

# 基于典范对应分析的铅锌矿尾砂坝坍塌 污染土壤特征研究

李强<sup>1)</sup>, 李忠义<sup>3)</sup>, 靳振江<sup>1,2)</sup>, 罗苴<sup>2)</sup>, 唐志琴<sup>2)</sup>, 黄静云<sup>2)</sup>, 陆文体<sup>2)</sup>

- 1) 国土资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林, 541004;
- 2) 广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西桂林, 541004;
- 3) 广西农业科学院农业资源与环境研究所, 南宁, 530007

**内容提要:**分析重金属与土壤性质之间的相互关系,可以为土壤污染控制及修复提供科学依据。以广西阳朔思的村铅锌矿尾砂坝坍塌后所污染的岩溶农田为研究对象,采用典范对应分析方法研究土壤重金属全量-土壤性质之间的关系。结果表明,尾矿砂来源于铅锌铜共生矿。典范对应分析显示,土壤有机碳与全铅、全锌、全铜的距离最近,并与归一化的全量重金属呈极显著正相关,说明经过近40 a的耕作,土壤有机碳仍然处于较低水平。速效磷与土壤全铅、全锌、全铜呈显著负相关,与岩溶土壤pH降低后导致水溶性P与Pb生成溶解度极低的氯(羟基)磷酸铅盐化合物有关,说明污染源的pH值是影响P—Pb—Zn—Cu相互作用过程的重要因素。此外,该区面源污染时空分异显著,今后在岩溶区开展重金属污染土壤治理时必须对整个区域进行定量的不确定性分析。

**关键词:**尾矿砂;重金属;岩溶;土壤特征;典范对应分析

在选矿过程中,通过矿石粉碎、定向化学浸提和浮选后,被遗弃的矿石提取残余物称之为尾矿砂,其成分以沙粒和粉粒为主,重金属含量高、有机质极其贫乏(束文圣等,2003;衣德强等,2006)。因而矿山尾砂库垮坝可导致污染物迁移和扩散,造成大面积的土地污染,土壤重金属含量升高,土壤酸化、有机质含量降低、土壤板结(Simon et al., 1999),威胁人体健康和生命安全。特别是在缺少天然防渗或过滤层的岩溶区,这类环境污染问题尤为突出(袁道先,1988)。目前,针对矿山尾砂库垮坝导致的土壤重金属污染研究,集中于单因子变异规律,污染要素考虑的比较单一,较少考虑影响重金属分布的土壤因子等因素(王兴明等,2005)。在分析复合重金属污染与多种变量因子之间的关系时,典范对应分析(Canonical correlation analysis, CCA)是一种较好的统计方法(Qiu et al., 2001;刘世梁等,2003;张庆利等,2005)。这种方法将对应分析与多元回归分析相结合,其基本思路是:在对应分析的迭代过程中,

将每次得到的排序值均与环境等因子进行多元线性回归,使之直接反映出因子对排序结果的影响(曹彤等,2005)。在本研究中,作者试图通过多元统计和典范对应方法研究尾砂坝坍塌区土壤重金属全量与土壤性质之间的相互关系,探讨尾砂坝坍塌后对岩溶区农田土壤特征的影响,以期对岩溶区土壤污染控制和修复提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域与采样

老厂铅锌矿位于阳朔县东北,自20世纪50年代进行开采,并于1958年在采矿坑口附近建立小型浮选厂进行选矿生产(覃朝科等,2005)。大约在20世纪70年代一次强降雨造成尾矿砂坝坍塌,尾矿砂沿河谷泻入流经思的村的一条小河。由于思的村坐落于岩溶洼地上,此次尾矿砂坝的坍塌导致该村大面积农田受到污染。随后当地农民陆续将淤塞河道平整为农田,种植水稻、油菜、柑桔等作物,并挖

注:本文为“中国地质调查局百名青年地质英才培养计划”;国家自然科学基金资助项目(编号41003038, 41361054);广西自然科学基金资助项目(编号2011GXNSFD018002, 2011GXNSFA018006, 2010GXNSFB013004);岩溶动力学重点实验室开放基金资助项目(编号KDL2010-02, KDL2011-10)和岩溶地质研究所项目(编号D201307)的成果。

