

干旱区典型露天煤矿区重金属含量水平及污染评价

——以神华准能黑岱沟露天煤矿为例

王贵¹, 段丽丽¹, 张庆辉² (1. 鄂尔多斯职业学院, 内蒙古鄂尔多斯 017000; 2. 包头师范学院, 内蒙古包头 014030)

摘要 重金属污染事件导致土壤重金属污染备受关注, 污染检测与防治刻不容缓。以黑岱沟矿区土壤为对象, 研究土壤重金属 Cu、Cr、Pb、Zn 和 Cd 含量特征, 并进行土壤环境污染评价。结果显示, 土壤中 Pb 和 Cd 含量较低, 没有明显污染; 而 Cu 和 Zn 含量高于所有参考值, 显示一定程度的污染。

关键词 黑岱沟; 露天煤矿; 土壤; 重金属; 环境评价

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)35-13706-03

Heavy Metal Content and Pollution Assessment in Open Coal Mines in Arid Areas

WANG Gui et al (Ordos Vocational College, Ordos, Inner Mongolia 017000)

Abstract Heavy metal pollution has always attracted much attention, both pollution detection and prevention are urgent tasks. Cu, Cr, Pb, Zn and Cd content in soil of Heidaigou Mine was studied, and soil pollution assessed. The results showed that Pb and Cd content was lower, showing no obvious pollution; Cu and Zn content were higher than all reference value, showing pollution of a certain degree.

Key words Heidaigou; Open mines; Soil; Heavy metal; Environmental assessment

近年来, 镉大米等重金属污染事件使得土壤重金属污染备受关注。重金属污染土壤将导致农产品的品质和质量下降, 从而对人体健康带来潜在危害。有报道称, 我国受重金属污染的耕地面积已占全国总耕地面积的 1/6^[1], 且呈现不断加剧的趋势。我国每年因重金属污染的粮食高达 1 200 万 t, 造成的直接经济损失超过 200 亿元。因此, 土壤重金属污染监测与防治刻不容缓。

研究表明, 煤矿开发是矿区土壤重金属的重要来源^[2-3]。许多大型露天煤矿地处干旱半干旱草原地区, 采矿过程产生的废气沉降、尾矿和废渣堆积等, 使其中的一些重金属元素渗入到土壤中, 或者经过雨水淋滤进入到土壤中, 对本来脆弱的生态环境造成危害^[4]。黑岱沟露天煤矿位于内蒙古鄂尔多斯准格尔煤田中部, 为我国第一大露天煤矿, 煤炭资源开发在带来巨大的经济效益的同时, 也对生态环境造成了一定影响。为此, 笔者以黑岱沟露天煤矿周边土壤为研究对象, 研究土壤 Cr、Pb、Cu、Zn 和 Cd 含量分布特征, 以揭示矿业活动对土壤环境的影响程度。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况 黑岱沟露天煤矿位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔煤田中部, 面积 55 km², 地理坐标为 111°10' ~ 111°25' E、39°25' ~ 39°59' N, 属于晋、陕、蒙接壤黄土地区的一部分^[5]; 冬季漫长, 夏季短暂, 春季干旱多风, 土壤类型为栗钙土^[6]。于 1990 年开工建设, 1999 年正式生产。2011 年原煤产量达 3 100 万 t。

1.2 样品采集与分析方法

1.2.1 样品采集与处理。在采矿区周边尽可能选取人为扰动少的区域作为采样点, 采集 0 ~ 20 cm 表层土壤样, 每个样点取样 1 kg 左右, 共采集 11 个样品。样品带回实验室自然

风干, 过 100 目筛, 放入干燥器备用。采样点位置见表 1。

表 1 黑岱沟露天煤矿区土壤样品采集位置

样品编号	坐标	
	E	N
1	111°13'27"	39°45'46"
2	111°14'30"	39°44'54"
3	111°15'43"	39°44'54"
4	111°16'44"	39°44'53"
5	111°16'13"	39°46'42"
6	111°15'57"	39°45'58"
7	111°16'42"	39°49'22"
8	111°16'05"	39°45'08"
9	111°15'46"	39°44'57"
10	111°16'19"	39°45'35"
11	111°14'46"	39°47'02"

