农业环境科学学报 2008,27(1):0200- 0206
Journal of Agro-Environment Science

小秦岭金矿区不同污染方式土壤剖面上重金属含量分布特征

徐友宁，张江华，陈社斌，柯海玲

(西安地质矿产研究所，陕西 西安 710054)

摘 要：小秦岭某金矿区由于矿业活动导致农田土壤重金属污染严重。本文选择了农业生产型、大气降尘型、河水灌溉型、矿业污水灌溉型、尾矿渣淋溶型等 5 类污染方式的典型土壤剖面，研究了垂向上重金属元素含量的分布特征、影响深度及程度。结果表明，不同污染方式条件下，土壤剖面上 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 综合污染程度以矿业污水灌溉型最为严重，且重金属淋溶下渗能力最大，其次为尾矿渣淋溶型。同一污染方式条件下，Hg 的污染程度最为严重。60 cm 深度内，污水灌溉土壤中 Hg 的含量均值为 10.778 mg·kg^{-1}，其次是大气降尘型 2.536 mg·kg^{-1} 和河水灌溉型 1.766 mg·kg^{-1}。所有土壤剖面上重金属元素不同程度累积污染超标深度达 60 cm，因而仅仅采取就地深翻方式治理耕作层土壤污染，无法达到目的，这一结论为矿区耕作层土壤污染治理提供了科学依据。

关键词：土壤剖面；重金属污染；小秦岭金矿区

中图分类号：X833 **文献标识码**：A **文章编号**：1672- 2043(2008)01- 0200- 07

Distribution of Contents of Heavy Metals in Soil Profile Contaminated in Different Ways in Xiaoqinling Gold Mining Area

XU You-ning, ZHANG Jiang-hua, CHEN She-bin, KE Hai-ling

(Xi'an Geological Survey Center, China Geological SurveyBureau, Xi'an 710054, China)

Abstract: The cropland soil in Xiaoqinling gold mining area was seriously polluted by heavy metals because of the mining industry. 5 typical soil profiles, farming type, atoms dust- fall type, river irrigation type, mining sewage irrigation type and tailings wastes eluviation type, were selected to study the distribution feature of heavy metals and their influencing depth and degree in vertical direction. The results showed that, among different types of polluted soil, the mining sewage irrigation type had the highest synthetic pollution degree of Hg, Pb, Cd, Cu and Zn, with the largest leaching and infiltration capability of heavy metals, the second was tailings wastes eluviation type. The pollution degree of Hg was the most serious in same pollution type. Within depth of 60 cm, the content of Hg was 10.778 mg·kg^{-1} in the sewage irrigation soil, 2.536 mg·kg^{-1} in the atoms dust- fall soil, 1.766 mg·kg^{-1} in river irrigation soil. But in all the profiles, the accumulated sub- standard depth of heavy metals was up to 60 cm. Therefore, the aim of restoring topsoil can not be achieved by merely ploughing soil deeply in the same place. These would provide scientific foundation for restoring topsoil pollution in mining area.

Keywords: soil profile; heavy metal pollution; Xiaoqinling gold mining area

金属矿产资源的开发往往会导致矿区及其周边土壤及农作物重金属元素的污染[1~6]。研究区位于小秦岭金矿区带西段北坡的灵宝市和潼关县接壤的中低山地区以北的山前冲洪积斜塬区、黄土沟壑台塬区，面积约 300 km^2。金矿选冶活动，尤其是混汞- 浮选法及小汞碾、小氰化、小浮选等“三小”提金活动，废水、废渣及冶炼废气的无序排放造成了严重的土壤重金属污染及环境效应[7~12]。农田土壤污染治理的常规方法之一就是深翻换土、客土法或去除表层受污染的土壤[13~15]，这种物理修复方法的前提是表层土壤受到了污染。目前就研究区金矿开发活动对土壤垂向污染深度及程度前人尚未涉足。因此，研究不同污染方式的土壤剖面上重金属元素含量分布特征，可为土壤污

收稿日期：2007- 02- 26
基金项目：国土资源部“重点矿区环境地质问题专题调查”(20041230 0057)；国土资源部“陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查”(200412300057- 1)
作者简介：徐友宁(1963—)，男，陕西长安人，博士，研究员，专业从事矿山环境地质研究工作。E- mail: ksdzhj@sohu.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

染方式提供科学依据。

1　研究方法

土壤中重金属元素的绝对含量主要决定于成土母质重金属含量的继承和外源输入(污水灌溉、施肥、大气降尘等)量的多少[16]。为了对比、分析研究区大气降尘型、河水灌溉型和尾矿渣淋溶型等污染方式、途径造成土壤垂向上重金属的污染深度及程度,本文在矿区土壤重金属综合污染程度时空分布的基础上[17],采取对比研究的方法, 以无工矿活动的土壤剖面上40~60 cm深度内重金属含量作为对比评价的似背景值,研究土壤垂向上 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 重金属元素的变化特征,为土壤污染防治与修复、保证农产品品质安全提供治理依据。研究剖面位置情况见表 1。

