

湖南省某铅锌矿土壤重金属污染分析与风险评价

余璇 宋柳霆 滕彦国

北京师范大学水科学研究院/地下水污染控制与修复教育部工程研究中心,北京 100875

摘要 采用现场采样与室内分析方法测定湖南省某铅锌矿周边农田土壤中 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 等 7 种重金属的含量,运用单因子指数法、地质累积指数法、污染负荷指数法以及潜在生态危害指数法等评价方法对研究区土壤重金属污染状况和潜在生态风险进行评价。研究结果表明,Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 等 7 种重金属都存在不同程度的富集或污染;根据 25 个采样点计算得出的矿区污染负荷指数为 2.6,表明整个矿区土壤重金属污染程度较重。Cd、Pb、As、Zn 等重金属潜在生态风险指数属于中等及以上的风险状态,这些重金属的污染及潜在生态风险应当引起充分关注。此外,相关性分析与主成分分析结果表明,采矿作业可能是导致研究区农田土壤 Cd、Pb、As、Zn 等重金属含量升高的主要原因。

关键词 农田土壤;重金属;污染评价;单因子评价法;地质累积指数法;潜在生态风险

中图分类号 X 825 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)05-0027-06

土壤是人类生存和发展的物质基础,也是构成生态系统的基本要素之一。近年来随着城市化、工业化和农业现代化的不断发展,人类活动导致大量重金属不断释放进入环境^[1-3],而土壤在大气-水体-土壤整个环境系统中,接纳了 70% 以上的重金属排放量^[4]。土壤重金属污染具有隐蔽性、滞后性、长期性以及不可逆性,将会导致农产品质量下降,甚至污染地表水体和地下水等,进而危害人体健康,因而受到普遍关注^[5-6]。土壤环境质量评价是评价土壤环境质量优劣的重要手段。目前一般的土壤重金属污染评价主要基于单因子指数法或综合指数法,但单因子指数法或综合指数法等评价方法的评价结果仅能指出土壤重金属的超标情况,而不一定能完全反映出土壤的真实污染情况。因此,近年来国际上众多科学家提出了多种土壤重金属污染评价方法,包括地质累积指数法和潜在生态风险指数法等,这些评价方法各具有不同的优势,且评价结果也往往存在差异^[7-8]。

中国矿山周边土壤重金属污染较为严重,由于矿冶活动造成的土壤重金属污染事件也屡屡发生,因矿冶活动引发的重金属中毒事件时有发生^[9]。湖南省桂阳县黄沙坪镇矿产资源丰富,多年来该地矿

产资源的不合理开发和利用,导致该地矿山周边土壤可能存在较大生态环境风险。因此,选择湖南省桂阳县黄沙坪镇的某个铅锌矿周边农田土壤作为研究对象,对其土壤中的 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 等 7 种重金属等进行监测,采用单因子指数法、地质累积指数法、污染负荷指数法和潜在生态风险指数法等评价方法对该研究区域的土壤重金属污染和风险状况进行评价分析,为该区域的土壤重金属的污染治理和环境保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与测试

研究区位于湖南省桂阳县黄沙坪镇,该区年均日照时数 1 705.4 h,年均气温 17.2 °C,年均降雨量 1 385.2 mm,属亚热带湿润季风气候。土壤主要为黄色粘土。选取该研究区某铅锌矿周边土壤为研究对象,于 2015 年 6 月进行土壤样品采集,采用 100 m×100 m 网格布点法布设采样点位,采用木质采样工具进行样品采集,共采集土样 25 个,均为混合样,采样深度为 0~20 cm。土样风干后,去除砂砾、动植物残体等,取一定量的样品用玛瑙研钵研磨,过孔径 0.250 mm 筛后于自封袋中密封保存。

收稿日期: 2016-01-28

基金项目: 环保公益专项(201509031); 国家自然科学基金项目(41473086)