1.2 分析方法 称取 0.2 g 样品, 加入少量水润湿后, 加入 4 ml 硝酸, 消解 70 min, 冷却, 加入高氯酸 0.2 ml、氢氟酸 4.0 ml, 置于 200 °C 电热板消化至高氯酸、氢氟酸完全蒸发, 加入 4.0 ml 硝酸, 并用超纯水定容至 50.0 ml 后待测。采用美国 PE 公司 DRC-e 电感耦合等离子质谱仪 (ICP-MS) 测量样品中 Cr、Cu、Zn、Pb 和 Cd 元素含量。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤重金属含量分析 由表 2 可知, 全部样品中 Cd 及部分样品中 Zn 含量在检出限以下, 在以后的分析评价中将不再考虑 Cd 元素对该地区的影响。在黑岱沟露天煤矿矿坑周围采集的 11 个样品中, 重金属 Cu、Zn 平均含量高于全国栗钙土重金属元素几何平均值, 重金属 Cr、Pb 平均含量接近全国栗钙土重金属元素几何平均值。其中, 9、10、11 号样品中重金属元素 Cu 含量及 1、2 号样品中重金属 Zn 含量均高出栗钙土重金属元素几何平均值数倍。这说明, 矿山煤矿的长期开采和运输造成了矿区周围土壤中重金属含量超标, 引起重金属污染。

基金项目 内蒙古自然科学基金项目 (2011MS0612)。

作者简介 王贵 (1961 -), 男, 内蒙古包头人, 教授, 博士, 从事环境地球化学研究。

收稿日期 2013-11-02

表2 黑岱沟露天煤矿区土壤重金属元素含量 mg/kg

样品编号	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd
1	62	42	420	19	<10
2	45	34	160	18	<10
3	43	55	28	27	<10
4	48	54	18	13	<10
5	48	57	14	21	<10
6	46	71	<10	14	<10
7	60	77	<10	16	<10
8	52	68	<10	18	<10
9	54	97	<10	17	<10
10	43	86	<10	16	<10
11	48	90	<10	20	<10
样品中重金属元素几何平均值	49.9	66.5	128.0	18.1	<10
栗钙土重金属元素几何平均值 ^[7]	49.3	16.9	59.3	19.1	0.040 6

2.2 土壤重金属污染评价

2.2.1 评价方法的选择。目前国际上广泛采用的评价方法是单因子指数法、多因子指数法和地累积指数法等。前两种方法可以直接反映出土壤重金属的污染程度,但没有考虑人为因素对土壤污染的影响。地累积指数法不但反映人为因素对土壤重金属污染的影响程度,还考虑到了自然成因作用可能引起的背景值变动因素的影响^[8],可以充分弥补单因子指数法和多因子指数法的不足。因此,该研究采用单因子指数法、多因子指数法和地累积指数法对黑岱沟露天煤矿矿区土壤重金属污染进行评价,以便相互补充和参考。

2.2.1.1 单因子指数法。单因子指数法^[9]在世界范围应用较为广泛,主要用于对土壤或沉积物中某一种污染物的污染程度进行分析。其计算公式为:

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

式中, P_i 为土壤中污染物*i*的环境质量指数; C_i 为样品中重金属*i*的实测含量(mg/kg); S_i 为重金属元素*i*的评价标准浓度(mg/kg),一般选用污染物*i*在该地区土壤的背景值。

可见,单因子指数法仅可以反映出土壤或沉积物中某一种重金属元素对环境的污染程度,但是污染土壤的重金属元素往往不会是一种,常常是由多种重金属元素复合污染造成的,因此单因子指数法并不能够全面、综合地反映出土壤的污染程度。

2.2.1.2 多因子指数法。多因子指数法^[10]也称为内梅罗指数法,可全面反映出所研究各污染物的平均污染水平。其计算公式为:

$$P_N = \sqrt{\frac{P_{\text{最大}}^2 + \left(\frac{1}{n} \sum P_i\right)^2}{2}} \quad (2)$$

式中, P_N 为内梅罗指数; P_i 为土壤中重金属元素*i*的单因子指数; $P_{\text{最大}}$ 为样品中所研究所有重金属元素污染指数的最大值。

可见,内梅罗指数法弥补了单因子指数法的不足,可以综合反映出土壤中各种重金属元素污染程度,并且可以凸显出使污染指数最大的重金属元素对土壤产生的影响。

2.2.1.3 地累积指数法。地累积指数又称 Muller 指数,

1969 年 Muller 于德国提出,该指数是欧洲国家广泛用于评价沉积物中重金属污染程度的指标^[10]。其计算公式为:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{1.5B_i} \quad (3)$$

式中, I_{geo} 为地累积指数; C_i 为元素*i*在沉积岩中的含量; B_i 为黏质沉积岩(普通页岩)中该元素的地球化学背景值,也可以采用当地无污染区该元素含量作为背景值;1.5为消除各地岩石差异可能引起背景值的变动转换系数。Forstner 等将沉积物重金属污染程度与地累积指数分级之间的相互关系分为从无污染到极强污染 7 个级别^[11]。

