小秦岭某金矿区农田土壤重金属污染评价

徐友宁[1,2],柯海玲[2],赵阿宁[2],刘瑞平[2],张江华[2]
(1.西北大学 地质系,陕西 西安 710054;2.西安地质矿产研究所,陕西 西安 710054)

摘 要:小秦岭金矿区是中国第二大产金区,金矿开采、选冶活动会将重金属释放到环境中,对土壤环境造成污染。本研究系统采集了133件农田土壤样及邻区非矿业活动区的土壤对照样,结果表明,研究区农田土壤中Hg、Pb、Cd污染明显。以邻区表层土壤重金属含量作为对比评价矿区土壤污染的对比值,除Cr外,Hg、Pb、Cd、Cu、Zn、As累积超标率分别为96.90%、100%、60.10%、12.03%、78.90%、69.17%。Hg、Pb、Cu、Zn、Cd超过国家土壤环境质量二级标准的样本超标率分别为43.16%、12.8%、7.52%、3.01%、2.25%。土壤重金属综合污染指数表明,36.08%的土壤样本受到了轻度以上污染。Hg是农田土壤中最主要的重金属污染物,超标倍数均值为4.71,受Hg污染的农田面积为136.3km^2,占到研究区面积的51.76%。土壤污染极其严重,矿区环境污染治理迫在眉睫。

关 键 词:农田土壤;重金属;污染评价;小秦岭某金矿区
中图分类号:X53 **文献标识码**:A **文章编号**:0564-3945(2007)04-0732-05

金属矿产资源的开发往往会导致矿区土壤环境污染[1-2],本文主要研究小秦岭金矿开发导致的Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu、Zn重金属元素对土壤环境污染程度,为金矿区环境治理、农田土壤修复、保证农产品安全提供科学依据。研究区是中国第二大产金区,位于陕豫接壤的小秦岭西段北坡,以开采石英脉型金矿为主,金矿开发始于1975年。金矿开采区位于小秦岭西段北坡的中低山地区,金矿选、冶活动主要位于山前冲洪积斜塬区、黄土沟壑台塬区,面积约300km^2,是本文的研究范围,也是小麦、玉米等大宗农作物的主要种植区。研究区有50余家选金及冶炼企业,大多数采用混汞—浮选法[3-4]提金,其次还有散落在研究区各乡镇近百处家庭作坊式的小汞碾、小氰化、小浮选等"三小"提金点。金矿开发活动以及混汞法提金过程导致重金属元素随污水灌溉、大气降尘、尾渣扬尘淋溶等方式造成土壤环境污染。前人研究[3-7]认为矿区及其影响区土壤重金属污染尤其是汞污染已成为矿区主要的环境问题之一,汞元素进入河水、大气、土壤、农作物,严重危害人体健康。

1 样品采集

在300km^{2}的农业生产区范围内,采集耕作层(0~20cm)土壤样品133件。样品布设以查明农田土壤重金属污染现状为目的,按1个/km^{2}的网格布点,在矿业活动较少的西北角样品放稀至1个/4km^2。每个采样点位置以一点为中心采样,在周围50m范围内采集3处子样,通过混合、四分法,保留样重1kg。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、Cr、Zn采用原子吸收分光光度计测定,Hg、As用原子荧光法测定。

2 重金属含量分析

根据133件样本化学分析数据,得出研究区土壤重金属含量范围、均值、众数、标准离差等特征参数,详见研究区土壤重金属含量及其主要特征值(表1)

土壤环境背景值是土壤环境质量评价的最基本的依据之一,也是判别土壤污染程度与否的重要标准之一[8]。为了对比分析矿业活动对土壤环境的污染程度,采集了3处与研究区土壤环境地球化学背景相似

表1 研究区土壤重金属含量及其主要特征值
Table 1 The content of heavy metals in soil and their main eigenvalues

