

矿区周围土壤中 Zr、Fe、Co、Se、Ti 污染分析

李庚飞^{1,2}, 刘媛¹, 王志平^{2,3}

(1. 渭南师范学院, 陕西 渭南 714000; 2. 陕西省多河流湿地生态环境重点实验室, 陕西 渭南 714000;
3. 东北师范大学 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室, 吉林 长春 130024)

摘要: 为了解陕西省潼关县金矿周围土壤的污染状况, 对矿区土壤污染进行人工生态修复治理, 以矿区周围土壤为研究对象, 采用快速测定法对土壤中 Zr、Co、Se、Fe、Ti 5 种重金属含量进行分析。结果表明: Zr、Ti、Fe 3 种重金属在研究区内累积均较少, Co、Se 累积严重; 在样区 1 和样区 3 内, 重金属分布较为均一; 样区 4 和样区 5 内重金属含量变化较大, 外源污染严重。对研究区重金属来源分析表明, 矿渣堆积、工厂及小作坊污水排放、生活垃圾是研究区内最主要的污染源。

关键词: 重金属; 变异系数; 金矿

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)09-0058-05

Analysis of Soil Contamination by Zirconium, Cobalt, Selenium, Iron and Titanium along Drainage Ditch around the Gold Mine Area

LI Geng-fei^{1,2}, LIU Yuan¹, WANG Zhi-ping^{2,3}

(1. Weinan Normal University, Weinan 714000, China; 2. Key Laboratory for Eco-environment of Multi-river Wetlands in Shaanxi Province, Weinan 714000, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: To provide the theoretical basis for establishing the ecological restoration system, soil samples around gold mine in Tongguan county were collected to determine the contents of heavy metal including zirconium(Zr), cobalt(Co), selenium(Se), iron(Fe) and titanium(Ti). The results showed that the lower contents of Zr, Ti and Fe were observed in the investigated regions, but the contents of Co and Se were very high in all sampled regions. The distribution characteristics of all heavy metals were homogeneous in the first investigated region and the third investigated region. The content variation of all heavy metals was obvious and serious soil contamination occurred in the fourth region and the fifth region. Analyzing the source of the heavy metals, soil contamination mainly was caused by piling up mineral residue, discharging the waste water, dumping household garbage.

Key words: heavy metal; coefficients of variation; gold mine

土壤是重要的环境要素之一, 是人类赖以生存与发展的重要自然资源 and 整个陆地生态系统赖以存在的基础。“健康”的土壤对于农业可持续发展和人类的生存非常重要^[1], 但随着工业的快速发展, 越来越多的污染物进入土壤环境并超过土壤环境的最大

容许量, 引起土壤环境污染。其中, 重金属进入土壤后, 因其具有隐蔽性、复杂性和不可逆性等特征^[2-3], 治理的难度较大, 如果不进行处理, 会长期留在原地, 通过各级食物链对人体造成毒害作用^[4]。因此, 重金属污染已经成为全球性的灾难^[5-6], 是全球研究

收稿日期: 2013-03-12

基金项目: 陕西省教育厅项目(2013JK0889); 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室开放基金项目

作者简介: 李庚飞(1978-), 女, 内蒙古通辽人, 讲师, 硕士, 主要从事植物生态学研究。E-mail: ligengfei2005@163.com

的热点之一^[7-8]。

潼关地处秦岭北麓,渭河岸边,并处于渭河流入黄河的交叉口,所以潼关段湿地的污染及生态状况直接影响到黄河湿地的生态状况。20 世纪 80 年代以来,各种大小金矿的涌现给当地人们带来经济效益的同时,选矿水、废水和废渣的任意排放也使当地的生态环境遭到严重的破坏。其中,重金属积累已经达到了惊人的地步,引起很多学者的普遍关注^[9-10]。在潼关县矿区重金属污染的资料中,研究较多的重金属是 Hg、Cr 和 Pb 等^[9-11],对其他重金属的研究甚少。鉴于此,以金矿排水沟周围土壤为研究对象,对土壤中 Zr、Co、Se、Fe 和 Ti 5 种重金属含量及污染程度进行分析,为金矿区农田土壤修复及环境治理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

本研究区域位于小秦岭北坡中低山地区,地理坐标为 34°23′~34°35′N,110°15′~110°25′E。海拔高度为 400~500 m,土壤类型主要为黄棕壤,属暖温带大陆性半干旱季风气候。光能资源较充足,热量和降水量偏少,年均日照时间 2 269 h。年平均气温 12.8 °C,年平均降水量为 625 mm,年植被蒸发量 1 193 mm,四季多风,年平均风速 3.2 m/s。

