

# 某金矿区不同品种蔬菜中重金属分析及评价

谢娟, 成玉祥, 王莉平, 郭婷婷, 何建军

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 为了研究金矿区土壤重金属元素污染的生物效应, 在研究区(亦称土壤污染区)和对比区采集不同蔬菜样品, 分析其中重金属元素质量分数, 结果表明: 污染区内蔬菜中 Hg、Pb、Cd、Cr、As 的质量分数明显高于对比区; 依据食品中污染物限量标准, 蔬菜中 Hg、Pb、Cd 的超标倍数较大, 分别为 20.37、6.99、0.90, 超标倍数均值顺序为  $Hg > Pb > Cd$ , As、Cr 和 Cu 不超标; 污染区内蔬菜中 Hg、As、Cu 质量分数均值呈现为叶菜类大于果实类大于块根类, Pb、Cd、Cr 表现为叶菜类大于块根类大于果实类; 不同品种蔬菜中重金属的吸收富集能力不同, 油麦菜、青菜、萝卜叶、韭菜显著富集 Hg、Pb、Cd, 受污染程度较为严重。

**关键词:** 金矿区; 蔬菜; 重金属; 污染评价

**中图分类号:** X502 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)04-0425-04

## Analyses and Evaluation of Heavy Metals in Vegetable Samples from a Gold Field

XIE Juan, CHENG Yu-xiang, WANG Li-ping, GUO Ting-ting, HE Jian-jun

(School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract** In order to investigate the biological effects of soil pollution in a gold mining area, vegetable samples were collected from polluted areas of heavy metals and unpolluted areas and the mass ratios of heavy metals in the samples were analyzed. Results show that the contents of Hg, Pb, Cd, Cr and As in the samples from polluted areas are distinctly higher than those from unpolluted areas. According to the standard of food sanitation limit, the superscale multiples of Hg, Pb, Cd in vegetables are 20.37, 6.99 and 0.90, respectively, and the order of the average superscale multiples is  $Hg > Pb > Cd$ , but the As, Cr and Cu does not exceed the standard values. The average contents of Hg, As and Cu in vegetables in the study area is leafy > fruit category > root class and the average contents of Pb, Cd and Cr is leafy > root class > fruit category. Different vegetables have different absorption abilities to heavy metals, and greengrocery, Chinese cabbage, radish leaves, and leek have a great absorption ability to Hg, Pb and Cd, therefore they have been heavily polluted.

**Key words:** gold mining area; vegetable; heavy metal; polluting evaluation

## 0 引言

金矿开采选冶过程中, 排放的废渣、废水、废气进入环境, 直接或间接造成矿区土壤重金属元素不同程度的污染<sup>[1-5]</sup>, 特别是混汞提金工艺的使用, 使金矿区土壤汞的污染尤为突出<sup>[6]</sup>。土壤是一切作物生长的基地, 植物通过根系吸收营养的同时, 会

吸收土壤中的重金属。当植物中重金属元素累积到一定程度, 便会对植物产生毒害作用, 进而通过食物链对人体健康产生影响<sup>[7-10]</sup>。为了探讨某金矿区农田土壤重金属污染区的危害效应, 在研究区(亦称土壤污染区)采集各种蔬菜样品: 小白菜、油麦菜、青菜、韭菜、菠菜、萝卜叶、西红柿、红薯、萝卜、黄瓜、豇豆、茄子、辣椒等, 分析其中重金属元素

收稿日期: 2008-06-23

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2006D20); 中国地质调查局项目(200412300057-1)

作者简介: 谢娟(1963-), 女, 陕西三原人, 高级工程师, 从事环境科学教学与研究。E-mail: xiejuan291@sina.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

含量,对其结果分析评价,旨在为矿区水土环境污染防治及人群健康安全提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于陕西省与河南省交界的小秦岭山外以北农业生产区,面积  $106\text{ km}^2$ 。其中有一黄河支流从南到北穿越其中,河流发育于小秦岭北坡中一低基岩山地区,该河流发育于山区的西峪、东桐峪、善车峪、太峪、麻峪等 5 条河流,出山后汇聚成双桥河,后流入黄河,山外全长  $10\text{ km}$  左右。