在剖面上,每隔 5 cm或 10、20 cm, 自下而上,刻槽采集土壤样 1 kg,在室温下自然风干,木棒碾碎,过 60 目筛。实验室用高铝钵研磨,过 200 目筛,供分析测试。Cd、Cu、Pb、Zn 采用原子吸收分光光度计测定,Hg 用原子荧光法测定。

研究区系二类土壤功能区,土壤 pH 均大于 7.5。土壤重金属污染评价一是采用国家土壤环境质量二级标准(pH>7.5 的旱田土壤)重金属元素含量限值[18]作为土壤重金属单项污染超标倍数(Dc)评价依据[19],二是采用与西邻华阴市未受矿业活动影响的 3 处农田土壤均值作为似背景值[10](表 2)。可见,国家土壤环境质量的二级标准值全部高于研究区成土地质环境条件相同的华阴市土壤重金属元素含量的似背景值,Pb、Hg、Cd 的含量更低。累积单项污染超标倍数(Lc)[19]是借鉴土壤单项污染超标倍数公式,计算的超标倍数比采用国家环境质量标准更能反映矿区矿业开发对土壤重金属污染叠加的影响程度[20]。其计算公式:

$$L_{ci}=(C_i-C_B)/C_B$$

式中:L_{ci} 为第 i 种重金属单项累积污染超标倍数,C_i 为第 i 种重金属元素实测值,C_B 为邻区第 i 种重金属的似背景值。

2　土壤剖面重金属含量分析

2.1　农业生产型土壤剖面(T_1)重金属含量

该剖面位于研究区西邻的华阴市且未受工矿活动的影响区,可能的环境污染来自农业生产过程中的化肥、农药的使用,是研究矿区土壤是否受到矿业活动影响的对比剖面。剖面深度 140 cm, 自下而上,每隔 20 cm采集土样 1 件,共 7 件,各层重金属元素含量见表 3。

表 3 显示,0~20 cm耕作层内 Hg、Cd、Zn 含量分别是 20~40 cm含量的 1.94 倍、1.59 倍、1.30 倍,而 Pb、Cu 较下层稍富积。除 Pb、Zn 表层含量稍高于似背景值外,表层土壤受到了一定的污染,其余元素均低于似背景值。由于排除了工矿活动对农田土壤的污染影响,所以耕作层含量较高的 Hg、Pb、Cd、Zn、Cu 可能是农业生产过程中农药、化肥使用以及区域大气环境污染的影响。

2.2　大气降尘型土壤剖面(T_2)重金属含量

大气中重金属元素主要通过重力作用和降水作用沉降而进入土壤。混 Hg 法提金过程中逸散的 Hg 蒸气,含 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 元素的矿渣扬尘等成为研究区大气环境的主要污染源。前人研究表明, 混 Hg 法提金工艺流程中 65%~87%的 Hg 会进入尾矿和大气环境中[9]。据 2003 年潼关县环境保护局黄金企业统

表 1　矿区土壤剖面特征

Table 1　The characters of soil profiles in gold mining area

剖面编号	地理位置	地貌分区	土壤类型	剖面深度/cm	污染类型
T_1	华阴市孟塬新庄村(对照区)	黄土台塬	耕作土—古耕作土—粉砂土	0~140	农业生产型
T_2	潼关县南头乡上北头村	黄土台塬	耕作土—古耕作土—粉砂土	0~70	大气沉降型
T_3	灵宝市豫灵镇古东村	冲积阶地	耕作土—粉砂质粘土	0~70	河水灌溉型
T_4	灵宝市豫灵镇庄头村	山前斜塬	耕作土—古耕作土—砂质粘土	0~70	矿业污水灌溉型
T_5	潼关县南头乡村	黄土台塬	耕作土—粘土—砂砾粘土	0~220	尾矿渣堆淋溶型

表 2　土壤重金属污染评价标准

Table 2　Evaluation standards for soil heavy metals contamination

	Hg/mg·kg^{-1}	Pb/mg·kg^{-1}	Cd/mg·kg^{-1}	Cu/mg·kg^{-1}	Zn/mg·kg^{-1}
土壤环境质量二级标准值 A[17]	1.0	350	0.6	100	300
似背景值 B(邻区土壤 40~60 cm)	0.08	20.33	0.06	19.03	62.27
A/B	12.5	17.22	10.00	5.25	9.64

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表3 不受矿业活动影响的邻区土壤剖面(T_1)上重金属含量

Table 3 Heavy metals contents in soil profile in the neighborhood area without mining pollution