1.2 样品采集及测量

样区选取:在 2011 年 9 月从陕西省潼关县某金矿废水排放点周围的土壤开始,以废水沟至 3 条污水河汇集处(当地人称为三河口)沿线土壤为研究对象,采用样线法采样,同时用 GPS 定位系统进行布点采样。共分 5 个样区,设 35 个样点(样区 1:P I 1、P I 2、P I 3、P I 4、P I 5、P I 6;样区 2:Y II 1、Y II 2、Y II 3、Y II 4、Y II 5、Y II 6、Y II 7、Y II 8、Y II 9、Y II 10、Y II 11、Y II 12、Y II 13;样区 3:Y I 1、Y I 2、Y I 3、Y I 4、Y I 5;样区 4:H II 1、H II 2、H II 3、H II 4、H II 5;样区 5:P II 1、P II 2、P II 3、P II 4、P II 5、P II 6)。

样品采集:除去表土,采集地表下 0~20 cm 左右的土壤,每个采样点划定 1 m² 的样地,根据地块形状在每个采土区内采取“S”法或“X”法,每个区域样点分别由 5 个样点混合,经四分法保留 0.5 kg 样土,装入 PE 塑料袋内。同时对土壤样品采样地编号。

样品处理及测量:样品带回后,除去作物根系和石砾,在实验室内自然风干后将样品研磨并通过孔径 150 μm 尼龙筛。将处理后的样品均制作成 5 cm³ 的土样模块,采用便携式土壤重金属测量仪(ALPHA-4000 美国)直接测定。

1.3 评价方法

采用单项污染指数^[12]对土壤污染程度进行评价分析。 $P_i = C_i / S_i$,式中, P_i 为土壤中所测元素 i 的污染指数; S_i 为土壤中所测元素 i 的评价标准; C_i 为土壤中所测元素 i 的实测含量。

2 结果与分析

2.1 各样区重金属含量

由表 1 可知,不同元素在各样区内含量分布存在较大差异。样区 3 内,Zr、Co、Se、Ti、Fe 的极值比和变异系数均较低,说明 5 种元素含量分布较为均一,外源污染较少。样区 2 内,重金属 Zr 的极值比和变异系数相对于样区 1 明显升高,分布较不均一,金属 Fe 极值比增大而变异系数降低,说明它在样区 2 内可能有个别样点含量极高。样区 4 内,除 Ti 极值比和变异系数较低外,其余 4 种元素极值比和变异系数均很高,土壤重金属含量显示出异于前几个样区的分布特征,各样点含量差别较大,重金属含量分布不均一,可能外源污染严重导致^[13]。样区 5 内,除 Ti 外其他 4 种重金属含量极值比和变异系数均稍低于样区 4 而高于其他样区,表明这 4 种重金属含量分布不均,外源污染较严重。另外,与其他 4 种重金属相比,Zr 含量的极值比和变异系数在样区 2—5 中均最高,可能存在异于其他元素的污染来源和途径。

表 1 各样区 5 种重金属含量

样区	项目	Zr	Co	Se	Ti	Fe
1	最大值/(mg/kg)	312.7	378.5	5.0	4 653.3	49 230.0
	最小值/(mg/kg)	185.0	234.0	2.5	2 673.3	25 612.7
	平均值/(mg/kg)	226.8	294.3	3.7	3 816.7	35 608.4
	标准差	46.0	48.3	1.2	692.8	10 344.5
	变异系数/%	20.26	16.42	31.45	18.15	29.05
2	最大值/(mg/kg)	320.7	335.8	5.8	4 415.3	42 570.7
	最小值/(mg/kg)	90.7	191.8	2.5	2 021.0	17 918.3
	平均值/(mg/kg)	214.2	268.6	4.1	3 400.0	30 556.1
	标准差	64.6	45.7	1.1	806.3	6 611.2
	变异系数/%	30.14	17.03	27.01	23.71	21.64

续表 1 各样区 5 种重金属含量

样区	项目	Zr	Co	Se	Ti	Fe
3	最大值/(mg/kg)	228.0	315.0	4.3	4 437.3	34 051.7
	最小值/(mg/kg)	113.0	185.3	3.3	2 810.0	26 611.3
	平均值/(mg/kg)	181.9	253.5	3.8	3 744.9	30 593.7
	标准差	44.2	48.4	0.4	603.5	2 763.9
	变异系数/%	24.29	19.11	10.65	16.12	9.03
4	最大值/(mg/kg)	551.3	642.5	7.0	5 561.0	96 358.0
	最小值/(mg/kg)	68.0	244.5	2.5	2 898.7	23 394.3
	平均值/(mg/kg)	216.0	375.3	4.2	3 816.2	43 693.5
	标准差	198.0	154.6	1.8	1 038.3	31 426.1
	变异系数/%	91.67	41.20	43.42	27.21	71.92
5	最大值/(mg/kg)	438.7	391.5	5.8	5 668.0	55 056.3
	最小值/(mg/kg)	68.7	194.5	2.3	2 246.3	19 752.3
	平均值/(mg/kg)	179.9	273.2	3.5	3 525.7	33 664.7
	标准差	135.7	91.1	1.2	1 517.8	15 151.2
	变异系数/%	75.41	33.36	33.56	43.05	45.01