金矿开发始于 1975 年,20 世纪 80 年代中期以后金矿区长期处于无序开发状态,在对研究区环境污染调查时发现,大多数村庄中居民的庭院内从事过氰化、汞碾选矿活动,“三小”提金工艺众多,至今该地区还有一些小混汞碾、小氰化池、小球磨等小提金点<sup>[1]</sup>,选矿尾渣堆放于田间地头、河道及道路两边,对农田土壤产生严重污染,一些矿坑废水尾矿废水不经处理,直接排入河流,使河水变为灰黑色的矿浆水,水质受到污染,用被污染的河水浇灌农田,使农田土壤表层沉积了一层矿浆粉,种植的庄稼,苗株矮小,叶面焦黄,连年减产。蒸汞提金导致区域内大气污染,污水灌溉、大气污染、含汞铅等重金属粉尘的沉降、尾渣重金属的淋溶,造成土壤重金属累积污染极为严重<sup>[3]</sup>,水及土壤的污染,必然对区域内生态环境造成影响。

## 2 样品采集及分析

### 2.1 样品采集

在对研究区土壤重金属污染全面调查的基础上<sup>[11]</sup>,分别于研究区和对照区采集同类型蔬菜品种,采用对比评价更能说明人类活动对环境的影响,包括叶菜类(小白菜、油麦菜、青菜、韭菜、萝卜叶等)、果实类(西红柿、黄瓜、豆角等)、块根类(红薯、萝卜),共计 12 种 46 件样品,其中研究区的样品 37 件,对比区的样品 9 件,主要分析其中汞、铅、镉、铬、砷、铜重金属元素含量,蔬菜样品采集点分布见图 1。野外蔬菜采集后装入保鲜袋中,红薯、萝卜类用清洁水洗去泥土,置于保鲜袋,尽快送至实验室供分析测试。本次样品数量分布为评价区叶菜类 10 件、果实类 18 件、块根类 9 件,对比区各类蔬菜分别采集 3 件。

### 2.2 分析测试方法

在实验室称取蔬菜  $5\sim 10\text{ g}$  制成匀浆的样品,

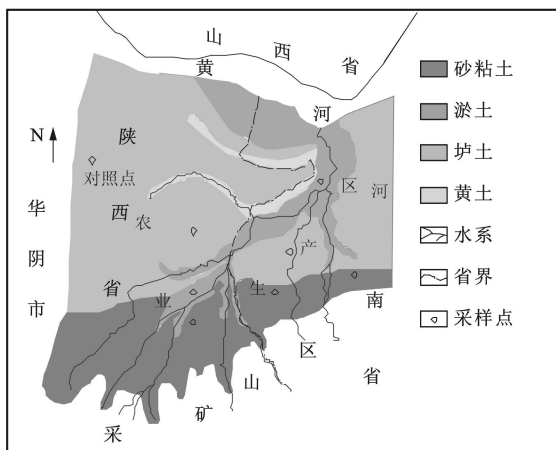


图 1 研究区蔬菜样品采集点分布

Fig. 1 Distribution of Vegetable Sampling Spots in the Study Area

用硝酸浸泡,微波消解,制成清亮溶液。采用原子荧光光谱仪测定 Hg 和 As, Pb、Cd、Cu、Cr 采用电感耦合等离子质谱仪测定。

## 3 蔬菜中重金属污染评价标准及方法

### 3.1 评价标准

蔬菜中 Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu 污染评价标准依据中华人民共和国《食品中污染物限量》标准<sup>[12]</sup>,其中汞元素 $\leq 0.01 \times 10^{-6}$ ,铅元素 $\leq 0.2 \times 10^{-6}$ ,镉元素 $\leq 0.05 \times 10^{-6}$ ,铬元素和砷元素 $\leq 0.5 \times 10^{-6}$ ,铜元素 $\leq 10 \times 10^{-6}$ 。

