

吉林黑土中Cd、Pb、As的空间分布及潜在生态风险

曹会聪^{1,2},王金达^{1*},张学林¹ (1.中国科学院东北地理与农业生态研究所,吉林 长春 130012;2.中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要: 研究了吉林省黑土区耕层土壤(0~20cm)中 Cd、Pb、As 含量的分布特征及其潜在生态风险.结果表明,煤矿区周围、公路旁和城郊为农田黑土 Cd、Pb、As 的高含量分布区,煤矿区周围土壤 Cd、Pb、As 均具有明显的累积效应,公路旁和城郊的土壤外源 Pb 进入量较大.采用 Muller 地累积指数法和 Hakanson 潜在生态危害指数法得出的潜在生态风险评价结果表明,煤矿区土壤 Cd 具有很高的潜在生态风险,As 具有一般风险;各采样区的 Pb 含量均呈现一般风险.总体而言,煤矿区土壤具有一般潜在风险,而公路旁和城郊土壤均具有低潜在生态风险.

关键词: 黑土; Cd; Pb; As; 潜在生态风险; 吉林省

中图分类号: X131.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2007)01-0089-04

Spatial distribution and potential ecological risk of Cd, Pb, As in Jilin black soil. CAO Hui-cong^{1,2}, WANG Jin-da^{1*}, ZHANG Xue-lin¹ (1.Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *China Environmental Science*, 2007,27(1): 89~92

Abstract: The distribution of Cd, Pb, As contents in Jilin Province black soil area ploughing layer soil (0~20cm) was studied. Cd, Pb and As contents were higher around the mine area and in the suburb and roadsides. Three elements accumulated markedly around the coal mine, and there were relatively higher inputs of Pb in the suburb and roadsides. The obtained potential ecological risk appraising adopting Muller land accumulation index method and Hakanson potential ecological risk index method, showed that Cd in the coal mine area possessed very high potential ecological risk and As possessed general risk; the Pb contents of each sampling area appeared general risk. In general, the farmland soil of coal mine area possessed general potential risk, while areas near the highways and suburb farmland all possessed low potential ecological risk.

Key words: black soil; Cd; Pb; As; potential ecological risk; Jilin Province

土壤重金属污染具有潜在的生态危害,研究表明,人类活动导致的重金属污染使农田土壤环境质量不断恶化,严重威胁着农田生态系统和人类健康^[1].东北黑土区是我国重要的粮食生产基地,近年来工业废物排放、污水灌溉、长期施用化肥及农药等人类活动导致外源重金属进入土壤中并不断累积^[2],重金属污染已经受到关注并开展了相关研究.有关农田黑土重金属含量分布特征及其潜在生态风险的研究尚少,作者曾以吉林省农田黑土区为研究区域,对表层土壤中 Cd、Pb、As 的含量特征进行了分析^[3],在此基础上,本研究采用 Muller 地累积指数法和 Hakanson 潜在生态危害指数法对高值区农田黑土中 Cd、Pb、As 的潜在生态风险进行了分析,以期对黑土区农

田土壤重金属污染的治理以及农产品的安全保障提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集与制备

采用GPS定位,对吉林省农田黑土中Cd、Pb、As的含量状况进行了调查取样.土壤样品采集时,于每个样点选择5块重复采样地,使用不锈钢铲采集0~20cm深度的耕层土壤,混合均匀后,采用四分法留取1kg土壤样品,装入zip-lock聚乙烯袋中密

收稿日期: 2006-06-27

基金项目: 国家“973”项目(2004CB41850407);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-19-4-01)

* 责任作者, 研究员, wangjinda@neigae.ac.cn

封.土壤带回实验室,在室温下自然风干,剔除石子、植物根系等杂质,过 100 目筛,密封待测^[3].