深度/cm	Hg/mg·kg^{-1}	Pb/mg·kg^{-1}	Cd/mg·kg^{-1}	Cu/mg·kg^{-1}	Zn/mg·kg^{-1}
0~20	0.070	23.1	0.051	19.3	69.4
20~40	0.036	19.4	0.032	18.2	53.4
40~60	0.032	17.7	0.031	17.4	53.4
60~80	0.018	17.3	0.028	17.2	52.7
80~100	0.022	18.7	0.036	17.5	49.5
100~120	0.022	17.5	0.019	17.1	43.9
120~140	0.022	13.4	0.012	12.2	32.6

计年报资料,潼关县10家选矿厂年Hg用量2 174.5 kg,加上上百家处小混汞碾、小氰化提金的用Hg量,粗估每年向大气、水体、土壤等环境中排放的Hg含量至少1 413 kg。此外,大气Hg的干湿沉降也可导致土壤表层Hg的含量增高。在远离矿业活动的上北头村农田剖面处,在长150 cm、宽80 cm、深70 cm的剖面中,0~40 cm深度内,采样间距为5 cm,40~60 cm深度内采样间距为10 cm,总共采集土样9件,土壤重金属元素含量见表4。

表4、图1显示,0~25 cm深度内,Hg、Pb、Cd、Cu、Zn元素含量明显高于下部土层含量,其含量均值分别是25~30 cm深度的17.52、6.93、6.48、2.66倍和1.57倍。在剖面上,除Cd外,Hg、Pb、Cu、Zn元素的最高含量不在0~5 cm浅表层,而是在10~20 cm深度内。

大气降尘型土壤剖面上,Hg的单项污染超标倍数是土壤环境质量二级标准的2.53~5.44,0~25 cm土壤受到了Hg的严重污染,平均超标倍数3.81,其他元素含量低于土壤环境质量二级标准。与似背景值比,Hg累积超标倍数污染深度已达60 cm,Pb达30 cm,Cd、Zn达20 cm,Cu达25 cm。可见,在剖面上,0~25 cm存在较严重的超标污染,而在整个剖面上土壤重金属元素累积污染深度达60 cm。

2.3 河水灌溉型土壤剖面(T_3)重金属含量

从表5、图2可见,河水灌溉型的古东村农田剖面上,0~15 cm深度内,重金属元素最为富积。其中,0~10 cm土层内,Hg、Pb、Cd、Cu、Zn含量最高,15~20 cm深度内含量突降形成一个台阶。30~35 cm含量最低,可能与该深度内土壤沙质含量较高、土壤孔隙度较大、重金属不易滞留而易于下渗的缘故。

0~15 cm,Hg、Pb含量超过土壤环境质量二级标准限值,Hg的平均超标倍数4.31,Pb为0.20,超标深度限于0~10 cm。与邻区似背景值比较,Hg、Pb元素向下潜移累积污染已达60 cm,平均累积超标倍数分别为21.01和5.77。Cd、Zn累积污染深度仅为15 cm,Cu为20 cm。可见,河水灌溉导致垂向上重金属元素超标深度为15 cm,累积污染深度超过了60 cm。

2.4 矿业污水灌溉型土壤剖面(T_4)重金属含量

西峪口河水中Pb含量超过了农田灌溉水质标准(GB5084-92)的30.9倍,河水属极度污染,而河流底

表4 T_2剖面重金属含量(C)(mg·kg^{-1})/单项污染超标倍数(D_C)/累积污染超标倍数(L_C)表

Table 4 Heavy metals contents(C) in T_2 profile, single polluted standard-exceeding multiple (Dc) and cumulate polluted standard-exceeding multiple (Lc)

深度	Hg			Pb			Cd			Cu			Zn		
/cm	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C
0~5	4.57	3.57	56.13	163	—	7.02	0.16	—	1.67	35.4	—	0.86	69.5	—	0.12
5~10	4.712	3.71	57.90	164	—	7.07	0.1	—	0.67	37.7	—	0.98	86.4	—	0.39
10~15	6.437	5.44	79.46	200	—	8.84	0.1	—	0.67	81.4	—	3.28	63.1	—	0.01
15~20	5.376	4.376	66.20	234	—	10.51	0.094	—	0.57	46.8	—	1.46	77	—	0.24
20~25	3.525	2.53	43.06	140	—	5.89	0.032	—	—	34	—	0.79	55.5	—	—
25~30	0.281	—	2.51	26.0	—	0.27	0.015	—	—	17.7	—	—	44.7	—	—
30~35	0.087	—	0.09	18.3	—		0.007 5	—	—	16.5	—	—	48.2	—	—
35~40	0.105	—	0.31	18.7	—		0.005	—	—	16.3	—	—	45.8	—	—
40~50	0.106	—	0.33	18.4	—		0.001 2	—	—	14.8	—	—	57.8	—	—
50~60	0.164	—	1.05	19.0	—		0.002 5	—	—	15.6	—	—	77.3	—	15.03