### 3.2 评价方法

#### 3.2.1 环境指数法

用环境指数描述环境介质的受污染程度,可以判断研究对象的质量级别和类别。此处采用蔬菜中重金属元素含量的超标倍数表达蔬菜中重金属元素的污染情况,超标倍数愈大,说明蔬菜受重金属元素的污染程度愈大。其计算公式

$$P_i = (C_i - C_0) / C_0$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  种污染物单项污染超标倍数;  $C_i$  为第  $i$  种污染物实测值;  $C_0$  为第  $i$  种污染物国家质量标准的限值。

#### 3.2.2 对比评价法

由于金矿区矿业活动强度不均一性和分布的不均衡性,不同的地区农田土壤受重金属污染的元素种类和程度不同,因而采用土壤尚未污染区内同类品种作为参照标准,分析、对比污染区内蔬菜重金属累积污染程度的高低,高于对照区含量说明土

壤污染蔬菜受到了矿业活动的污染影响, 对比区选在矿业活动相对较弱的潼关县高桥乡 税村, 样品采集类型同研究区。

4 蔬菜中重金属质量分数及其评价

对所有采集的蔬菜进行分析, 根据不同类别统计分析数据, 蔬菜中重金属元素分析统计结果见表 1。

表 1 蔬菜中重金属元素质量分数测定结果

Tab. 1 Analyses Results of Mass Content of Heavy Metals in Vegetables		$w_B / 10^{-6}$				
蔬菜类别	元素	研究区		对比区		A/B
		测定值	均值(A)	测定值	均值(B)	
叶菜类	Hg	0.08~1.35	0.504	0.046~0.14	0.075	6.72
	Pb	0.61~6.09	3.569	0.68~1.79	1.09	3.27
	Cd	0.03~0.329	0.129	0.023~0.06	0.034	3.79
	Cr	0.054~0.794	0.282	0.074~0.24	0.164	1.72
	As	0.0015~0.13	0.034	0.0015~0.041	0.015	2.27
	Cu	0.32~5.51	1.62	0.46~4.43	1.82	0.89
果实类	Hg	0.001~0.34	0.092	0.00~0.01	0.004	23
	Pb	0.00~4.65	0.328	0.005~0.506	0.26	1.26
	Cd	0.0~0.413	0.042	0.0001~0.004	0.0012	35
	Cr	0.005~0.81	0.234	0.01~0.328	0.215	1.09
	As	0.0~0.16	0.012	0.0015~0.01	0.003	4
	Cu	0.32~1.85	0.893	0.405~1.479	0.768	1.16
块根类	Hg	0.003~0.12	0.045	0.008~0.07	0.029	1.55
	Pb	0.005~3.41	0.897	0.098~0.14	0.116	7.73
	Cd	0.00~0.264	0.057	0.001~0.008	0.005	11.4
	Cr	0.02~0.769	0.176	0.018~0.09	0.061	2.89
	As	0.0015~0.50	0.006	0.0015	0.0015	4.0
	Cu	0.005~2.33	0.86	0.17~2.76	1.04	0.83

4.1 研究区与对比区蔬菜重金属质量分数对比

由表 1、图 2 可知, 研究区叶菜类蔬菜中重金属各元素质量分数均值从大到小排序为 Pb> Cu> Hg> Cr> Cd> As; 果实类蔬菜中重金属元素质量分数均值排序为: Cu> Pb> Cr> Hg> Cd> As; 块根类重金属元素排序为: Pb> Cu> Cr> Cd> Hg> As。显而易见, 蔬菜的品种不同, 其重金属元素的质量分数不同, 3 种类型蔬菜对重金属的吸收富集呈现如下规律, Hg、As、Cu 元素含量从高到低依次为叶菜类—果实类—块根类; Pb、Cd、Cr 元素质量分数表现为叶菜类—块根类—果实类。

研究区与对比区蔬菜中重金属质量分数均值的比值可以反映研究区蔬菜中重金属的累积污染

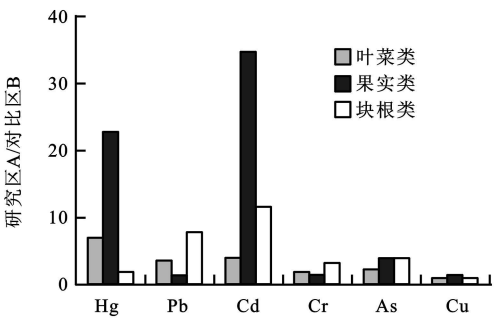


图 2 研究区 A 与对比区 B 比较  
Fig. 2 Comparison Diagram of Study Area A and Comparison Area B