收稿日期:2012-12-21;改回日期:2013-11-13;责任编辑:章雨旭。

作者简介:李强,男,1978生。博士,副研究员。主要从事岩溶生物地球化学研究。Email:glqiangli@163.com。通讯作者:靳振江。Email:zhenjiangjinjin@163.com。

掘了一条新河道以便泄洪(图1)。

本研究沿原淤塞河道自上游至下游将受污染农田土壤划为31个小区,样品采自土壤剖面0~20 cm的耕作层,每个小区随机采集3个等量样本,田间均匀混合为1个样本,用无菌塑料袋封装(图1)。土样带回实验室,一部分土样放入-80℃冰冻箱中保存备用,另一部分经风干、混匀后,用四分法留取1 kg,再取少量过100目筛,供重金属全量和土壤理化性质分析。

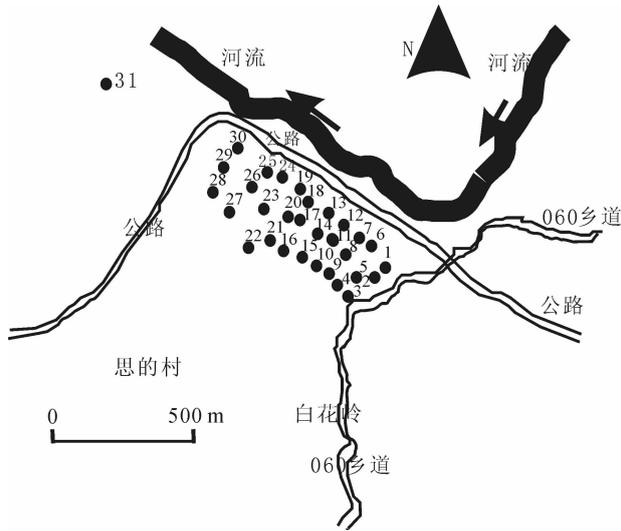


图1 阳朔县思的村采样位置示意图

Fig. 1 Sampling sites in Sidi village, Yangshuo, Guangxi

## 1.2 样品分析

土壤全量铅、锌、铜采用微波消解法预处理,利用原子吸收光谱仪测定。土壤pH值采用PHS-3C型精密pH计直接测定,其余采用《土壤农化分析方法》中的有关方法进行分析,具体如下:土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定,土壤有机碳含量采用浓硫酸-重铬酸钾外加热法测定;土壤总氮含量采用浓硫酸消煮-凯氏定氮法测定;土壤速效磷含量采用碳酸氢钠法测定;土壤阳离子交换量采用乙酸铵法测定(鲁如坤,1985)。分析结果列于表1。

## 1.3 数据处理

采用SPSS 10.0统计软件对所测定的数据(表1)进行单因素方差分析(One-way ANOVA),并进行LSD检验(Lowest standard deviation test,  $p = 0.05$ )。然后以土壤重金属全量数据作环境变量,土壤理化性质参数做典范函数变量进行典范对应分析,考察重金属全量与土壤理化性质参数之间的动态关系(张金屯,2004)。重金属全量的归一化参考