余璇,硕士研究生。研究方向: 污染物迁移与转化。E-mail: yuxuan421@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 宋柳霆,博士,副教授。研究方向: 重金属污染物迁移与模拟。E-mail: ltsong@bnu.edu.cn

采用盐酸-硝酸-高氯酸-氢氟酸法对土壤样品进行消解。Cd 采用 AAS(Hitachi 508)测定^[10], As 采用 AFS(AFS-1201)测定^[11], Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 采用 ICP-AES(Perkin-Elmer 3300 DV)测定^[12]。实验过程中所用试剂均为优级纯,实验用水为去离子水。分析测试过程通过加标和平行样进行质量控制,7 种重金属元素平行样测定的相对偏差范围为 10%~15%^[13],质控样测定均值和偏差也在《土壤环境监测技术规范》规定要求范围内。

1.2 土壤污染评价方法

1)单因子评价法。单因子评价法计算公式如下,评价标准采用 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》中的二级标准。

$$P_i = \frac{\text{土壤污染物实测值}}{\text{污染物质量标准}} \quad (1)$$

单项污染指数分为 5 个等级,分别为污染等级安全($P_i \leq 0.7$)、警戒限($0.7 < P_i \leq 1.0$)、轻污染($1.0 < P_i \leq 2.0$)、中污染($2.0 < P_i \leq 3.0$)、重污染($P_i > 3.0$)^[14]。

2)地质累积指数法。地质累积指数法(I_{geo})计算公式如下^[15]:

$$I_{geo} = \log \frac{C_n}{k B_n} \quad (2)$$

式(2)中, C_n 为某项重金属元素总含量; B_n 指某项重金属元素的环境背景值(本文取当地土壤元素背景值^[15]); k 本文取值 1.5。地质累积指数的污染分级分别为为无污染($I_{geo} < 0$)、轻度污染($0 \leq I_{geo} < 1$)、偏中污染($1 \leq I_{geo} < 2$)、中度污染($2 \leq I_{geo} < 3$)、偏重污染($3 \leq I_{geo} < 4$)、重污染($4 \leq I_{geo} < 5$)、严重污染($5 \leq I_{geo} < 6$)^[16]。

3)污染负荷指数法。污染负荷指数法(the pol-

lution load index, P_{LI})也是目前判断土壤重金属污染水平的常用方法^[17-18],其计算公式如下:

$$C_{Fi} = C_i / S_i \quad (3)$$

$$P_{LI} = \sqrt[n]{C_{F1} \times C_{F2} \times C_{F3} \times \dots \times C_{Fn}} \quad (4)$$

式(3)、(4)中, C_i 为某元素 i 的实测值,mg/kg; S_i 为某元素 i 的区域背景值,mg/kg; C_{Fi} 为某元素 i 的最高污染系数; n 为评价元素的个数; P_{LI} 为某点污染负荷指数。

污染负荷指数一般分为 4 个等级,分别为无污染($P_{LI} < 1$)、中度污染($1 \leq P_{LI} < 2$)、强污染($2 \leq P_{LI} < 3$)、极强污染($P_{LI} \geq 3$)。

4)潜在生态危害指数法。潜在生态危害指数法(the potential ecological risk index, R_1)的计算公式如下^[19-20]:

$$C_f^i = \frac{C^i}{C_n^i} \quad (5)$$

$$C_d = \sum_{i=0}^n C_f^i \quad (6)$$

$$E_r^i = T_r^i C_f^i \quad (7)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^n T_r^i E_r^i \quad (8)$$

式(5)~(8)中, C_f^i 为重金属元素的污染系数; C^i 为重金属浓度的测定值; C_n^i 为重金属元素的背景值; C_d 为重金属污染程度; T_r^i 为重金属元素的毒性响应系数; E_r^i 为重金属元素的潜在生态危害系数; R_1 为多种重金属元素综合潜在生态危害指数。重金属元素的毒性响应系数 T_r^i 取值为 Zn=1<Cr=2<Cu=Ni=Pb=5<As=10<Cd=30<Hg=40^[15]。表 1 列出了重金属元素的潜在生态风险分级标准^[21]。