程度, 比值越大, 累积污染则越严重。叶菜类重金属元素比值大小为 Hg> Cd> Pb> As> Cr> Cu, 果实类 Cd> Hg> As> Pb> Cu> Cr, 块根类 Cd> Pb> As> Cr> Hg> Cu。除叶菜类、块根类的铜元素外, 其他元素(A/B)的比值均大于 1, 说明研究区蔬菜中重金属元素高于对比区。叶菜类汞元素的 A/B 值最大, 累积污染最严重; 果实类镉和汞的 A/B 为 35 及 23, 是果实类 6 种元素比值较大的两种, 其累积污染十分严重; 块根类蔬菜镉元素 A/B 为 11.4, 其次为铅(7.73)、砷(4.0)、铬(2.89)、汞(1.55)。蔬菜的品种不同, 对重金属元素的吸收能力不同, 其受污染程度大小不同。

4.2 研究区蔬菜中重金属超标倍数

蔬菜重金属污染评价, 采用中华人民共和国卫生部食品中污染物限量标准<sup>[12]</sup>, 借用土壤重金属超标倍数的评价方法, 用以评价蔬菜中重金属的污染程度, 超标倍数越大, 污染程度越高, 根据超标倍数均值大小, 判断重金属在不同种类蔬菜中的污染程度。研究区蔬菜中重金属元素超标倍数计算结果见表 2。

由表 2 可知, 在不同类蔬菜中, Hg、Pb、Cd 元素的超标顺序依次为叶菜类—块根类—果实类; As、Cr、Cu 超标倍数均为负值, 说明这 3 种元素在蔬菜中的平均值小于限量标准, 部分样本中 Cr 元素有超标; 叶菜类 Hg、Pb、Cd 超标倍数最大, 样本超标率为 100%, 污染最严重; 块根类 Hg、Pb、Cd 样本超标率分别为 78%、78%和 44%; 果实类样本超标率顺序为 Hg> Pb=Cr> Cd; 所有蔬菜 Hg、Pb、Cd 的平均超标倍数分别是 20.37、6.99、0.90, Hg 元素超标倍数最大, 污染最为严重, 其次为 Pb、Cd。

4.3 研究区不同品种蔬菜中重金属元素的质量分数

为了探讨金矿区不同品种蔬菜对重金属元素吸收能力的大小规律, 将各种蔬菜中重金属元素质

表 2 研究区蔬菜中重金属元素超标统计

Tab. 2 Superscale Mutiples of Heavy Metal Contents in Vegetables in the Study Area

元素	叶菜类			块根类			果实类		
	均值超标 倍数	超标倍数 范围	样本超标 率/ %	均值超标 倍数	超标倍数 范围	样本超标 率/ %	均值超标 倍数	超标倍数 范围	样本超标 率/ %
Hg	49.40	7.0~16.2	100	3.5	0~39.3	78	2.20	0.0~33	78
Pb	16.85	2.05~29.5	100	3.49	0.0~16.06	78	0.64	0.0~22.25	33
Cd	1.58	0.5~15.45	100	0.14	0.0~12.2	44	-0.16	0.0~7.46	16
Cr	-0.44	0.0~0.42	20	-0.65	0.0~0.54	22	-0.53	0.0~0.3	33
As	-0.93	0	0	-0.988	0	0	-0.98	0	0
Cu	-0.84	0	0	-0.914	0	0	-0.91	0	0

量分数平均值列于表 3。不同品种蔬菜中,汞元素质量分数从高到低表现为油麦菜—青菜—萝卜叶—韭菜—黄瓜—西红柿—小白菜—红薯—茄子—豇豆—萝卜—大青椒等;铅元素从高到低为韭菜—油麦菜—青菜—萝卜叶—小白菜—萝卜—豇豆—大青椒—红薯—黄瓜—西红柿—茄子;镉元素的富集能力从高到低为韭菜—小白菜—青菜—豇豆—萝卜—萝卜叶—大青椒—茄子—油麦菜—西红柿—黄瓜;铬元素的富集能力从高到低为大青椒—小白菜—豇豆—青菜—韭菜—油麦菜—红薯—茄子—萝卜—黄瓜—西红柿—萝卜叶。砷和铜没有超标,在此不予讨论。可见,不同品种蔬菜对重金属的吸收能力不相同(图 3)。