	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
含量范围(mg kg^{-1})	0.04~61.2	22~3470	0.00~45.2	31.5~69.8	3.15~35.7	31.0~600	46~781
含量均值(mg kg^{-1})	2.75	216.93	0.55	44.72	14.04	54.13	118.06
众数	0.40	32.00	0.20	42.40	15.30	30.00	65.00
标准偏差	7.17	487.83	3.91	6.64	4.30	71.18	85.26
含量极差/众数值	153	108	225	0.90	2.10	19.50	11.30
含量极差/均值	22.27	15.89	81.92	0.80	2.32	10.80	6.23

收稿日期:2006-06-11;修订日期:2006-07-05
基金项目:西北大学国家大陆动力学重点实验室、国土资源大调查项目《重点矿区环境地质问题专题调查》(200412300057)
作者简介:徐友宁(1963-),男,陕西长安人,博士,高级工程师,主要从事矿山环境调查研究工作。E-mail:ksdzhj@sohu.com

万方数据

的西邻地区、未受矿业活动影响的华阴市孟源乡农田土壤作为对比评价值。分析表 2 发现,表层(0 ~ 20cm)土 Hg、Pb、Cd 明显高于中层(20 ~ 40cm)及深层(40 ~ 60cm)土壤重金属含量,且随深度的增加含量呈现下降的趋势,说明表土中较高含量的重金属并不是由于成土作用造成的,即地球化学背景原因,分析其可能是人为活动叠加的结果。在同地点,上下 3 层土壤中,Cr、As、Cu、Zn 含量几乎没有变化。与陕西关中塿土背景值(1978 年)[8-10]比较,对比区 Hg、Pb、Cd 含量明显高于关中塿土,As 略高,而 Cr、Cu、Zn 则略低于关中背景值。20 ~ 40cm、40 ~ 60cmHg 与关中背景值含量基本相同,Pb、As 略高于关中背景值,Cd、Cr、Cu、Zn 略低于关中背景值。综上分析表明,邻区表层土壤 Hg、Pb、Cd 累积污染超标倍数为 0.51、1.00 和 0.44, 表明土壤受到人为活动影响较为明显,Hg、Pb、Cd 的污染可能源于农业生产过程中的矿物肥料、农药、杀虫剂及除草剂的使用,以及大气环境的污染。

本文将邻区表层土壤重金属含量均值作为研究矿区土壤重金属污染程度的对比值,由于排除了与邻区相同的污染因素(如农药化肥的使用),高出邻区含量的部分可以认为是研究区矿业活动叠加的结果。由于深层 40 ~ 60cm 土壤受人为活动影响较轻, 故以深层土壤重金属含量均值作为研究区的似背景值,比采用关中地区塿土背景值更能说明矿业活动对农田土壤的污染(表 3)。

表 2　邻区 3 处不同深度土壤重金属含量均值(mg kg^{-1})

Table 2　The average values of heavy metals in different depth soil in the neighborhood area

垂向深度	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
表层(0—20cm)	0.13	32.57	0.17	45.83	15.53	20.70	63.97
中层(20—40cm)	0.07	22.33	0.08	49.90	14.37	19.37	60.00
深层(40—60cm)	0.08	20.33	0.06	43.30	16.13	19.03	62.27

表 3　研究区农田土壤重金属污染评价标准(mg kg^{-1})

Table 3　The evaluating standards of heavy metals contamination on farmland soils in investigative area

	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
土壤环境质量二级标准值	≤1.0	≤350	≤0.6	≤250	≤25	≤100	≤300
陕西关中塿土背景值(1978 年)	0.086	16.30	0.118	65.70	12.70	23.50	65.80
邻区耕作层土壤对比值(2004)	0.130	32.57	0.170	45.83	15.53	20.70	63.97
邻区 40 ~ 60cm 似背景值(2004)	0.080	20.33	0.060	43.30	16.13	19.03	62.27

3　土壤环境质量重金属污染评价

3.1　平均单项污染指数

土壤环境质量评价的方法较多[11]。研究区土壤类型为塿土,133 件土壤样品 pH 值范围为 7.18 ~ 8.47,属碱性土[8]。本文以保障农业生产、维护人体健康的重金属评价为目的, 故以 GB15618-1995 和研究区土壤功能区划为依据, 研究区土壤系二类土壤, 由于其 pH>7.5, 故以土壤环境质量二级标准且 pH>7.5 的旱田土壤重金属限量值[12]作为主要评价标准(表 3)。