表 1 土壤重金属的潜在生态风险分级标准

Table 1 Potential ecological risk classification standards of soil heavy metals

等级 Degree	单个重金属元素 E_r^i	多个重金属元素综合 R_1	潜在生态风险程度 Degree of potential ecological risk
I	$E_r^i < 40$	$R_1 < 50$	轻微生态危害 Slight ecological harm
II	$40 \leq E_r^i < 80$	$50 \leq R_1 < 100$	中等生态危害 Moderate ecological harm
III	$80 \leq E_r^i < 160$	$100 \leq R_1 < 200$	较高生态危害 Considerable ecological harm
IV	$160 \leq E_r^i < 320$	$200 \leq R_1 < 400$	高生态危害 High ecological harm
V	$E_r^i \geq 320$	$R_1 \geq 400$	极高生态危害 Extremely ecological harm

2 结果与分析

2.1 研究区土壤重金属污染状况

1)土壤重金属的描述性统计。表 2 列出了 25

个土样中 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 等 7 种重金属含量和统计分析结果,其中土样 pH 值为 4.4~8.1。结果表明,研究区土壤重金属含量普遍高于湖南省土壤重金属背景值。其中,Cd、Zn、Pb 的平均

值相对较高,分别是背景值的 19.09、3.40、3.31 倍,其他重金属元素为背景值的 1.01~1.83 倍,说明研究区土壤重金属污染程度存在一定差异,可能受到了人为活动因素的影响。与湖南省土壤背景值相比,发现 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 都出现了不同程度的超标。其中,Cd、Zn 和 Pb 的超标率较高,超标率分别为 92.6%、75.0%和 56.3%。采用单因子

指数法对研究区土壤重金属污染状况进行了研究,结果表明,35.3%的采样点重金属 Cd 和 13.2%的采样点重金属 Pb 的污染指数均大于 3,属于重度污染。整体而言,研究区土壤中 Cd、Pb 和 Zn 等重金属污染较为严重,尤其是铅锌矿周边土壤中重金属的含量较高,可能是长期土法冶炼导致 Cd、Pb、Zn、As 等重金属的高度累积。

表 2 研究区重金属监测和统计结果 (n=25)

Table 2 Monitoring and statistical results of total heavy metal (n=25)

元素 Elements	范围 Range	算术平均值±标准差 Average value standard deviation	湖南省土壤 重金属背景值 Background values	平均值/背景值 Average value/ Background value	二级标 准 Grade II standard
Cd	0.1~9.5	2.1±0.3	0.11	19.09	0.6
Ni	0.0~147.9	36.7±22.3	31.90	1.15	50.0
As	1.0~132.0	28.7±3.5	15.70	1.83	25.0
Pb	4.8~2 186.0	98.1±63.2	29.70	3.31	300.0
Cr	1.3~279.0	97.1±41.1	71.40	1.36	300.0
Cu	14.0~52.0	27.5±21.4	27.30	1.01	100.0
Zn	183.0~697.0	321.3±55.1	94.40	3.40	250.0

2)土壤重金属污染评价。依据地质累积指数法计算结果,该区域土壤中 Cr 和 Ni 处于基本未污染或轻度污染状态;除个别点位属于中度污染水平外,Cu 和 Zn 污染程度也较轻;Pb、As 和 Cd 等重金属

处于中度污染程度以上,尤其是 Cd,甚至达到重度污染水平(图 1)。Cd 是典型的分散元素,且具有亲疏性,通常伴生在铅锌矿床中^[22-23]。因此,研究区土壤中重金属的污染可能与研究区铅锌矿的不合理开