注:"—"表示没有超标,下同。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

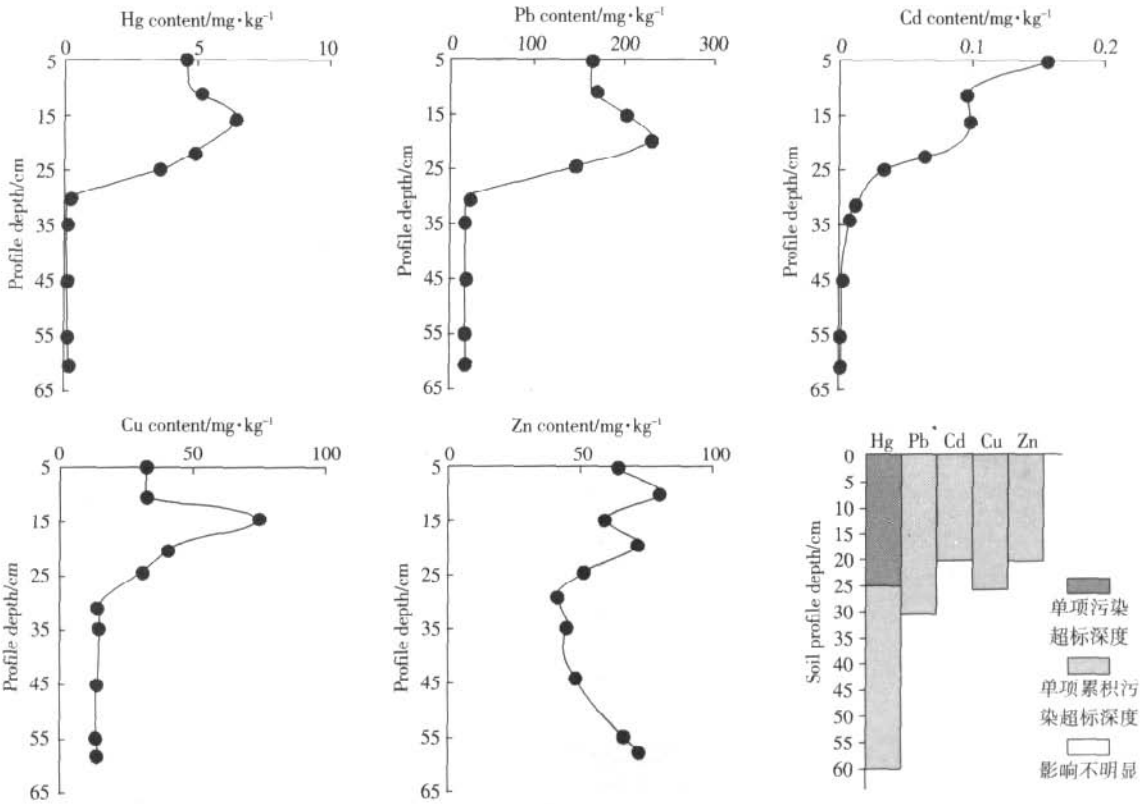


图 1　T_2 土壤剖面上重金属含量变化图

Figure 1　Changes of heavy metals contents in T_2 soil profile

表 5　T_3 土壤剖面重金属含量(C)(mg·kg⁻¹)/单项污染超标倍数(D_C)/单项累积污染超标倍数(L_C)表

Table 5　Heavy metals contents(C) in T_3 profile, single polluted standard-exceeding multiple (Dc) and cumulate polluted standard-exceeding multiple (Lc)

深度	Hg			Pb			Cd			Cu			Zn		
/cm	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C
0~5	5.865	4.865	72.31	420	0.20	19.66	0.089	—	0.48	61.3	—	2.22	90	—	0.45
5~10	5.572	4.572	68.65	422	0.21	19.76	0.22	—	2.67	106	0.06	4.57	87.5	—	0.41
10~15	4.495	3.495	55.19	280	—	12.77	0.094	—	0.57	47.6	—	1.50	76.3	—	0.239
15~20	0.431	—	4.39	60.6	—	1.98	0.018	—	—	21.6	—	0.14	53.7	—	—
20~25	0.226	—	1.83	35	—	0.72	0.012	—	—	18.1	—	—	46.3	—	—
25~30	0.168	—	1.10	22.9	—	0.13	0.015	—	—	16.8	—	—	42.8	—	—
30~35	0.15	—	0.88	25.9	—	0.27	0.016	—	—	16.1	—	—	46.6	—	—
35~40	0.204	—	1.55	34	—	0.67	0.03	—	—	17.2	—	—	45.2	—	—
40~50	0.252	—	2.15	36.4	—	0.79	0.035	—	—	18.2	—	—	47.7	—	—
50~60	0.296	—	2.70	39.6	—	0.95	0.019	—	—	19.5	—	0.02	48.6	—	—