不同地区, 由于所处的地质环境背景的差异,形成的土壤中重金属含量差异较大,因而用土壤累积污染指数能更好反映土壤的人为污染程度。土壤重金属单项累积污染指数小,污染程度轻;单项累积污染指数大则污染重。单项累积污染指数的计算公式为:

$$P_i = C_i / C_o$$

式中,P_i 为第 i 种因子单项污染指数,C_i 为第 i 种污染物实测值,C_o 为第 i 种污染物的背景值。以邻区土壤表层 0 ~ 20cm、40 ~ 60cm 重金属含量均值分别作为研究区的对比值和背景值,其土壤平均单项累积污染指数见表 4。

从表 4 可知,与邻区表层对比,矿业活动导致研究区 Hg、Pb、Cd 累积污染最为明显,其中 Hg 的累积污

表 4　研究区土壤平均单项污染指数

Table 4　The individual pollution index of farmland soil in investigative area

	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
研究区含量均值 / 邻区(0 ~ 20cm)对比值	21.15	6.66	3.24	0.98	0.90	2.61	1.85
研究区含量均值 / 邻区(40 ~ 60cm)似背景值	34.38	10.67	9.17	1.03	0.87	2.84	1.90
土壤环境质量二级标准单项污染指数	2.75	0.62	0.92	0.18	0.56	0.54	0.39

万方数据

染指数最大，达 21.15；Cu、Zn 略比邻区高；Cr、As 相对贫化。累积污染指数从大到小排序为：Hg>Pb>Cd>Cu>Zn>Cr>As。与 40～60cm 相比，累积指数排序不变，除 As 外，土壤均受到其余 6 种重金属的污染。

农田土壤环境质量二级标准值的单项污染指数（表 4）表明，只有 Hg 污染明显，是其限值的 2.75 倍。其余重金属元素的单项污染指数均小于 1。

以邻区耕作层土壤对比值作为研究本区土壤重金属污染程度的背景值，研究区土壤重金属 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn、As 累积超标率分别为 96.90%、100%、60.10%、12.03%、78.90%和 69.17%，如图 1 所示，不难看出，矿业活动区农田土壤重金属累积污染十分严重，尤以 Pb、Hg 为甚。

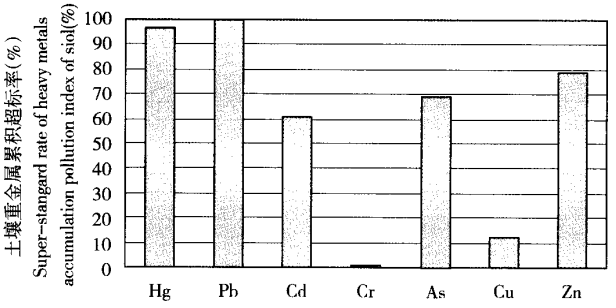


图 1 研究区土壤重金属累积污染超标率

Fig.1 Super-stangard rate of heavy metals accumulation pollution index of siol

3.2 土壤重金属污染超标倍数评价

土壤重金属污染超标倍数能直接反映重金属的污染程度，其计算式为：

$P_i=(C_i-C_o)/C_o$

式中 P_i—土壤某污染物超标倍数，C_i–土壤某污染物的实测含量，C_o– 土壤某污染物的环境质量二级标准限量值。

计算结果（表 5）表明，Hg 是研究区最主要的污染物，样本超标率达到了 43.61%，超标倍数为 4.71，最大超标倍数 60.2；其余元素超标率从大到小排序为 Pb>Cu>Zn>Cd；As 只有 1 个样本超标；Cr 元素全部样品含量均低于二级土壤环境质量标准限值。

表 5 农田土壤重金属污染超标倍数

Table 5 Paranormal multiples of heavy metals over grade Ⅱ standard of farmland soils