2.2 5 种重金属在各样点的分布特征

2.2.1 Zr 由图 1 可知, P I 1、Y II 2、Y II 4、Y II 6、H II 3、P II 4 样点 Zr 含量在同一样区内相对较高, 故这 6 个样点附近应存在 Zr 元素污染来源。P I 1 含量较高, 源于其位于矿渣堆积处附近^[14]; Y II 2、Y II 4、Y II 6

这 3 个样点位于样区 2 内小作坊附近, 含 Zr 重金属污水随意排放是导致附近土壤重金属 Zr 含量较高的原因; H II 3 样点位于工厂废渣堆附近, 长期雨水淋溶导致废渣中 Zr 进入附近土壤^[15]; P II 4 位于农田附近, 污水浇灌应是土壤中重金属 Zr 含量较高的主要原因。

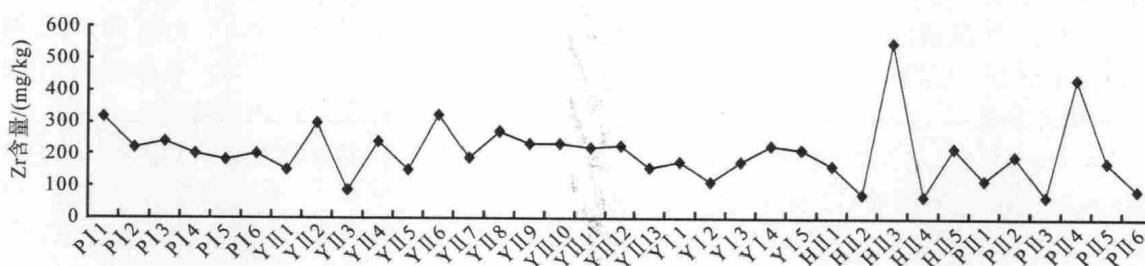


图 1 各样点重金属 Zr 含量分布

2.2.2 Co 由图 2 可知, 研究区内 Co 可能的污染源应位于 P I 5、Y II 1、H II 2、P II 1、P II 4 各样点附近, 其他样点 Co 含量大体沿污染源向下含量递减。在样区 2 内的 Y II 8—Y II 13 各样点, Co 含量变化较小且规律不明显, 可能是这些样点同位于农田中, 当地居民长期耕作及使用含重金属污

水灌溉农田造成的。Y II 1 样点为 Co 污染来源, 其重金属来源为周围小作坊含 Co 污水的排放。H II 2 样点为 Co 污染来源, 因其上游存在一工厂, 其污水排放是导致 H II 2 样点 Co 含量较高的原因。P II 1 含有较高浓度 Co 源于其位于公路附近, 机动车辆及扬尘可能是此处 Co 含量较高的原因。

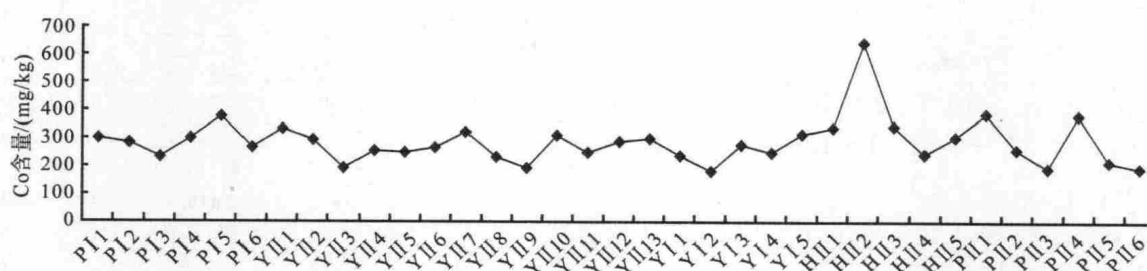


图 2 各样点重金属 Co 含量分布

2.2.3 Se 由图 3 可知,Se 分布较离散,各样点含量变化较大,可能污染源存在于 P I 1、Y II 1、Y II 6、H II 2、P II 1 各样点附近。Y II 1、Y II 6 样点 Se 含量较高可能源于附近小作坊污水排放及废弃物堆积;H II 2 样点 Se 含量较高是上游工厂污水排放所致;P II 1 样点 Se 含量偏高与取样位置距离道路较近有关,污染来源于车辆及扬尘。