靳振江等(2013)的方法进行。

## 2 结果和讨论

### 2.1 重金属污染土壤因子的分布格局

表2为思的村重金属污染土壤的描述性统计分析,分别测量了每个采样点(共31个样点)土壤的10项指标:全量锌、全量铅、全量铜、有机碳(SOC)、总氮(TN)、碱解氮(AN)、速效磷(AP)、碳氮比(CPN)、阳离子交换量(CEC)和pH值。结果表明:除了土壤pH值变异很小外,其它土壤性质都呈现出较大的变异。其中,土壤全量锌、全量铅、全量铜、速效磷均表现为中等以上程度变异(张伟等,2006),特别是全量锌的变异系数高达86.92%;有机碳、总氮、碱解氮、碳氮比、阳离子交换量的变异较小,但也达到19%以上。土壤pH值变异较小,在于该区处在岩溶洼地上,土壤渗透性较高,受降雨影响土壤pH值能快速达到一致的状态(蒋忠诚,2000)。而土壤全量锌、全量铅的中位数和平均值相差比较大,说明有特异值存在。这可能在于老厂铅锌矿尾矿砂坝坍塌后,重金属含量极高的尾矿砂随着地表径流进入到思的村地势较低的自然土地中,导致该地区的重金属质量分数高于远离矿山地区的自然土壤。此外,该污染区后期还受地表水流溶解运移、农业活动等因素的影响,导致整个研究区污染物分布极不均一,并呈现出典型的面源污染特征(林钟荣等,2012;茆峰等,2012)。因而,在今后开展生态修复时,必须对整个区域进行定量的不确定性分析,根据面源污染模型,方能提出相应的土地整理及植物修复等措施(Mark et al., 2008; 茆峰等, 2012)。

### 2.2 土壤重金属全量与土壤性质之间的关联分析

从图2可以看出,三种重金属之间的夹角较小,表明土壤全量锌与全量铜有很强的关联性,并且土壤全量铅与全量铜也有很强的关联性,说明该尾矿污染土壤中的重金属以铅、锌为主,铜次之。因此,铜来源于铅锌共生的矿物,该分析结果与宁浦功(1992)关于该区的矿床地质特征一致。

代表主要土壤理化性质的土壤有机碳在CCA二维排序图上与代表全量锌、全量铅和全量铜箭头连线之间的距离最小,彼此之间的关联性最好(图2)。由于以沙粒和粉粒为主的尾矿砂自身有机成分较少,受污染土壤尽管经过当地农民长达40多年的农业耕作,土壤理化特性得到改善,但是,尾矿砂污染土壤的有机碳含量仍处于较低水平(张崇邦

等,2009)。此外,在图 2 的 CCA 二维排序图上,除了显示耕作过的尾矿砂污染土壤有机碳偏低外,同时还表现出土壤中的碳氮比、总氮、碱解氮与三种全

量重金属具有一定的关联性。

### 2.3 土壤重金属对土壤性质的影响程度分析

鉴于铅锌铜共生的矿尾砂是一个污染复合体,

表 1 阳朔县思的村土壤性质分析结果

Table 1 The analysis results of soil properties in Sidi village, Yangshuo, Guangxi

