northwest A&F University , Yangling , Shaanxi 712100 , China)

Abstract: 130 soil samples from farmlands in Weibei dry-land mining area were collected and analyzed for the content of Cd, Cr, Cu, Pb, Zn. The results indicated that the average contents of Cd, Cu, Pb were higher than those of Shaanxi Province soil background, while Cr and Zn contents were lower than those. The geostatistical analysis results suggested that the heavy metal contents decreased from west to east, and had the highest contents all around cement factory. There were significantly positive correlation among Cd, Cr, Cu, Pb and Zn. The principal component analysis was applied to estimate the sources of heavy metals. Cd in factor 1 was associated with anthropogenic activities, whereas Cr in factor 2 was mainly controlled by parent material, Cu,Pb and Zn were affected by both two factors. The quality of soils were evaluated with pollution load index (PLI) and potential ecological risk index (PER), respectively. The results show that coal mine area was clean or slightly to moderately polluted, while the cement factory area was moderately polluted. Heavy metals in soil were ranked by pollution index as Cd, Pb,Cu,Cr,Zn.

Key words: Mining area Farmland heavy metals Pollution load index Potential ecological risk index