1.2 分析测定方法

样品中的 Cd、Pb 经 HF-HNO₃-HClO₄ 法消解,采用原子吸收分光光度计法测定;As 用 HNO₃-HClO₄-HCl 法消解,采用原子荧光光谱法测定^[3].

1.3 数据处理

数据处理及分析在 Excel2003、SPSS10.0 和 Origin 7.5 平台下完成.

2 结果与讨论

2.1 土壤 Cd、Pb、As 的含量分布

2.1.1 黑土中 Cd、Pb、As 的含量分布 从吉林省黑土区表层土壤中 Cd、Pb、As 含量的分布特征看^[3],土壤 Cd 高含量地区相对集中,主要位于营城、羊草沟等煤矿周围.土壤 Pb 含量较高的样点主要分布于城郊及公路两侧,最大值出现在公主岭市怀德镇,为 228.6mg/kg;低含量样点位于扶余县新源镇,其值为 19.9 mg/kg.除此之外的其他样点土壤 Pb 含量的空间变异程度相对较平缓.固体废物的堆积是造成城市周边农田土壤 Pb 局部污染的主要原因^[4];而交通废气则可能导致了研究区公路两侧农田土壤 Pb 含量的增加.土壤 As 含量较高的样点集中分布于煤矿区及城市周边的农田土壤中,其值为 11.08~22.01mg/kg.煤矿企业生产过程中排放的含 As 化合物、含 As 垃圾、化肥及农药的使用导致了 As 在农田土壤中的累积^[5-6].

2.1.2 高值区 Cd、Pb、As 的含量分布 吉林农田黑土中 Cd、Pb、As 含量的分析结果表明,煤矿区、公路旁和城郊为土壤 Cd、Pb、As 的高含量区,3 样区土壤 Cd、Pb、As 的含量特征值见表 1.Cd、Pb、As 含量均以煤矿区最高,Cd 含量范围为 0.44~0.52mg/kg,均值 0.46mg/kg,明显高于其背景值(0.08mg/kg)^[7].土壤 Pb 含量的平均值是其背景值(22.14mg/kg)的 2.5 倍,As 含量的平均值也高于其背景值(11.08mg/kg),表明 Cd、Pb、

As 均具有明显的累积效应.相对煤矿区而言,城郊及公路旁样地的土壤 Cd、As 含量较低,但 Pb 含量均高于煤矿区,说明外源 Pb 进入量较大.3 个样区土壤均已受到一定程度的污染.

表 1 煤矿区、公路旁和城郊农田土壤Cd、Pb、As 的统计特征值

Table 1 Descriptive statistics of Cd, Pb and As in the coal mine, suburb and roadsides

	元素	样点数	范围值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	标准差	变异系数
煤 矿 区	Cd	15	0.44~0.52	0.46	0.03	0.07
	Pb	15	54.22~59.66	55.64	2.15	0.04
	As	15	8.89~15.10	11.85	2.66	0.22
公 路 旁	Cd	15	0.04~0.08	0.07	0.01	0.12
	Pb	15	47.73~75.40	56.73	11.18	0.18
	As	15	6.33~10.91	7.61	4.26	0.46
城 郊	Cd	15	0.04~0.07	0.06	0.01	0.19
	Pb	15	44.78~76.65	61.26	10.85	0.20
	As	15	6.80~14.22	9.29	0.94	0.13

2.2 潜在生态风险

2.2.1 Cd、Pb、As 的污染程度分析 采用 Muller 地累积指数(I_{geo})来定量评价吉林农田黑土中 Cd、Pb、As 的污染程度,将土壤重金属污染程度分为 7 级(表 2)^[8].

$$I_{geo} = \lg 2^{(C_n/1.5B_n)}$$
 (1)

式中: C_n 为元素实测含量; B_n 为该元素的背景含量.