表 3 不同品种蔬菜中重金属元素的质量分数均值

Tab. 3 Average Values of Mass Content of Heavy Metals in Different Kind of Vegetables

样品 名称	$w_B/10^{-6}$					
	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu
豇豆	0.034	1.58	0.146	0.44	0.003 6	1.266
黄瓜	0.146	0.088	0.008 7	0.182	0.000 6	0.43
茄子	0.037	0.005	0.047	0.22	0.003 9	0.98
西红柿	0.128	0.039	0.012 9	0.109	0.024	0.77
大青椒	0.005	0.574	0.06	0.81	0.001 5	1.85
油麦菜	0.880	3.93	0.04	0.25	0.09	0.55
萝卜叶	0.472	3.66	0.105	0.089	0.029	0.505
青菜	0.560	3.677	0.148	0.395	0.000 8	3.92
小白菜	0.109	2.491	0.158	0.794	0.028	4.276
韭菜	0.172	4.136	0.329	0.381	0.009	1.064
红薯	0.061	0.499	0.028	0.162	0.008 7	1.169
萝卜	0.014	1.694	0.118	0.203	0.000 6	0.28

5 结语

(1)研究区蔬菜样品中重金属元素汞、铅、镉、

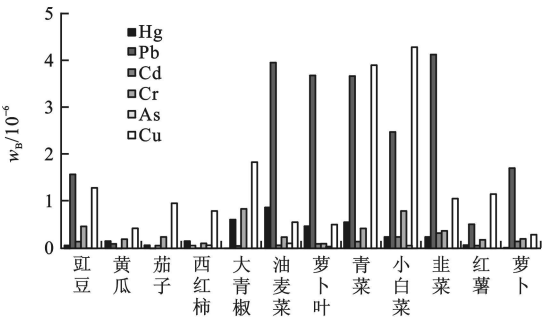


图 3 蔬菜中重金属元素的均值分布规律

Fig. 3 Distribution Law of Average Contents of Heavy Metals in Vegetables

砷质量分数远远大于对比区。

(2)与食品中污染物限量卫生标准比较,叶菜类蔬菜中重金属元素汞、铅、镉超标较大,其次为块根类,蔬菜中重金属元素的平均超标倍数顺序为汞(20.3)大于铅(6.99)大于镉(0.90)。

(3)研究区蔬菜中重金属元素质量分数与对比区重金属元素质量分数的比值,除叶菜类和块根类的铜元素外,其他元素比值均大于 1,研究区蔬菜普遍受到除铜以外元素的污染。

(4)油麦菜、青菜、萝卜叶、韭菜、小白菜等叶菜类重金属元素质量分数较高,食用会影响健康。

研究区农田土壤重金属污染严重,导致蔬菜中重金属元素质量分数高于未污染的对照区,其环境污染响应十分明显,因此,急需加强“三废”治理及污染土壤地修复治理,确保土壤环境的安全,为人类的生存提供保障。

参考文献:

[ 1 ] 王庆仁,刘秀梅,崔岩山,等.我国几个工矿与污灌区土壤重金属污染状况及原因探讨[J].环境科学学报,2002,22(3):354-358.