样号	锌全量 (mg/kg)	铅全量 (mg/kg)	铜全量 (mg/kg)	pH	有机碳 (g/kg)	总氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	碳氮比	阳离子交换量 (mmol/kg)
1	518.70	4176.00	0.28	6.57	10.60	9.00	76.65	0.89	11.60	10.00
2	1462.10	3446.00	0.71	6.44	19.80	17.00	151.20	1.08	11.88	17.25
3	293.20	2298.00	0.21	6.27	11.20	12.00	121.80	1.40	9.47	10.75
4	371.50	2545.00	0.27	5.86	16.50	17.00	166.95	2.04	9.74	12.25
5	1439.10	2154.00	0.58	6.01	22.60	20.00	172.20	3.35	11.06	15.63
6	655.80	2425.00	0.46	6.00	11.60	13.00	120.75	1.00	9.17	11.00
7	874.80	1620.50	0.60	5.69	14.40	14.00	119.70	1.54	10.46	13.38
8	3119.00	1847.00	1.12	5.46	27.60	22.00	173.83	1.47	12.54	17.75
9	426.20	977.30	0.38	5.59	15.20	17.00	115.27	1.12	9.19	11.00
10	906.10	1624.80	0.62	5.52	12.70	15.00	99.63	0.57	8.56	-
11	1296.00	1442.00	0.55	5.91	15.70	17.00	159.43	0.30	9.33	-
12	1358.50	1404.50	0.48	5.89	17.70	19.00	155.63	1.40	9.41	14.50
13	330.20	613.40	0.25	6.43	8.10	11.00	78.63	-	7.53	15.63
14	2213.00	2184.10	0.73	5.73	18.20	22.00	207.43	1.99	8.10	14.75
15	1055.10	1312.80	0.48	5.82	15.30	21.00	145.25	1.38	7.16	13.13
16	743.00	944.20	0.30	5.82	13.00	21.00	158.20	2.26	6.29	12.38
17	650.80	933.80	0.30	5.14	17.20	23.00	180.60	1.10	7.57	14.13
18	1909.70	1939.70	0.53	5.52	22.90	24.00	190.40	2.30	9.75	16.75
19	1307.00	2120.30	0.44	5.96	16.00	22.00	129.97	-	7.19	16.38
20	620.60	812.60	0.24	5.51	11.20	18.00	134.75	0.52	6.16	13.50
21	1043.60	569.50	0.48	5.65	12.20	18.00	137.73	0.48	6.92	9.13
22	1979.60	1889.70	0.85	5.54	18.00	24.00	189.00	1.74	7.43	14.63
23	1023.90	2015.10	0.49	6.37	13.40	18.00	121.10	0.71	7.46	11.88
24	844.50	1323.20	0.40	5.30	14.70	20.00	134.75	1.07	7.44	14.50
25	599.80	1128.30	0.38	5.58	17.70	22.00	154.00	2.37	8.03	18.00
26	345.80	1084.20	0.29	5.18	19.60	25.00	183.40	1.07	7.88	13.50
27	1598.00	1633.00	0.56	5.52	14.00	21.00	152.60	1.46	6.81	16.25
28	1563.20	1893.00	0.55	5.37	15.00	21.00	190.63	0.05	7.25	10.25
29	240.70	956.40	0.24	5.25	15.00	16.00	145.13	0.74	9.58	10.25
30	600.50	1747.70	0.37	5.60	11.40	13.00	129.27	0.98	9.04	9.25
31	5513.00	6423.00	1.68	5.53	19.00	18.00	171.50	0.06	10.67	13.13

注:“-”表示数据缺失。

表 2 阳朔县思的村土壤性质的描述性统计分析

Table 2 Descriptive statistical analysis of soil properties in Sidi village, Yangshuo, Guangxi

土壤性质	样本数	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数	中位数
全量锌(mg/kg)	31	5513.00	240.70	1190.42	1034.42	86.92	906.10
全量铅(mg/kg)	31	6423.00	569.50	1852.33	1152.73	62.16	1633.00
全量铜(mg/kg)	31	1.68	0.21	0.51	0.30	57.88	0.48
pH(H <sub>2</sub> O)	31	6.57	5.53	5.74	0.38	6.57	5.82
有机碳(g/kg)	31	27.60	8.10	15.73	4.11	26.14	13.00
总氮(g/kg)	31	2.49	0.91	1.83	0.42	22.75	2.10
碱解氮(mg/kg)	31	270.43	76.65	147.33	32.18	21.84	158.20
速效磷(mg/kg)	29	3.35	0.05	1.26	0.75	59.61	1.10
碳氮比	31	12.54	6.16	8.73	1.68	19.32	8.10
阳离子交换量(mmol/kg)	29	18.00	9.13	13.48	2.60	19.29	13.50