表 2 Muller地累积指数分级体系
Table 2 Grades of Muller geo-accumulation indexes

地积指数	分级	污染程度
>5	6	极重污染
4~5	5	重污染-极重污染
3~4	4	重污染
2~3	3	中度污染-重污染
1~2	2	中度污染
0~1	1	轻度污染
<0	0	无污染

选择吉林省黑土 Cd、Pb、As 背景值分别作

为研究区土壤中 Cd、Pb、As 的背景含量,计算地积指数的结果表明,所有供试土壤样品中,As 的地累积指数均为 0~1;Pb 仅有 1 个土样的地累积指数处于 2~3 之间,属中度污染-重污染,其他均为轻度污染;Cd 有 27 个土壤样品的地累积指数处于 1~2 之间,为中度污染,占总样品数的 20.3%,其他尚处于轻度污染中.

2.2.2 高值区的潜在生态风险指数 基于土壤 Cd、Pb、As 含量的分析结果,选择煤矿区、公路旁和城郊 3 个污染区作为潜在生态风险分析的主要区域.瑞典学者 Hakanson^[9]提出的潜在生态风险指数法不仅考虑土壤重金属含量,而且将重金属的生态效应、环境效应与毒理学联系在一起,采用具有可比的、等价属性指数分级法进行评价,在国际上被广泛应用.评价采用此方法,其计算公式如下:

$$C_f^i = \frac{C_{\lambda \text{层}}^i}{C_n^i}; C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \tag{2}$$

式中: C_f^i 为单项污染参数; $C_{\lambda \text{层}}^i$ 为表层土壤重金属浓度实测值; C_n^i 为土壤背景参考值,采用吉林省表层黑土中 Cd、Pb、As 背景值. C_d 为多金属综合污染指数.

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i; RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \tag{3}$$

式中: E_r^i 为单一金属潜在生态风险参数;RI 为多金属潜在生态风险指数; T_r^i 为某一种金属的毒性响应系数,反映了金属在水相、土壤固相和生物相之间的响应关系.采用 Hakanson 制定的标准化重金属毒性系数为评价依据,Cd、Pb、As 的 T_r^i 值分别为 30,5,10.指标 C_f^i 、 C_d 、 E_r^i 、RI 及污染强度分级标准见表 3.

表 3 潜在生态风险评价指标与分级关系^[10]
Table 3 Indices and grades of potential ecological risk assessment

单一金属对应的阈值区间		多种金属对应的阈值区间		风险分级标准
污染参数	潜在生态风险参数	综合污染指数	潜在生态风险指数	
$C_f^i < 1$	$E_r^i < 30$	$C_d < 3$	$RI < 110$	无风险
$1 \leq C_f^i < 3$	$30 \leq E_r^i < 60$	$3 \leq C_d < 6$	$110 \leq RI < 220$	一般风险
	$60 \leq E_r^i < 120$			中等风险
$3 \leq C_f^i < 6$	$120 \leq E_r^i < 240$	$6 \leq C_d < 9$	$220 \leq RI < 440$	高风险
$C_f^i \geq 6$	$E_r^i \geq 240$	$C_d \geq 9$	$RI \geq 440$	极高风险

表4给出了煤矿区、公路旁和城郊3个采样区土壤中Cd、Pb、As的 C_f^i 、 C_d 、 E_r^i 、RI计算结果.可见,煤矿区土壤中Cd、Pb、As的单一金属污染参数均高于1,其中Cd含量为高风险,Pb和As为一般风险,表明煤矿区的土壤已被Cd、Pb、As污染.公路旁和城郊样地的3种元素中仅有Pb的 C_f^i 值高于1,为一般风险,Cd和As均为无风险.显然,公路旁和城郊采样区的土壤尚未被Cd和As污染,但均被Pb污染.由综合污染指数可见,公路旁的农田土壤无风险,城郊农田为一般风险.而煤矿区土壤处于极高风险中,其影响已不容忽视.