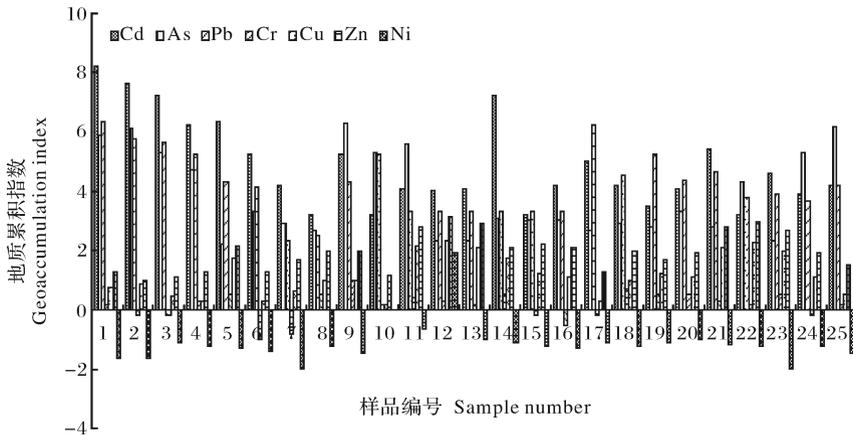


图 1 土壤地质累积指数图

Fig.1 Soil index of geoaccumulation figure

发具有直接关系。

从图 2 可以看出,25 个采样点的污染负荷指数 P_{LI} 值均大于 1,说明各采样点都受到 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 等重金属的污染;1/3 的采样点 P_{LI} 值介于 1~2 之间,表现为中度污染;接近 50% 采样点的 P_{LI} 值大于 3,表现为极强污染。而且,距离矿山越近的采样点的 P_{LI} 越大,这说明该区域土壤重金属污染可能与矿区开采活动有关。根据 25 个采样点计算得出的矿区污染负荷指数 P_{LI} 为 2.6,表明

整个矿区土壤重金属污染程度较重,为强污染。

2.2 研究区土壤重金属潜在生态风险评价

表 3 显示了研究区土壤重金属潜在生态危害指数的分布情况。7 种重金属平均潜在生态危害大小排序为: Cd (331.0) > Pb (43.7) > As (18.1) > Cu (9.7) > Ni (8.1) > Zn (7.2) > Cr (5.5)。其中,平均潜在生态危害指数最高的重金属为 Cd,46.1% 的土样中 Cd 为极强生态风险;32.8% 为很强生态风险,12.6% 为强生态风险,其余为中等生态风险。

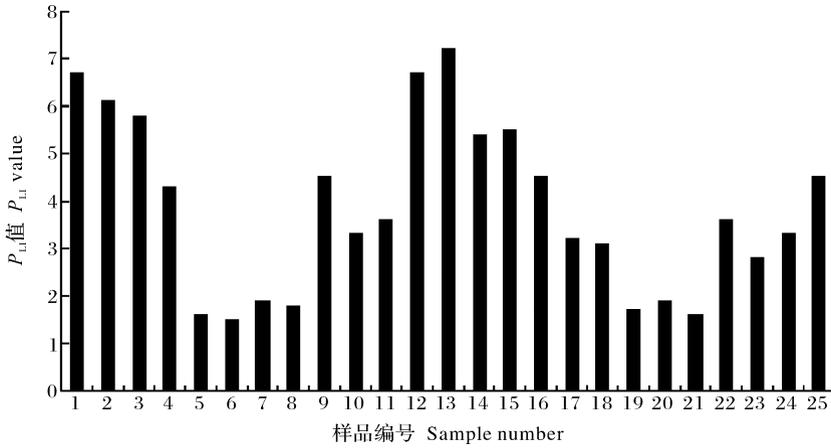


图 2 研究区重金属污染负荷指数法评价结果

Fig.2 Evaluation results of pollution load index

Pb、As 处于中等生态风险水平，而 Cr、Cu 和 Zn 存在轻度生态风险。多种重金属的综合潜在生态风险指数(R_1)最高值可达 1 931.5，同时，21 个采样点处于中等及以上的风险水平。其中，4 个采样点具有很强生态风险，8 个采样点的生态风险程度为强，进一步说明研究区土壤中重金属潜在生态风险水平较高。从各重金属元素对综合潜在生态风险指数的贡