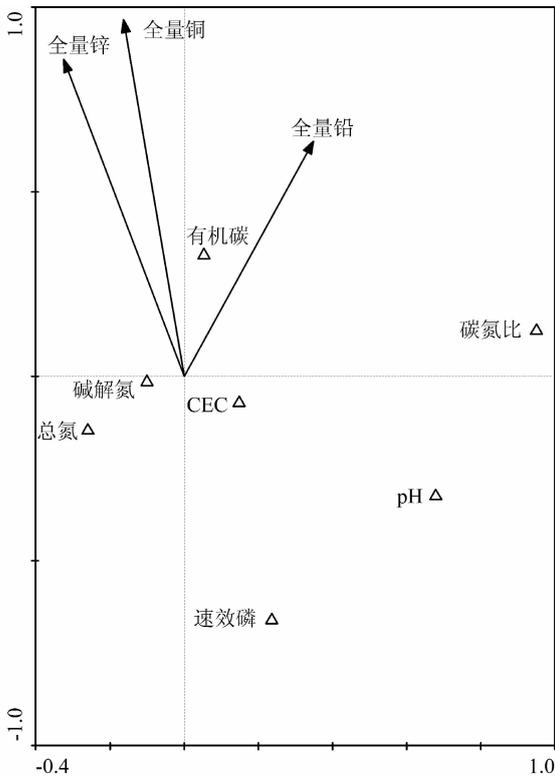


图2 阳朔县思的村土壤性质与环境因子的 CCA 二维排序图

Fig. 2 Ordination diagram of the first two axes of canonical correspondence analysis of soil properties and environmental factors in Sidi village, Yangshuo, Guangxi

壤中的重金属全量进行归一化处理(施翔等, 2012)。归一化的全量重金属与土壤有机碳呈极显著正相关(表3),说明在探讨重金属污染土壤元素含量与土壤性质的关系时必须明确污染物的形态和特征(储彬彬,2012)。

土壤有机碳和总氮、碱解氮呈极显著正相关,与阳离子交换量呈显著正相关;pH 值与总氮、碱解氮、碳氮比呈极显著负相关;速效磷与碳氮比呈极显著正相关,与阳离子交换量呈显著负相关(表3)。由于尾矿砂 pH 较低,当污染源到达思的村后,导致该区岩溶土壤的 pH 值降低(蒋忠诚,2000)。尽管当地农民对该区污染土壤进行长达 40 多年的耕种,土壤有机质、总氮和碱解氮得到相应的增加,土壤的酸化程度得到一定的缓解。但是,由于氨化作用最适宜的 pH 值范围在 6.5 ~7.5 之间,并随着 pH 值的降低而降低,在酸性环境条件下导致土壤有机质矿质化而释放出更多的有效养分,从而造成土壤 pH 值与土壤总氮、碱解氮和有机碳呈极显著负相关(沈其荣,2001;张崇邦等,2009;Anna et al. ,2011)。

酸性环境下土壤中的水溶性 P 与 Pb 容易生成溶解度极低的氯(羟基)磷酸铅盐化合物(王碧玲, 2008)。此外,含磷物质对土壤中 Zn 的作用通过表面吸附作用和沉淀/共沉淀作用这两种机制产生影响,并认为如果表面吸附作用是主导机制的话,pH 将是影响表面吸附作用的主要因素(Hettirachchi et al. ,2002;Cao et al. ,2004)。由于土壤 Zn 含量与土壤 pH 显著负相关,说明即使生成了氯(羟基)磷酸铅盐化合物,土壤中 Zn 的活性还主要受污染源的 pH 控制,进一步说明了含 P 物质具有显著降低铅锌

表3 阳朔县思的村土壤性质与环境因子间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients for soil properties and environmental factors in Sidi village, Yangshuo, Guangxi

	全量铅	全量铜	归一化的全量重金属	pH	有机碳	总氮	碱解氮	速效磷	碳氮比	阳离子交换量
全量锌	0.991 **	0.995 **	0.547 **	-0.414 *	0.025	0.132	0.222	0.783 **	0.972 **	-0.396 *
全量铅		0.997 **	0.493 **	-0.440 *	0.020	0.146	0.231	0.778 **	0.967 **	-0.373 *
全量铜			0.499 **	-0.427 *	0.001	0.142	0.227	0.789 **	0.977 **	-0.387 *
归一化的全量重金属				-0.009	0.472 **	0.140	0.334	0.251	-0.253	-0.150
pH					-0.317	-0.583 **	-0.523 **	-0.337	-0.612 **	0.116
有机碳						0.666 **	0.717 **	-0.147	-0.042	0.426 *
总氮							0.808 **	0.068	0.541 **	0.331
碱解氮								0.041	0.306	0.307
速效磷									0.757 **	-0.390 *
碳氮比										-0.229