(下转第 441 页)

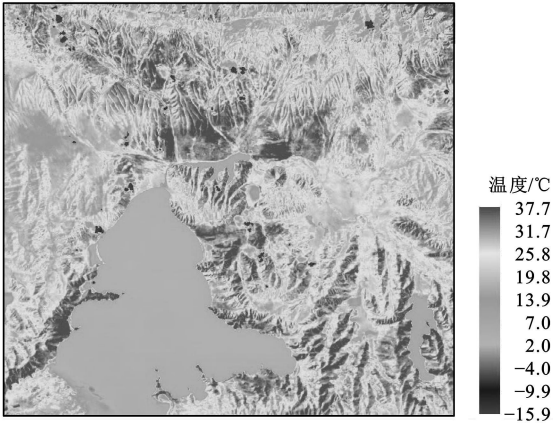


图 3 反演结果

Fig. 3 Results of Land Surface Temperature Retrieval

就要求系统开辟相当大的内存空间来存储数据。为了节省系统资源, 提高程序的运行效率, 在程序运行过程中, 鉴于 MATLAB 强大的函数运算功能, 多次调用 MATLAB 中已有功能函数来完成程序操作, 简化了程序的编写。在创建变量时, 动态分配内存空间并及时释放中间变量所占内存空间, 节省了系统资源和运行时间。结果表明, 该程序简单明了, 便于操作, 可以在无人干预下快速实现 ASTER 数据地表温度反演, 非常适合其他领域非遥感专业人员使用。

参考文献:

[ 1 ] 朱黎江, 秦其明, 陈思锦. ASTER 遥感数据解读与应用[ J ]. 国土资源遥感, 2003, 56(2): 59-63.

[ 2 ] 张廷斌, 唐菊兴, 刘登忠. 卫星遥感图像空间分辨率适用性分析[ J ]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 79-82.

[ 3 ] Gillespie A, Rokugawa S, Matsunaga T, et al. A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(4): 1113-1126.

[ 4 ] 刘志武, 党安荣, 雷志栋, 等. 利用 ASTER 遥感数据反演陆地温度的算法及应用研究[ J ]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 507-513.

[ 5 ] 唐世浩, 朱启疆, 苏理宏. 基于订正 ALPHA 差值谱的热红外温度与发射率分离算法[ J ]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(4): 286-290.

[ 6 ] 唐世浩, 李小文, 王锦地, 等. 改进的基于订正 ALPHA 差值谱的 TES 算法[ J ]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(7): 663-671.

[ 7 ] 田国良. 热红外遥感[ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[ 8 ] 许军强. 长白山地表温度反演与地热分布特征研究[ D ]. 长春: 吉林大学, 2007.

[ 9 ] 王沫然. MATLAB 6.0 与科学计算[ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

[ 10 ] 姜立鹏, 覃志豪, 谢 雯. MODIS 数据地表温度反演分裂窗算法的 IDL 实现[ J ]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(3): 114-117.

(上接第 428 页)

[ 2 ] 何佳放, 何腾斌. 南京城市边缘带化工园区土壤重金属污染评价[ J ]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1182-1188.

[ 3 ] 谢 娟, 徐友宁, 钱 会, 等. 双桥河流域农田土壤重金属分析与评价[ J ]. 黄金, 2008, 29(3): 46-50.

[ 4 ] 毛健全, 顾尚义, 张启厚. 金矿采选过程中的重金属污染问题[ M ]. 贵州环境科技, 2000, 6(3): 17-23.

[ 5 ] 徐友宁, 张江华, 赵阿宁, 等. 潼关金矿区农田土壤重金属污染评价[ J ]. 土壤通报, 2007, 38(4): 732-736.

[ 6 ] 徐友宁, 柯海岭, 刘瑞萍, 等. 潼关金矿区农田土壤汞污染评价[ J ]. 黄金, 2006, 27(7): 47-50.

[ 7 ] 王定勇, 牟树森, 青长乐. 大气汞对土壤-植物系统汞累积的

影响研究[ J ]. 环境科学学报, 1998, 18(2): 194-198.

[ 8 ] 庞奖励, 黄春长, 孙根年. 西安污灌土中重金属含量及对蔬菜影响的研究[ J ]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2001, 29(2): 88-91.

[ 9 ] 雷 梅, 岳庆玲, 陈同斌, 等. 湖南柿竹园矿区土壤重金属含量及植物吸收特征[ J ]. 生态学报, 2005, 25(5): 1146-1152.

[ 10 ] 杨胜利, 王文科, 张 威, 等. 砷污染生态效应及水土体系中砷的治理对策研究[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 69-73.

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

[ 12 ] GB 2762—2005. 食品中污染物限量标准[ S ].