献率来看，Cd 的贡献值较大，说明该研究区土壤中 Cd 的潜在生态危害较高。综合以上评价结果，地质累积指数法和潜在生态风险指数法的评价结果较为一致。研究区大部分土壤样品中 Cd 的污染较为严重，Pb、As、Zn 等 3 种重金属元素的污染也应引起重视，而 Cu、Ni 污染程度处于相对较低风险水平。

表 3 研究区重金属潜在生态危害评价结果

Table 3 Evaluation results of heavy metals potential pollution

项目 Item	E_i^r							R_1
	Cd	Ni	As	Pb	Cr	Cu	Zn	
最小值 Min	51.2	2.1	4.3	6.7	3.3	7.1	4.7	63.0
最大值 Max	1 763.0	16.2	84.1	171.4	9.5	21.7	21.3	1 931.5
平均值 Average	331.0	8.1	18.1	43.7	5.5	9.7	7.2	563.2
标准差 Standard deviation	55.7	4.3	11.3	9.7	1.7	7.9	5.4	47.1

2.3 研究区土壤重金属污染源识别

土壤重金属污染研究领域目前也较多地使用统计学方法来开展相关性分析^[5]。由表 4 可以看出，研究区土壤中 Zn 和 Cd、Pb、As 均呈现显著的正相关关系，指示人类活动对土壤的影响；Cr 和 Ni 呈现

显著的正相关关系，这 2 种元素通常来源于成土过程中母岩风化，主要为自然来源，受母质影响较大，而受外界影响较小^[24]；As 和 Cu 等呈现中度正相关性。当多种重金属有相关性时，表明它们可能来自同一或相近的污染源。

表 4 研究区土壤重金属之间的相关系数

Table 4 The correlation coefficient of soil heavy metals in the sampling area

项目 Item	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	As	Ni	pH
Cu	1							
Zn	0.798 **	1						
Cd	0.769 **	0.977 **	1					
Cr	-0.067	-0.081	-0.107	1				
Pb	0.421	0.869 **	0.823 **	-0.066	1			
As	0.537 *	0.898 **	0.871 **	-0.072	0.976 **	1		
Ni	0.281	0.165	0.165	0.809 **	0.152	0.156	1	
pH	-0.077	-0.045	-0.033	-0.147	-0.021	-0.023	-0.057	1

注：* * .差异极显著($P < 0.01$)；* .差异显著($P < 0.05$)。Note: * * means that values is extremely significant($P < 0.01$)；* means that values is significant difference($P < 0.05$)。

采用主成分分析法对研究区土壤重金属的可能来源进行进一步分析。主成分分析结果见表5,由表5可以看出,7种重金属主要可以分成3种主成分,累积贡献率为95.814%,第一主成分贡献率为56.774%,包括Pb、As、Zn和Cd;第二主成分贡献率为24.332%,包括Cr和Ni;第三种主成分贡献率

为15.732%,只包括Cu。因此,第一主成分重金属元素主要与采矿作业等人为活动影响有关,而第二种和第三种主成分重金属元素除了受母质影响外,还可能受人为活动的影响。因此,研究区农田土壤重金属污染主要可能与多年来不合理的矿产资源开发等人为活动有关。

表5 主成分分析的总变量($n=25$)Table 5 Total variables of principal component analysis ($n=25$)

主成分因子 Principal components	初始特征值 The initial eigenvalue			提取的载荷平方和 Load sum of squares		
	特征值 Eigenvalues	贡献率/% Contribution rates	累积贡献率/% Accumulated contribution rates	特征值 Eigenvalues	贡献率/% Contribution rates	累积贡献率/% Accumulated contribution rates
1	4.462	56.774	56.763	4.462	56.774	56.763
2	1.942	24.322	81.094	1.942	24.322	81.094
3	1.178	15.732	95.814	1.178	15.732	95.814
4	0.380	3.753	99.577			
5	0.021	0.253	99.830			
6	0.008	0.112	99.941			
7	0.003	0.053	99.993			
8	0.002	0.006	100.000			