	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
超标倍数范围	0～60.2	0.03～9.91	0.21～44.2	不超标	0.43	0.02～5	0.10～1.60
超标样本的超标倍数均值	4.71	2.02	16.17		0.43	1.42	0.51
样本超标率(%)	43.61	12.8	2.25	0	0.75	7.52	3.01

在污染的样本中，Hg、Pb 污染等级呈现两极状况（表 6），即轻度污染所占比率最高，次为极度污染，且极度污染超标倍数大于 3，说明部分地区土壤 Hg、Pb 污染强度大。受 Hg 污染的农田面积达到 136.3km^2，占到研究区农田面积的 51.76%。其中，轻度、中度、重度和极度污染面积分别为 22.89%、14.03%、8.01%和6.84%。

表 6 土壤样本 Hg、Pb 超标倍数等级及百分率

Table 6 The multiples and the rates of Hg、Pb excess standard of soil samples

超标倍数	污染程度等级	Hg		Pb	
		污染程度（%）	超标倍数均值	污染程度（%）	超标倍数均值
P≥3	极度污染	13.53	13.41	3.01	6.93
2≤P<3	重度污染	0.19	2.24	0.75	2.14
1≤P<2	中度污染	6.01	1.28	0	0
0≤P<1	轻度污染	20.30	0.38	9.02	0.38
P<0	安全土壤	56.39		87.22	

3.3 土壤重金属污染综合评价

土壤重金属综合污染指数是反映某件样品或一个地区中多种污染物的综合污染程度，可作为一个整体与外区域进行比较或与历史资料进行对比。土壤综合污染指数按下列公式[13]计算：

$$P_Z=\sqrt{\frac{(\max P_i)^2+(ave P_i)^2}{2}}$$

式中 P_Z 为土壤污染综合指数，P_i 为第 i 种污染物质的污染分指数，$\max P_i$ 为土壤污染物分指数最大值，为各污染分指数算术平均值。

土壤重金属综合污染指数（表 7）表明：50.38%土壤样本综合污染指数均值为 0.48，即土壤尚未受到污染，系清洁土壤，主要分布于研究区西北角。13.53%样本的综合污染指数均值为 0.80，属尚清洁土壤，处于污

万方数据

表 7　土壤重金属综合污染指数等级及样本超标率

Table 7　The integrative pollution index rate of heavy metals in soil and the super-stangard rate of samples

等级	综合污染指数分级	污染等级	均值 (mg kg^{-1})	样本数 (件)	占样本总数百分率(%)	面积 (km^2)
Ⅰ	Pz≤0.7	清洁(安全)	0.48	67	50.38	127.63
Ⅱ	0.7<Pz≤1.0	尚清洁(警戒限)	0.80	18	13.53	38.72
Ⅲ	1.0<Pz≤2.0	轻度污染	1.33	22	16.54	48.33
Ⅳ	2.0<Pz≤3.0	中度污染	2.28	7	5.26	32.14
Ⅴ	Pz>3.0	重污染	11.55	19	14.28	32.64

染的警戒限。36.08%的土壤样本属于轻度以上污染,其中重度土壤污染样本为 14.28%。受重金属综合污染的土壤面积达到了 113.61km^2 (图 2),占总面积的 40.65%。

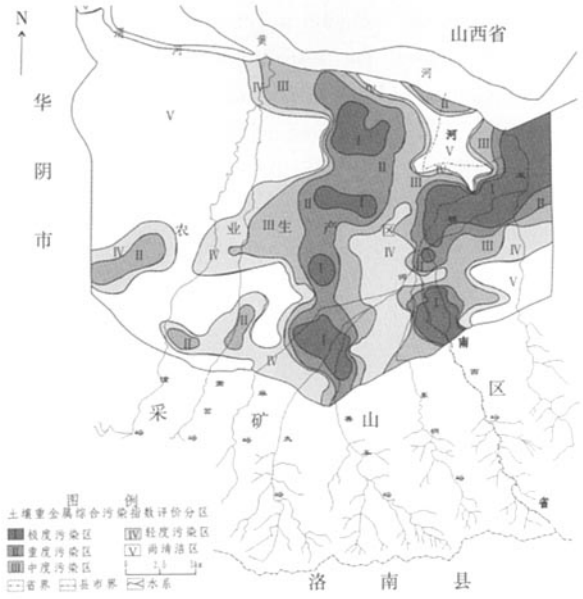


图 2　土壤重金属综合污染指数评价等级分区

Fig. 2　The grade subarea of soil pollution on the integrative pollution index of heavy metals