泥重金属元素含量更高[10](表 6)。在此灰黑色矿浆水灌溉的农田表面,能够明显看到灰白色的尾矿沙以及从农田中铲出的堆积在田埂边的尾矿沙。其垂向上土壤样品重金属含量见表 7。

分析表 7、图 3 发现,0~25 cm 深度内,Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 含量明显较下层土壤富积,其次为 25~35 cm,50~60 cm 深度内,重金属元素含量低于 0~35 cm 而高于 35~50 cm,这与 35~50 cm 土壤沙含量较高、孔隙度加大、重金属元素容易向下迁移有关。Hg 元素超过土壤环境质量二级标准深度达 60 cm,Pb、Cd、Cu 为 25 cm,在剖面上仅 Zn 符合土壤环境质量标准。

与邻区似背景值比较,Hg、Pb、Cu 在整个剖面深度内全部累积超标,尤以 Hg 的累积污染最为严重,超标倍数为 2.84~220,平均 94.87,Cd 累积污染深度到 25 cm,长期污水灌溉会对农田和作物产生严重的毒害作用。研究区矿业废水含有大量的 Hg、Pb、Cd、

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

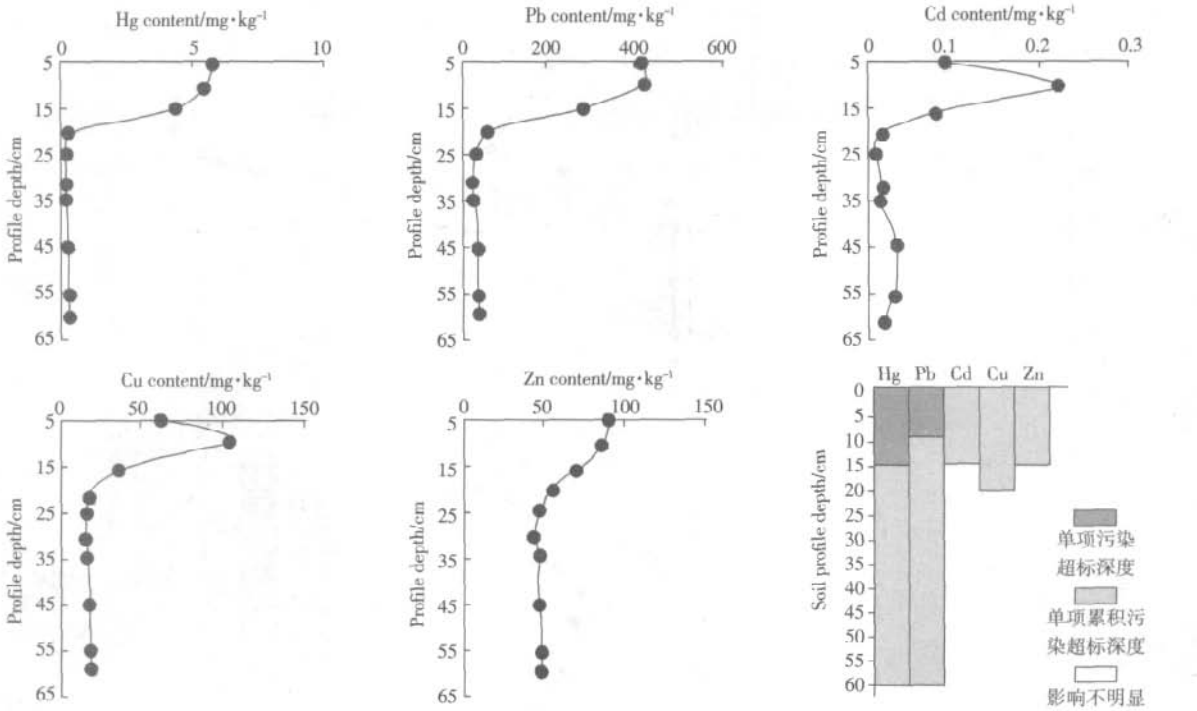


图 2 T_3 土壤剖面垂向上重金属含量变化图

Figure 2 Changes of heavy metals contents in T_3 soil profile

表 6 西峪口河水及其底泥重金属含量表

Table 6 Heavy metals contents in river and its sediment in Xiyu

	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
河水/mg·L^{-1}	0.000	3.19	0.002 1	0.056	0.006 7	0.767 5	0.25
河流底泥/mg·kg^{-1}	32.8	1175	0.86	30.2	1.21	159	103

Cu、Zn 等重金属元素[10],因此,必然导致土壤垂向上 Hg、Pb、Cd、Cu 含量明显累积,加重了土壤的污染程度。

2.5 尾矿渣淋溶型土壤剖面(T_5)重金属含量

选矿的尾矿渣不仅占用土地,而且随着时间的推移,降水淋溶作用使得尾矿渣中的毒重金属下渗而污染土壤及地下水。以南头乡表层堆放尾矿渣的土壤剖面为例,研究土壤垂向上重金属含量变化情况。剖面深度 220 cm,其中 0~80 cm为尾矿渣,其下为黄土。