2.2.4 Ti 由图 4 可知,Ti 在样区 2 内 Y II 1、Y II 6 样点均存在污染来源,而样区 2 内小作坊分布较密集,其利用金矿厂排放的废水或废渣再次提取他们需要的金属或矿质元素,同时小作坊的废弃物

再次产生污染,样点 Y II 1、Y II 6 的重金属 Ti 较高含量可能来源于小作坊的废弃物。污染源还可能存在于 Y I 5、H II 3、P II 1、P II 4。样点 Y I 5 中 Ti 含量较高可能与周边矿渣堆积有关;H II 3 中 Ti 可能来源于工厂排污;P II 1 中 Ti 可能来源于车辆及扬尘^[16];P II 4 中 Ti 则可能来源于生活垃圾和工程建设。

2.2.5 Fe 由图 5 可知,研究区中 Fe 含量较高可能污染源在样点 P I 4、P I 5、Y II 1、Y II 2、H II 2、P II 1、P II 4 附近。样区 2 内各样点 Fe 含量较低,分布较为均一,小作坊污水中含 Fe 较少;H II 2 样点 Fe 含量依然很高,工厂污水中可能也含有高浓度 Fe。

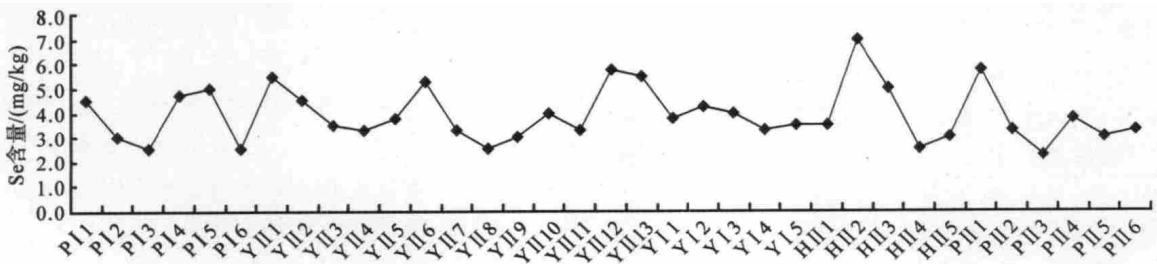


图 3 各样点重金属 Se 含量分布

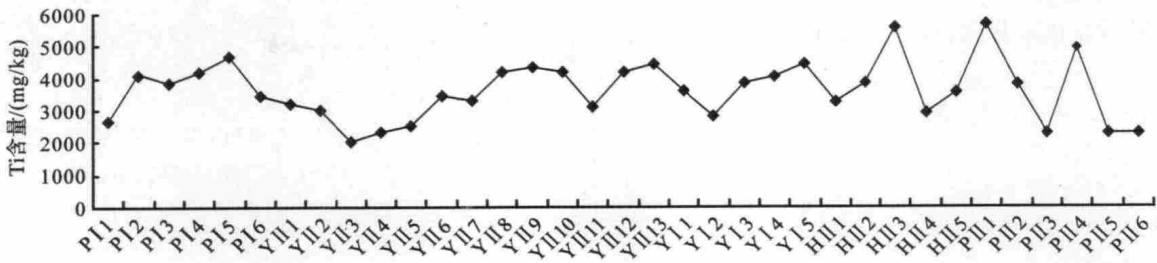


图 4 各样点重金属 Ti 含量分布

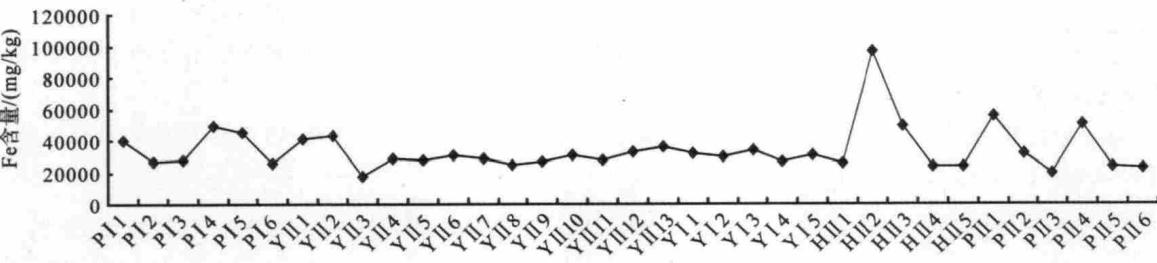


图 5 各样点重金属 Fe 含量分布

2.3 各样区重金属污染指数

由表 2 可知,Zr、Co、Se、Ti、Fe 5 种重金属在 5 个样区的单项污染指数分别为 0.7~0.9、20.0~29.6、12.2~14.5、0.9~1.1、1.1~1.5,且除 Zr 外 4 种重金属均在样区 4 出现最高值,说明第 4 样区较其他样区污染严重。另外,5 种重金属中,Co、Se 2 种重金属在各个样区累积均较重,外源污染严重^[17],Zr、Ti、Fe 累积相对较轻且在不同样区中累

积程度相似。

表 2 各区重金属单项污染指数

样区	Zr	Co	Se	Ti	Fe
1	0.9	23.2	12.8	1.0	1.2
2	0.8	21.2	14.1	0.9	1.1
3	0.7	20.0	12.9	1.0	1.1
4	0.8	29.6	14.5	1.1	1.5
5	0.7	21.5	12.2	0.9	1.2

3 结论与讨论

本研究对 5 种重金属污染源分布的分析表明,在 Y II 1、Y II 4、Y II 6、H II 2、P II 1、P II 4 样点附近可能存在 5 种重金属相同或相近污染源;Y II 8—Y II 13 各样点 5 种重金属含量分布较为复杂,这几个采样点位于农田中,耕作活动及污水灌溉可能是导致重金属含量较高且分布特征复杂的主要原因^[18]。研究区内矿渣及废弃物堆积、污水排放、交通运输及扬尘、生活垃圾、工程建设均是重要污染源。在研究区内 Co、Se 表现相似的含量变化特征,它们在研究区内污染来源、迁移途径可能相同。

研究区内的样区 1、3 重金属含量变化较小,分布较为均一;4、5 样区重金属分布不均一,外源污染较严重,主要为工厂排污、交通及扬尘、工程建设和生活垃圾堆放。Co、Se 2 种重金属在样区内累积较为严重,而 Zr、Ti、Fe 累积较轻。

参考文献:

- [1] 林爱军,张旭红,苏玉红,等. 骨炭修复重金属污染土壤和降低基因毒性的研究[J]. 环境科学, 2007, 28(2): 232-237.
- [2] 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: 1-35.
- [3] 周启星,宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 316-320.