土壤中 Hg 元素污染分担率最大,达 49.02%,成为本区最主要的污染元素;Pb、Cd、As、Cu 基本处于第二水平,分担率为 10%左右,Zn、Cr 最小,分别为 6.98%和 3.22%。

4　结论

(1)研究区农田土壤中 Cd、Hg、Pb 元素含量范围变化较大,说明矿业活动对土壤污染影响明显,Cu、Zn 次之,As、Cr 不明显。

(2)邻区表层土壤中,Hg、Pb、Cd 明显高出 1978年关中地区壤土背景值,表明 20 多年来农业生产及人为活动对土壤污染影响较为显著,以此作为研究区重金属污染的对比值,高出部分系金矿活动叠加的污染值。除 Cr 外,Hg、Pb、Cd、Cu、Zn、As 累积超标率分别为 96.90%、100%、60.10%、12.03%、78.90%和 69.17%,矿业活动区农田土壤累积污染十分严重。

(3)Hg、Pb、Cu、Zn、Cd 含量均值不同程度超过了国家土壤环境质量标准,样本超标率分别为 43.16%、12.8%、7.52%、3.01%和 2.25%。

(4)土壤重金属污染综合指数表明,36.08%的土壤样本受到了轻度以上污染,而重度污染样本达 14.28%。研究区中东部土壤受到了重金属污染,西北角处于清洁和尚属清洁区。土壤污染范围与矿业活动范围一致。

(5)Hg 是农田土壤中最主要的污染物,超标倍数均值为 4.71,受 Hg 污染的农田面积为 136.3km^2,占到研究区面积的 51.76%。Hg 的污染分担率最大,为 49.02%。矿区土壤重金属环境污染严重,加大环境治理,刻不容缓。

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相应－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] 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.

[4] 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.

[5] 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.

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

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

[8] 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.

[9] 扬忠芳,朱　立,等.现代环境地球化学[M].北京:地质出版社,1999:381-382.

万方数据

[10] 王 云,魏复盛,等.土壤环境元素化学[M].北京:中国环境科学出版社,1995:14.
[11] 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.
[12] GB15618-1995.土壤环境质量标准[S].
[13] NY/T395-2000.农田土壤环境质量监测技术规范[S].

Assessment of Heavy Metals Contamination of Farmland Soils in Some Gold Mining Area of Xiao Qinling

XU You-ning, KE Hai-ling, ZHAO An-ing, LIU Rui-ping, ZHANG Jiang-hua
(1.*Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710054, *China*;
2.*Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: Xiaoqinling gold mining area is the second largest gold mining regions in China. The heavy metals had been released into surrounding by exploitation and selection of gold mining and, the environment has been polluted. On the base of investigation of pollution source, we collected 133 soil samples on the farmland in researching area, and also collected soil samples in the neighbor area without mining pollution as the control. The result shows that contamination of the soil by mining activities was very serious by Cd, Hg and Pb. To compare with the heavy metal concentration of the surface layer soil in neighbor area, we discovered that Hg, Pb, Cd, Cu, Zn and As presented evident accumulation except Cr ,and the excess rate over standard was 96.90, 100, 60.10, 12.03, 78.90 and 69.17% respectively. The integrative pollution index of heavy metals in soil indicates that 36.08% soil samples has been hyper-lightly polluted .Hg is the most serious. The polluted area by Hg is about 136.3km^2, being 51.76% farmland of whole investigative areas.

key words: Farmland soil; Heavy metals contamination; Some gold mining area; Xiao Qinling