分析表 8、图 4,在 0~80 cm富含重金属元素的尾矿渣存在情况下,经过 10 年的降水淋溶作用,80~100 cm深度成为 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 含量的突变带。在剖面上,仅 Hg 元素在 80~100 cm深度内超过了土壤环境质量二级标准。Hg、Pb、Cd 元素累积污染深度达 140 cm,其累积污染超标倍数平均为 7.44、1.81 和 2.09,Cu 的影响深度为 40 cm,Zn 在剖面中淋溶下移

表 7 T_4 土壤剖面重金属含量(C)(mg·kg^{-1})/单项污染超标倍数(D_C)/单项累积污染超标倍数(L_C)表

Table 7 Heavy metals contents(C) in T_4 profile, single polluted standard-exceeding multiple (Dc) and cumulate polluted standard-exceeding multiple (Lc)

深度	Hg			Pb			Cd			Cu			Zn		
/cm	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C
0~5	19.43	18.43	229.38	2 022	4.78	98.46	1.21	1.02	19.17	275	1.75	13.45	210	—	2.37
5~10	21.17	20.17	251.13	2 153	5.15	104.90	1.37	1.28	21.83	297	1.97	14.61	165	—	1.65
10~15	19.63	18.63	231.88	1 964	4.61	95.61	1.36	1.27	21.67	284	1.84	13.92	160	—	1.57
15~20	20.6	19.6	244.00	1 975	4.64	96.15	1.27	1.12	20.17	274	1.74	13.40	174	—	1.79
20~25	17.74	16.74	208.25	1 302	2.72	63.04	0.84	0.40	13.00	167	0.67	7.78	164	—	1.63
25~30	4.127	3.127	38.09	179	—	7.80	0.048	—	—	42.7	—	1.24	103	—	0.65
30~35	2.23	1.23	14.38	115	—	4.66	0.019	—	—	31.7	—	0.67	61.3	—	—
35~40	0.307	—	—	26.8	—	0.32	0.038	—	—	19.7	—	0.04	53.2	—	—
40~50	0.603	—	—	38.3	—	0.88	0.031	—	—	21.4	—	0.12	65.2	—	0.05
50~60	1.946	0.946	10.83	83.2	—	3.09	0.05	—	—	28.8	—	0.51	114	—	0.83

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

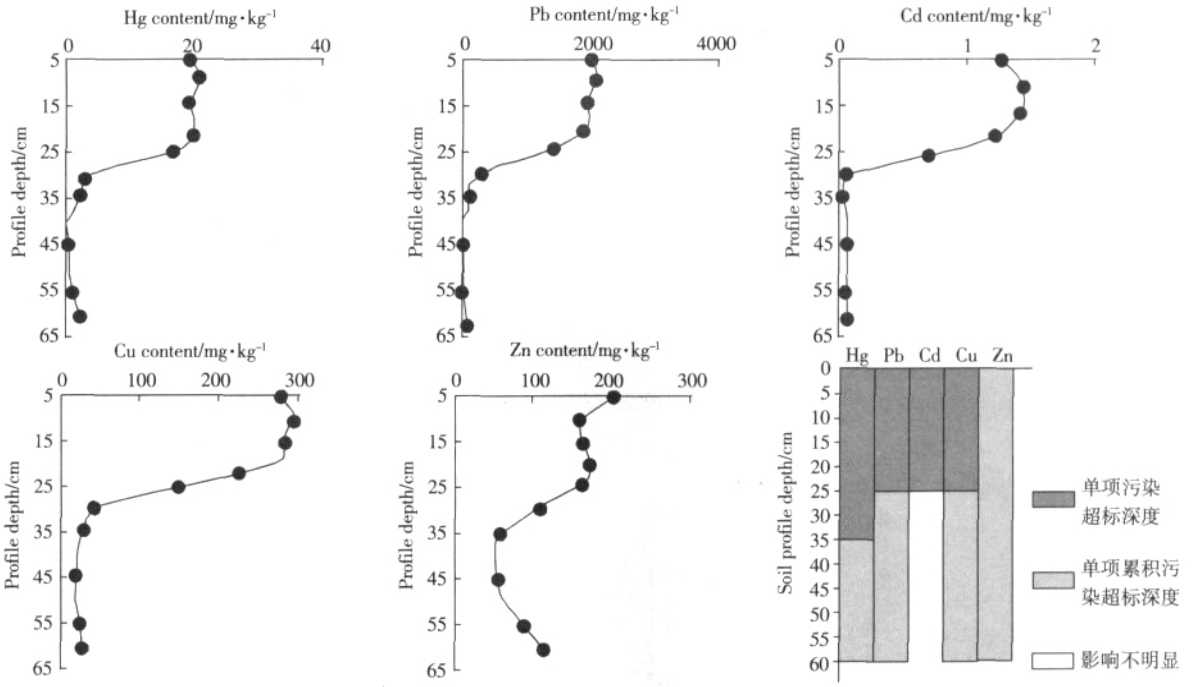


图 3　T_4 土壤剖面上重金属含量变化图

Figure 3　Changes of heavy metals contents in T_4 soil profile

不明显。

综上所述，5 种污染方式导致土壤剖面上重金属元素含量在垂向上单项超标倍数及累积污染超标倍数不同。矿业污水灌溉对土壤污染影响最为严重，其次为尾矿渣堆淋溶型污染方式。