注:“\*”表示在 P < 0.05 水平显著相关,“\*\*”表示在 P < 0.01 水平极显著相关。

矿污染土壤中 Pb 环境风险的作用,该研究结果与王碧玲(2008)模拟结果一致。因而土壤中的含 P 物质具有显著降低复合污染土壤 Pb、Zn 和 Cu 植物毒性的作用。

### 3 结论

(1) 研究区铅锌尾矿砂来源于铅锌矿共生矿体。此外,受后期农业活动、降雨及地表径流影响,尾矿砂坍塌后造成的面源污染时空分异显著。

(2) 受污染物形态和特征影响,在对铅锌尾矿砂污染的岩溶土壤开展相关分析时,重金属全量的归一化处理并与典范对应分析关系和相关分析的结合,是较为合理和有效的数据处理与分析方法。

(3) 尽管农业耕作活动能够一定程度提高尾矿砂污染土壤的有机质含量,但受污染物性质影响,土壤有机碳含量仍处于较低的水平。

(4) 土壤中的含 P 物质具有显著降低复合污染土壤中 Pb、Zn 和 Cu 植物毒性的作用。

致谢:感谢审稿专家及编辑提出的宝贵意见。

### 参 考 文 献 / References

曹彤,江源,宋阳,和克俭. 2005. 陕北种植业土地利用与农业投入关系的典范对应分析. 资源科学, 27(4): 56~72.

储彬彬. 2012. 铅锌矿区重金属的富集规律和形态研究. 导师: 罗立强. 北京: 中国地质科学院博士学位论文, 5~90.

蒋忠诚. 2000. 论南方岩溶山区生态环境的元素有效态. 中国岩溶, 19(2): 123~128.

靳振江,李强,黄静云,黄静云,邓丽君,陆文体,黄美辉,唐志琴,唐显治,罗堃,杨帅,吴琼敏. 2013. 典型岩溶生态系统土壤酶活性、微生物数量、有机碳含量及其相关性——以丫吉岩溶试验场为例. 农业环境科学学报, 32(2): 307~313.

刘世梁,马克明,傅伯杰,康永祥,张洁瑜,张育新. 2003. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究. 植物生态学报, 27(4): 496~502.

林钟荣,郑一,向仁军,刘湛,张青梅,韩峰. 2012. 重金属面源污染模拟及其不确定性分析——以湘江株洲段镉污染为例. 长江流域资源与环境, 21(9): 1112~1118.

鲁如坤. 1985. 土壤农化分析. 南京: 农业出版社, 217~220, 247, 450~451.

茆峰,苏馈足,康加廷,冯宇,江鸿,甄宏. 2012. 基于改进输出系数法的矿区重金属面源污染负荷核算模型. 环境科学研究, 25(2): 207~211.

宁浦功. 1992. 广西老厂铅锌矿床地质特征及其成因探讨. 广西地质, 5(4): 33~42.

覃朝科,李艺,韦松,黄广宇. 2005. 阳朔铅锌矿的环境现状与尾矿废水处理模式分析. 矿产与地质, 19(1): 99~102.

沈其荣. 2001. 土壤肥科学通论. 北京: 高等教育出版社, 85.

施翔,陈益泰,王树凤,李江川. 2012. 废弃尾矿库 15 种植物对重金属 Pb、Zn 的积累和养分吸收. 环境科学, 33(6): 2021~2027.

束文圣,叶志鸿,张志权,黄铭洪,蓝崇钰. 2003. 华南铅锌尾矿生态恢复的理论与实践. 生态学报, 23(8): 1629~1639.

王碧玲. 2008. 含磷物质修复铅锌矿污染土壤的机理和技术. 导师: 谢正苗. 杭州: 浙江大学博士学位论文, 1~119.

王兴明,刘登义,徐俊芳,李征,王友保. 2005. 芜湖钢铁厂周边土壤及油菜籽中镉、铜、锌、铅含量和形态分布研究. 应用生态学报, 16(10): 1924~1931.

衣德强,尤六亿,范庆霞. 2006. 梅山铁矿尾矿综合利用研究. 矿冶工程, 2(2): 45~47.