地累积指数方法不但考虑到了人为因素对土壤中重金属污染评价的影响,还考虑到了自然成因作用可能引起的背景值变动因素对评价的影响^[5]。

2.2.2 单因子指数法和多因子指数法评价结果。根据单因子指数法和多因子指数法可将重金属污染分为 5 个等级,如表 3 所示。以全国栗钙土重金属元素几何平均值为背景值,对研究区域土壤重金属元素进行评价,其分析结果见表 4。

表3 土壤重金属分级标准

等级	单因子	多因子	污染	污染
划分	污染指数	污染指数	等级	水平
1	$P_i \leq 0.7$	$P_N \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_i \leq 1.0$	$0.7 < P_N \leq 1.0$	警戒限	尚清洁
3	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$1.0 < P_N \leq 2.0$	轻污染	土壤开始受到污染
4	$2.0 < P_i \leq 3.0$	$2.0 < P_N \leq 3.0$	中污染	土壤受中度污染
5	$P_i > 3.0$	$P_N > 3.0$	重污染	土壤受污染相当严重

表4 黑岱沟露天煤矿区土壤重金属污染评价指数

样品 编号	单因子污染指数				多因子 污染指数
	Cr	Cu	Zn	Pb	
1	1.26	2.49	7.08	0.99	5.43
2	0.91	2.01	2.70	0.94	2.23
3	0.87	3.25	0.47	1.41	2.53
4	0.97	3.20	0.30	0.68	2.44
5	0.97	3.37	0.24	1.10	2.59
6	0.93	4.20	-	0.73	3.15
7	1.22	4.56	-	0.84	3.43
8	1.05	4.02	-	0.94	3.04
9	1.10	5.74	-	0.89	4.28
10	0.87	5.09	-	0.84	3.79
11	0.97	5.33	-	1.05	3.98
平均值	1.01	3.93	2.16	0.95	3.35

从表 4 可以看出,从不同重金属的单因子污染指数来看,大部分样品中 Cr、Pb 元素单因子污染指数处于 0.7 ~ 2.0,属于警戒限到轻污染,个别样品为无污染;大部分样品中 Cu 元素单因子污染指数大于 3.0,为重污染;大部分样品中 Zn 元素单因子指数小于 0.7,为安全、无污染,个别样品为重、中污染。采样区域重金属污染程度排序为:Cu > Zn > Cr > Pb。这些重金属污染程度的不同反映出不同地点污染来源及污染方式不同。从多因子综合污染指数来看,1、9、11、10、7、6 和 8 号样品均为重污染,污染程度逐渐降低,其余样品均为中度污染,主要污染元素为 Cu。

这说明,土壤重金属污染主要是以矿坑为中心,向四周辐射开来,随着与矿坑距离增加,污染程度逐渐减小。煤矿开采活动对土壤产生的主要污染为 Cu、Zn 污染,随着煤矿开采活动的进一步开展,污染已从矿坑中心逐渐向周边土壤迁移扩散。

2.2.3 地累积指数法评价结果。以全国栗钙土重金属元素几何平均值为背景值,采用地累积指数法对研究区域进行分析评价,其分析结果见表 5。从表 5 可以看出,在所研究区域采集的 11 个样品中,所有样品中 Cr、Pb 地累积指数小于 0,污染等级为 1 级,无污染。这说明黑岱沟煤矿采矿区基本未受到 Cr、Pb 污染。

表 5 黑岱沟露天煤矿区土壤重金属地累积指数

样品编号	$I_{geo}(Cr)$	$I_{geo}(Cu)$	$I_{geo}(Zn)$	$I_{geo}(Pb)$
1	-0.3	0.7	2.2	-0.6
2	-0.7	0.4	0.8	-0.7
3	-0.8	1.1	-1.7	-0.1
4	-0.6	1.1	-2.3	-1.1
5	-0.6	1.2	-2.7	-0.4
6	-0.7	1.5	< -3.2	-1.0
7	-0.3	1.6	< -3.2	-0.8
8	-0.5	1.4	< -3.2	-0.7
9	-0.5	1.9	< -3.2	-0.8
10	-0.8	1.8	< -3.2	-0.8
11	-0.6	1.8	< -3.2	-0.5

研究区域 11 个样品中,9 个样品 Cu 地累积指数介于 1~2,污染等级为 3 级,中度污染;2 个样品 Cu 地累积指数介于 0~1,污染等级为 2 级,无污染到中度污染。这说明黑岱沟煤矿采矿区基本受到了 Cu 污染。