3　结论

(1) 大气降尘型土壤剖面上，仅 Hg 元素含量超过土壤环境质量标准，其含量超标深度为 25 cm，其累积污染影响深度为 60 cm。Pb 累积影响深度为 30 cm，Cd、Zn 为 20 cm，Cu 为 25 cm。

(2) 河水灌溉型土壤剖面上，Hg、Pb 元素超标深度分别为 15 cm 和 10 cm，但累积污染深度均达 60 cm，Cd、Zn 为 15 cm，Cu 为 20 cm。

(3) 矿业污水灌溉型土壤剖面上，Hg 含量超标深度已达 35 cm，Pb、Cd、Cu 超标深度达 25 cm；Hg、Pb、Cu 累积污染超标深度达 60 cm，Cd 为 25 cm。

(4) 尾矿渣淋溶型土壤剖面上，Hg 超标深度 20 cm，Hg、Pb、Cd 累积污染超标深度达 140 cm，Cu 为 40 cm，Zn 几乎不受影响。

(5) 不同污染方式条件下，土壤剖面上重金属元素综合污染程度以矿业污水灌溉型最为严重，重金属淋溶下渗能力最大，其次为尾矿渣淋溶型。矿业污水灌溉、大气污染降尘是矿区土壤最主要的污染方式。

表 8　T_5 剖面重金属含量(C)(mg·kg⁻¹)/单项污染超标倍数(D_C)/单项累积污染超标倍数(L_C)表

Table 8　Heavy metals contents(C) in T_4 profile, single polluted standard-exceeding multiple (Dc) and cumulate polluted standard-exceeding multiple (Lc)

深度/cm		Hg			Pb			Cd			Cu			Zn		
		C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C	C	D_C	L_C
0~45	尾渣	148	147	1 849	18 650	52.29	916.36	16.4	26.33	272.33	2 970	28.7	155.07	1 850	5.17	28.71
45~80	尾渣	243	242	3 036.5	17 300	48.43	849.96	5.41	8.02	89.17	2 580	24.8	134.58	610	1.03	8.80
80~100	耕土	1.48	0.48	17.5	128	—	5.30	0.3	—	4.00	24.8	—	0.30	50	—	—
100~120	黄土	0.88	—	10	78	—	2.84	0.1	—	0.67	20	—	0.05	47.5	—	—
120~140	黄土	0.37	—	3.625	25.9	—	0.27	0.1	—	0.67	15.9	—	—	55	—	—
140~160	黄土	0.46	—	4.75	26	—	0.28	0.21	—	2.50	16	—	—	60	—	—
160~180	黄土	0.44	—	4.5	40.3	—	0.98	0.1	—	0.67	18	—	—	45	—	—
180~220	黄土	0.42	—	4.25	45	—	1.21	0.3	—	4.00	18	—	—	52.5	—	—