3 讨论

本研究监测分析了湖南省桂阳县某铅锌矿周边农田土壤中7种典型重金属(Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn和Ni)含量,并对重金属污染状况和生态风险状况进行了评价。在对土壤进行评价时,应根据评价目的和污染区背景选择合适的评价方法,如只需要反映点位超标情况时,可采用单因子评价法;考虑自然成岩作用引起的背景值变动可使用地质累积指数法;而反映某一区域受多种元素整体的污染程度可以用污染负荷指数法;评价土壤对周边环境的潜在风险时可使用潜在生态危害指数法。本研究单因子指数法评价结果表明,7种典型重金属(Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn和Ni)都出现了不同程度的超标,特别是Cd超标严重。地质累积指数法评价结果表明,采样点土壤中Ni、Cr、Hg都处于轻度污染或未污染程度;Cu除个别采样点处于偏中度与中度污染水平,其他采样点污染程度不明显。污染负荷指数法评价结果表明,所有采样点的污染负荷指数 P_{Li} 值均大于1,各采样点都受到Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn和Ni等重金属的污染,采矿区土壤的综合污染负荷指数 P_{Li} 为2.6,表明整个矿区土壤重金属污染程度较重,为强污染土壤。潜在生态风险评价结果表明,25个采样点中除4个点位外,其余点位都达到了中等及以上的风险程度。其中,17%的采样点处于很强的生态风险程度,33%的采样点处于强生态风险程度。

7种重金属潜在生态危害大小顺序为: Cd(331.0) > Pb(43.7) > As(18.1) > Cu(9.7) > Ni(8.1) > Zn(7.2) > Cr(5.5)。根据已有研究,会泽县某铅锌矿矿区周边土壤中的Cd含量高达31.53~45.27 mg/kg,属于严重超标^[5];而对栖霞山某铅锌矿周边土壤重金属的研究也表明,Pb、As、Cd、Zn的污染相对严重,和本研究结果基本一致^[25]。综合上述评价结果,该研究区域土壤中重金属污染较重,且存在生态环境风险,特别是Cd的潜在生态危害应引起高度关注,As和Pb的污染程度也应当引起充分关注,Cu、Ni、Zn、Cr污染程度处于相对安全水平。相关性分析与主成分分析结果表明,导致本研究区域的农田土壤中重金属含量升高的主要原因可能与采矿作业等人为活动有关。

参 考 文 献

- [1] 陈怀满.土壤—植物系统中的重金属污染[M].北京:科学出版社,1996:27-28.
- [2] 陈鸿汉,湛宏伟,何江涛,等.污染场地健康风险评价的理论和方法[J].地学前缘,2006,13(1):216-223.
- [3] 曾希柏,徐建明,黄巧云,等.中国农田重金属问题的若干思考[J].土壤学报,2013,50(1):186-194.
- [4] NRIAGU J O.A history of global metal pollution[J].Science, 1996,272(5259):223-224.
- [5] 房辉,曹敏.云南会泽废弃铅锌矿重金属污染评价[J].生态学杂志,2009,28(7):1277-1283.
- [6] 董亚辉,戴全厚,邓伊晗,等.不同类型铅锌矿废弃地重金属的分布特征及污染评价[J].贵州农业科学,2013,41(5):109-112.