研究区域 11 个样品中,1 个样品(1 号样品)Zn 地累积指数介于 2~3,污染等级为 4 级,中度污染到强污染;1 个样品(2 号样品)Zn 地累积指数介于 0~1,污染等级为 2 级,无污染到中度污染;其余样品 Zn 地累积指数均小于 0,污染等

(上接第 13669 页)

育的人员,负责对准家庭农场主的心理进行培训,并使他们能具备一定的心理分析工作能力,以备将来工作之需。

校外部分是指来自本校之外的广泛的师资资源。一是聘请其他兄弟高校(包括农林类和非农林类)长期从事农村问题研究的专家学者来弥补本校某些专业师资的不足;二是聘请多年从事“三农”工作的各级职能部门工作人员,特别是农村基层一线的干部和技术推广工作人员,来对准家庭农场主进行家庭农场主实务的辅导;三是聘请优秀的家庭农场主来对准家庭农场主们现身说法,讲授高职准家庭农场主工作的真情实感;四是聘请在农村成功创业的优秀农民企业家来

级为 1 级,无污染。这说明黑岱沟煤矿采矿区个别区域受到 Zn 污染较重,大部分区域基本未受到 Zn 污染。

3 结论

(1)与全国栗钙土重金属几何平均值相比,Cr、Cu、Zn 和 Pb 元素均有一定程度的累积,成为潜在污染物。根据两种评价结果来看,研究区域主要受到 Cu 污染,个别样品受到 Zn 污染,基本未受到 Cr、Pb 污染。黑岱沟露天煤矿的开采活动,使得土壤中 Cu 含量明显增高,Zn 含量次之。随着煤矿开采活动的进一步开展,污染已从矿坑中心逐渐向周边土壤迁移扩散。

(2)不同程度的重金属污染中主要贡献者为 Cu,因此有必要对该区域土壤 Cu 污染进行进一步深入研究。

参考文献

- [1] 经济参考报. 媒体称我国 1/6 耕重金属污染 修复资金超万亿[EB/OL]. (2013-06-17) <http://news.sina.com.cn/c/2013-06-17/095127418607.shtml>.
- [2] 蒋成爱,吴启堂,陈杖榴. 土壤中砷污染研究进展[J]. 土壤,2004,36(3):264-270.
- [3] 王新,周启星. 土壤 Hg 污染及修复技术研究[J]. 生态学杂志,2002,21(3):43-46.
- [4] 吴攀,刘从强,杨元根,等. 矿山环境中(重金属)的释放迁移地球化学及其环境效应[J]. 矿物学报,2001,21(2):95-100.
- [5] 马建军,张树礼,李青丰. 黑岱沟露天煤矿复垦土地野生植物侵入规律及对生态系统的影响[J]. 环境科学研究,2006,19(5):101-106.
- [6] 伊克昭盟土壤普查办公室. 伊克昭盟土壤[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,1989:14-405.
- [7] 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.
- [8] 贾振邦,周华,赵智杰,等. 应用地累积指数法评价太子河沉积物中重金属污染[J]. 北京大学学报:自然科学版,2000,36(4):525-530.
- [9] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社,2005:522-523.
- [10] FORSTNER U, AHLF W, CALMANO W, et al. Sediment criteria development: Contributions from environmental geochemistry to water quality management[C]//HELING D, ROTHE P, FORSTNER U, et al. Sediments and environmental geochemistry: Selected aspects and case histories. Berlin Heidelberg:Spring-Verlag,1990:311-338.
- [11] 崔邢涛,栾文楼,石少坚,等. 石家庄污灌区土壤元素评价[J]. 中国地质,2010,37(6):1753-1759.

对准家庭农场主们细说农村创业心得。

参考文献

- [1] 中共中央国务院关于加快发展现代农业进一步增强农村发展活力的若干意见[EB/OL]. (2013-02-01) <http://politics.people.com.cn/n/2013/0201/c1001-20395794-2.html>.
- [2] 翟淑君. 因地制宜发展家庭农场[N]. 贵州日报,2013-04-18.
- [3] 现代农业发展新道路探访松江“家庭农场”先行者[EB/OL]. (2013-02-18) <http://www.caein.com/index.asp?xAction=xReadNews&NewsID=85978>.
- [4] 南京农业大学成立学院培养“家庭农场主”[EB/OL]. (2013-04-12) http://www.moa.gov.cn/fwllm/qgxxlb/js/201304/t20130412_3432312.htm.
- [5] 李漫. 高等院校优秀教学团队的构建和运行模式研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.