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

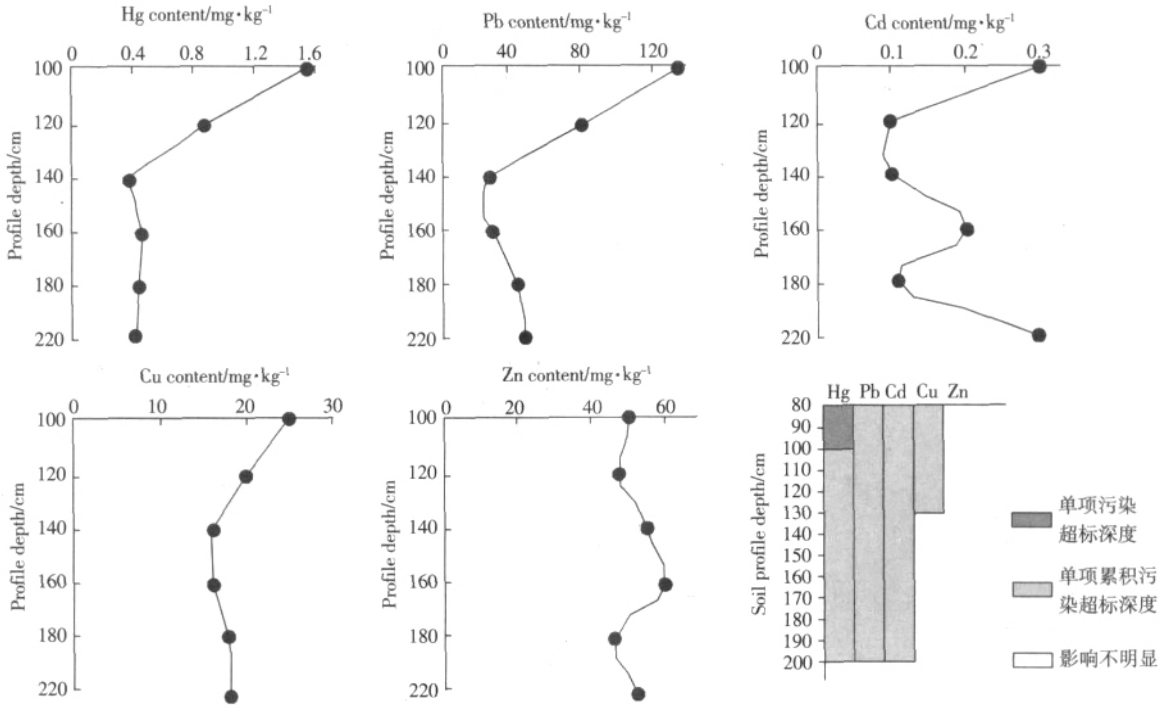


图4 T_5 土壤剖面重金属含量变化图

Figure 4 Changes of heavy metal contents in T_5 soil profile

(6)同一污染方式,Hg元素的污染程度最为严重。在矿区0~60 cm的5条土壤剖面上,Hg元素累积超标全部达到60 cm深度(由于没有再向深部研究,其影响深度不祥),而污水灌溉土壤中Hg的含量均值为10.778 mg·kg⁻¹,其次是大气降尘型2.536 mg·kg⁻¹和河水灌溉型1.766 mg·kg⁻¹。Pb除大气降尘型土壤剖面外,累积污染超标深度亦达60 cm。

研究区所有土壤剖面上均有重金属元素累积超标达到60 cm,因而仅仅采取就地深翻方式治理耕作层(0~20 cm)土壤的污染,无法达到目的,这一结论为矿区耕作层土壤污染治理提供了科学依据。

参考文献:

[1] 周永章,宋书巧,杨志军,等.河流沿岸土壤对上游矿山及矿业开发的环境地球化学响应—以广西刁江流域为例[J].地质通报,2005,24(10-11):945-951.

[2] 黄长干,邱业先.江西德兴铜矿铜污染状况调查及植物修复研究[J].土壤通报,2005,36(6):991-992.

[3] 丁振华.贵州万山汞矿区Hg的环境污染及对生态系统的影响[J].环境科学,2004,25(2):111-114.

[4] 党 志,刘丛强,尚爱安.矿区土壤中重金属活动性评估方法的研究进展[J].地球科学进展,2001,16(1):86-92.

[5] 顾继光,林秋奇,胡 韧,等.矿区重金属在土壤-作物系统迁移行为的研究——以辽宁省青城子铅锌矿为例[J].农业环境科学学报,2006,24(4):634-637.

[6] 闭向阳,杨元根,冯新斌,等.土法炼锌导致Cd对土壤-农作物系统污染的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(4):828-833.

[7] 张成渝,张 鑫,常祖峰.小秦岭金矿带混汞提金法中的汞污染及对策研究[J].地质灾害与环境保护,1999,10(2):18-22.

[8] 陈社斌,徐友宁.潼关金矿区环境污染及危害性浅析[J].西北地质,2003,36(增刊):172-175.

[9] 戴前进.中国混法采金地区Hg的环境地球化学-以陕西潼关为例[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所,2004.

[10] 徐友宁.陕西潼关金矿农田土壤重金属污染及其效应研究[D].西安:西北大学地质系,2006.

[11] 徐友宁,柯海玲,刘瑞平,等.某金矿区农田土壤Hg污染评价[J].黄金,2006(7):47-50.

[12] 徐友宁,柯海玲,刘瑞平,等.陕西潼关金矿区农田土壤Hg污染的环境效应[J].地质通报,2006(11):1349-1353.

[13] 崔德杰,张玉龙.土壤重金属污染现状与修复技术研究进展[J].土壤通报,2004,35(3):366-370.

[14] 王向健,郑玉峰,赫冬青.重金属污染土壤修复技术现状与展望[J].环境保护科学,2004,30(122):48-49.

[15] 余贵芳.重金属污染土壤治理研究现状[J].农业环境与发展,1998,15(4):22-24.

[16] 段永惠.污水灌区铅、镉在土壤中的纵向迁移及影响因素研究[J].污染控制,2004,12:35-37.

[17] 西安地质矿产研究所.陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查报告[R].2006.

[18] GB15618-1995.土壤环境质量标准[S].

[19] NY/T395-2000.农田土壤环境质量监测技术规范[S].中华人民共和国农业部.

[20] 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.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net