万方数据

小秦岭某金矿区农田土壤重金属污染评价

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 徐友宁， 柯海玲， 赵阿宁， 刘瑞平， 张江华， XU You-ning， KE Hai-ling， ZHAO An-ing， LIU Rui-ping， ZHANG Jiang-hua

作者单位： 徐友宁,XU You-ning(西北大学,地质系,陕西,西安,710054;西安地质矿产研究所,陕西,西安,710054)， 柯海玲,赵阿宁,刘瑞平,张江华,KE Hai-ling,ZHAO An-ing,LIU Rui-ping,ZHANG Jiang-hua(西安地质矿产研究所,陕西,西安,710054)

刊名： 土壤通报 ISTIC PKU

英文刊名： CHINESE JOURNAL OF SOIL SCIENCE

年，卷(期)： 2007,38(4)

被引用次数： 11次

参考文献(13条)

1. 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[期刊论文]-地质灾害与环境保护 1999(02)

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[期刊论文]-土壤通报 2005(06)

3. 周永章;宋书巧;杨志军 河流沿岸土壤对上游矿山及矿业开发的环境地球化学相应-以广西刁江流域为例[期刊论文]-地质通报 2005(10-11)

4. NY/T 395-2000.农田土壤环境质量监测技术规范

5. GB 15618-1995.土壤环境质量标准

6. 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[期刊论文]-地球科学进展 2001(01)

7. 王云;魏复盛 土壤环境元素化学 1995

8. 扬忠芳;朱立 现代环境地球化学 1999

9. 中国环境监测总站 中国土壤元素背景值 1990

10. 徐友宁;柯海玲;刘瑞平 陕西潼关金矿区农田土壤汞污染的环境效应[期刊论文]-地质通报 2006(11)

11. 徐友宁;柯海玲;刘瑞平 某金矿区农田土壤汞污染评价[期刊论文]-黄金 2006(07)

12. 陈社斌;徐友宁 潼关金矿区环境污染及危害性浅析 2003(zk)

13. 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[学位论文] 2004

引证文献(11条)

1. 杨敏.陈华清.张江华.徐冬寅.乔彦军.王显炜 某金矿区地质环境问题及其对策[期刊论文]-黄金 2011(1)

2. 杨敏.徐冬寅.乔彦军.王显炜.张江华 SPOT5遥感图像数据在矿山地质环境调查中的应用研究[期刊论文]-黄金 2010(1)

3. WU Yao-guo.XU You-ning.ZHANG Jiang-hua.HU Si-hai Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiaoqinling gold mining region, Shaanxi, China[期刊论文]-中国有色金属学报（英文版） 2010(4)

4. 徐冬寅.张江华.柯海玲.陈华清.刘瑞平 潼关金矿区农田土壤Cd污染分析[期刊论文]-黄金 2010(5)

5. 徐友宁.张江华.赵阿宁.柯海玲 小秦岭某金矿区水土环境重金属污染及其效应[期刊论文]-水文地质工程地质 2009(4)

6. 谢娟.成玉祥.王莉平.郭婷婷.何建军 某金矿区不同品种蔬菜中重金属分析及评价[期刊论文]-地球科学与环境学报 2008(4)

7. 丁海霞.南忠仁.刘晓文.李媛.王胜利.秦松.赵转军 金昌市郊农田土壤重金属的污染特征[期刊论文]-农业环境科

学学报 2008(6)

8. 徐友宁. 张江华. 赵阿宁. 柯海玲 小秦岭某金矿区农田土壤重金属污染的潜在生态危害评价[期刊论文]-地质通报 2008(8)

9. 徐友宁. 张江华. 谢娟. 柯海玲. 刘瑞平 小秦岭金矿带某污染区村民头发中重金属元素含量的比照分析[期刊论文]-地质通报 2008(8)

10. 徐友宁. 张江华 陕西潼关金矿区太峪河底泥重金属元素的含量及污染评价[期刊论文]-地质通报 2008(8)

11. 徐友宁 矿山地质环境调查研究现状及展望[期刊论文]-地质通报 2008(8)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_trtb200704024.aspx