- [7] LI F, ZENG X, WU C, et al. Ecological risks assessment and pollution source identification of trace elements in contaminated sediments from the Pearl River Delta, China[J]. Biological trace element research, 2013, 155(2): 301-313.
- [8] YU R, ZHANG W, HU G, et al. Heavy metal pollution and Pb isotopic tracing in the intertidal surface sediments of Quanzhou Bay, southeast coast of China[J]. Marine pollution bulletin, 2016, 105(1): 416-421.
- [9] 吕玉桦. 我国儿童血铅水平现状及对策研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2014.
- [10] 刘慎坦. 土壤中重金属可交换态分析方法的研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- [11] 杨军, 郑袁明, 陈同斌, 等. 中水灌溉下重金属在土壤中的垂直迁移及其对地下水的污染风险[J]. 地理研究, 2006(3): 449-456.
- [12] 陆泗进, 王业耀, 何立环, 会泽某铅锌矿周边农田土壤重金属生态风险评价[J]. 生态环境学报, 2014, 23(11): 1832-1838.
- [13] 陈皓, 何瑶, 陈玲, 等. 土壤重金属监测过程及其质量控制[J]. 中国环境监测, 2010, 26(5): 40-43.
- [14] 郭伟, 赵仁鑫, 张君, 等. 内蒙古包头铁矿区土壤重金属污染特征及其评价[J]. 环境科学, 2011, 10: 3099-3105.
- [15] 徐争启, 倪师军, 虞先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 112-115.
- [16] 滕彦国, 虞先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价攀枝花地区土壤重金属污染[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(4): 25-27.
- [17] 王斐, 黄益宗, 王小玲, 等. 江西钨矿周边土壤重金属生态风险评估: 不同评价方法的比较[J]. 环境化学, 2015, 34(2): 225-233.
- [18] 党丽娜, 杨勇. 武汉市土壤重金属空间分布特征及污染评价[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(6): 66-72.
- [19] GUO W H, LIU X B, LIU Z G, et al. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiangharbor, Tianjin [J]. Procedia environmental science, 2010, 2: 729-736.
- [20] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. Water research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [21] 甘国娟, 刘伟, 邱亚群, 等. 湘中某冶炼区农田土壤重金属污染及生态风险评估[J]. 环境化学, 2013, 32(1): 132-138.
- [22] 朱传威, 温汉捷, 张羽旭, 等. 铅锌矿床中的 Cd 同位素组成特征及其成因意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 11: 1847-1856.
- [23] 张志毅, 黄丽, 卢胜, 等. 2 种母岩发育的地带性土壤中粘土矿物的组成特点[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(3): 51-58.
- [24] 赵曦, 黄艺, 李娟, 等. 大型垃圾焚烧厂周边土壤重金属含量水平、空间分布、来源及潜在生态风险评估[J]. 生态环境学报, 2015(6): 1013-1021.
- [25] 储彬彬, 罗立强. 南京栖霞山铅锌矿地区土壤重金属污染评价[J]. 岩矿测试, 2010(1): 5-8.

Pollution analysis and ecological environment risk assessment of heavy metals in soils of a Pb-Zn mine in Hunan Province

YU Xuan SONG Liuting TENG Yanguo

College of Water Sciences, Beijing Normal University/Engineering Research Center of Groundwater Pollution Control and Remediation, Ministry of Education, Beijing 100875, China

Abstract In order to investigate the concentrations and potential ecological risks of heavy metals in soils, the total concentrations of Cd, As, Pb, Cr, Cu, Zn and Ni in the topsoil of paddy fields near a Pb-Zn ore deposit located in Hunan Province were analyzed with field sampling and laboratory analyses. The results showed that the soil was seriously polluted by heavy metals. The value of P_{LI} was 2.6 calculated by 25 sampling points, indicating that the extent of contaminated soil is heavy. The potential ecological risk of soil calculated by risk index (R_1) revealed that there is a considerable-high ecological risk in study area. The average concentration of heavy metals was in the order of $Cd > Pb > As > Cu > Ni > Zn > Cr$. Results of correlation analysis and principal component analysis showed that the soil of the studied area was mainly polluted by Cd, Pb, As, Zn. It may be due to the mining activities.

Keywords farmland soil; heavy metals; pollution assessment; single factor index method; geoaccumulation index method; potential ecological risk

(责任编辑:陆文昌)