- [4] 常学秀,文传浩,王焕校,等. 重金属污染与人类健康[J]. 云南环境科学, 2000, 9(1): 59-61.
- [5] Abrahams P W. Soils: Their implications to human health[J]. The Science of Total Environment, 2002, 291: 1-32.
- [6] Adriano D C. Trace elements in the terrestrial environment, biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals (2nd ed.) [M]. New York: Springer-Verlag, 2001.
- [7] Samecka Cymerman A, Kempers A J. Toxic metals in aquatic plants surviving in surface water polluted by copper mining industry[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2004, 59: 64-69.
- [8] Komarek M, Tlustos P, Szakova J, et al. The use of maize and poplar in chelant-enhanced phytoextraction of lead from contaminated agricultural soils[J]. Chemosphere, 2007, 67(4): 640-651.
- [9] 张成渝,张鑫,常祖峰. 小秦岭金矿带混 Hg 提金法中的 Hg 污染及对策研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10(2): 18-22.
- [10] 徐友宁,柯海玲,赵阿宁,等. 小秦岭某金矿区农田土壤重金属污染评价[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 732-736.
- [11] 徐冬寅,张江华,柯海玲,等. 潼关金矿区农田土壤 Cd 污染分析[J]. 黄金, 2010, 31(5): 53-56.
- [12] 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.
- [13] 李福燕,吴鹏飞,赵雄,等. 三亚市果蔬地重金属空间分布及其污染评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 382-386.
- [14] 滕彦国,庾先国,倪师军,等. 应用地积累指数评价攀枝花地区土壤重金属污染[J]. 三峡环境与生态, 2002, 24(4): 25-27.
- [15] 崔龙鹏,白建峰,史永红,等. 采矿活动对煤矿区土壤中重金属污染研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 896-903.
- [16] 王军,陈振楼,王初,等. 上海崇明岛蔬菜地土壤重金属含量与生态风险预警评估[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 647-653.
- [17] 史贵涛,陈振楼,许世远,等. 上海市区公园土壤重金属含量及其污染评价[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 490-494.
- [18] 王贵玲,蔺文静. 污水灌溉对土壤的污染及其整治[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 163-166.