袁道先. 1998. 论岩溶环境系统. 中国岩溶, 7(8): 179~186.

张崇邦,王江,王美丽. 2009. 尾矿砂堆积地五节芒自然定居对土壤微生物生物量、呼吸速率及酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 15(2): 386~394.

张金屯. 2004. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 157~164.

张庆利,史学正,黄标,于东升,王洪杰, Karin B, Ingrid O. 2005. 南京城郊蔬菜基地土壤有效态铅、锌、铜和镉的空间分异及其驱动因子研究. 土壤, 37(1): 41~47.

张伟,陈洪松,王克林,苏以荣,张继光,易爱军. 2006. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析. 中国农业科学, 39(9): 1828~1835.

Anna M L, Anthony D N, William D B. 2011. Nitrogen deposition decreases acid buffering capacity of alpine soils in the southern Rocky Mountains. Geoderma, 164(3~4): 220~224.

Cao Xinde, Ma L Q, Rhue D R, Appel C S. 2004. Mechanisms of lead, copper and zinc retention by phosphate rock. Environmental Pollution, 131: 435~444.

Hettirachchi G M, Pierzynski G M, Ransom M D. 2000. In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide. Environmental Science and Technology, 34(21): 4614~4619.

Mark L V, John F E, Pierre Y J. 2008. Spatially distributed model to assess watershed contaminant transport and fate. Science of the Total Environment, 404(1): 113~128.

Qiu Yang, Fu Bojie, Wang Jun, Chen Liding. 2001. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semiarid gully catchment of the Loess Plateau, China. Journal of arid Environments, 49: 723~750.

Simon M, Ortiz I, Garcia I, Fernández E, Fernández J, Dorronsoro C, Aguilar J. 1999. Pollution of soils by the toxic spill of a pyrimine (Aznalcollar, Spain). Science of the Total Environment, 242(1~3): 105~115.

# Relationships between Soil and Environment in Pollution of Agricultural Soils from a Tailing Spill at a Pb—Zn Mine Based on Canonical Correspondence Analysis

LI Qiang<sup>1)</sup>, LI Zhongyi<sup>3)</sup>, JIN Zhenjiang<sup>1,2)</sup>, LUO Kun<sup>2)</sup>, TANG Zhiqin<sup>2)</sup>, HUANG Jingyun<sup>2)</sup>, LU Wenti<sup>2)</sup>

1) *Key Laboratory of Karst Dynamics, Ministry of Land and Resources & Guangxi Zhuang Autonomous Region, Peoples' s Republic of China; Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi, 541004;*

2) *Environmental Science and Engineering College, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004;*

3) *Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, 530007*

**Abstract:** The collapse of the tailing dam in the Laochang Pb/Zn mine of Yangshuo, Guangxi province led to the spread of mining waste in Sidi village at karst area along the irrigation river. 31 samples along the contaminated irrigation river were analyzed for total zinc, total lead, total copper, pH, soil organic carbon, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorous, C/N and cation exchange capacity in surface soil to assess the soil pollution level. Moreover, the method of canonical correspondence analysis (CCA) was employed to reveal the relationships between soil and environment. The results show that the Pb/Zn/Cu mine of the tailing sand is a multi-mineral orebody. Though after almost 40 years farming, the soil organic carbon is still quite low. From the canonical correspondence analysis map, it will be found that the total lead, zinc and copper has the high correlation and the normalized total heavy-metals has the positive correlation with the soil organic carbon. Moreover, under the effect of mining water, the karstic soil has to decrease the soil pH, which leads to this area with acid environment character. Then, the soluble P and Pb is easy to generate the low solubility of chlorine (hydroxyl) lead phosphate salt compound, because the available phosphorus has the negative correlation with total lead, zinc and copper, which means that the environment is an important factor to control the reaction process of P—Pb—Zn—Cu. At last, the non-point source pollution caused by the Pb—Zn mine tailing will produce many uncertain factors to harness the heavy metal pollution at karst area.

**Key words:** mine tailing sand; heavy metal; karst; soil characters; canonical correlation analysis