就Cd、Pb、As污染风险比较而言,As在煤矿区具有一般风险;各采样区的Pb污染十分严重,

污染参数范围为2.513~2.767,均达到了一般风险,其污染程度较高;煤矿区的Cd污染水平最高, C_f^i 值为5.516,已处于高风险之中,尤其在局部地区,其污染程度更高.因此Cd作为煤矿区目前主要的环境风险因子,应引起高度重视.

就3个研究区而言,煤矿区Cd的潜在生态风险参数为165.482,具有很高的潜在生态风险.Cd是具有相对较高的潜在生态风险的污染因子,而Pb和As因其毒性响应参数较Cd要小得多,故未体现出潜在生态风险.从总的潜在生态风险看,煤矿区土壤具有一般潜在风险,而公路旁和城郊农田的土壤仅具有低潜在生态风险,其RI值相差无几.

表 4 煤矿区、公路旁和城郊农田土壤Cd、Pb、As污染指数的分布及污染程度
Table 4 Distribution of pollution index and pollution grade of Cd, Pb and As
in the coal mine, suburb and roadises

样点	单一金属						多种金属	
	污染参数			潜在生态风险参数			综合污染	潜在生态风
	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As	指数	险指数
煤矿区	5.516	2.513	1.070	165.482	12.566	10.698	9.099	176.180
公路旁	0.640	2.526	0.663	19.193	12.131	6.634	3.729	37.957
城郊	0.566	2.767	0.837	16.973	13.836	8.366	4.170	39.175

注：表内数据为15个样点的平均值

由以上分析可见,地积累指数法和潜在生态危害指数法的评价结果均表明,吉林省局部地区农田土壤受到了Cd、Pb、As一定程度的污染,其中煤矿区Cd污染最严重.其土壤环境质量将受到严重威胁.

3 结论

3.1 煤矿区、公路旁和城郊为农田黑土Cd、Pb、As的高含量区,煤矿区土壤Cd、Pb、As均具有明显的累积效应,公路旁和城郊土壤的外源Pb进入量较大.

3.2 潜在生态风险分析的结果表明,煤矿区土壤Cd具有很高的潜在生态风险,As具有一般风险,各采样区的Pb均达到了一般风险.就总的潜在风险而言,煤矿区农田土壤具有一般潜在风险,而公路旁和城郊农田土壤均只具有低潜在生态风险.

参考文献:

[1] Clemente R, Walker D J, Roig A, *et al.* Heavy metal bioavailability in a soil affected by mineral sulphides contamination following the mine spillage at Aznalcollar (Spain) [J]. Biodegradation, 2003,14(3):199-205.

[2] 郭观林,周启星.中国东北北部黑土重金属污染趋势分析 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2004,21(3):386-392.

[3] 曹会聪,王金达,张学林.吉林省农田黑土中Cd、Pb、As含量的空间分布特征 [J]. 环境科学, 2006,27(10):2117-2122.

[4] 陈怀满.土壤—植物系统中的重金属污染 [M]. 北京:科学出版社,1991.210-213.

[5] Adriano D C, Page A L, Elseewi A A, *et al.* Utilization and disposal of fly ash and other residues in terrestrial ecosystems: A review [J]. Environment Quality, 1980,9:333-344.

[6] Charter R A, Tabatabai M A, Schafer J W. Arsenic, molybdenum, selenium, and tungsten contents of fertilizers and phosphate rocks

[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26:3051-3062.

[7] 孟宪玺,李生智.吉林省土壤元素背景值研究 [M]. 北京:科学出版社,1995.101-114.

[8] 刘永华,王五一,杨林生,等.湘西多金属矿区汞污染土壤的环境质量 [J]. 环境科学, 2005,26(5):187-191.

[9] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980,14(8):975-1001.

[10] 马宝艳.区域生态风险评价研究 [D]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2000.

作者简介:曹会聪(1979-),女,黑龙江省巴彦人,中国科学院东北地理与农业生态研究所博士研究生,研究方向为环境生态与生物地球化学.发表论文 8 篇.