

金矿区农田土壤重金属污染的环境效应分析

徐友宁 张江华 刘瑞平 柯海岭 李育敬

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:通过对比研究小秦岭某金矿区土壤重金属综合污染区和对比区内的小麦、玉米籽粒中重金属的含量,结果表明污染区内小麦籽粒中汞、铅、镉累积程度显著高于土壤对比区对照样,铬、砷、铜、锌与对照区几乎没有差异,汞、铅、镉、锌、铜的超标率分别为86.67%、60%、33.33%、6.67%、20%。在污染区,玉米中铅、镉、铬较对照区明显累积,但仅有汞超标,超标率为15.15%。同一采样地点,金矿区小麦籽粒比玉米更易吸收累积重金属。小麦中重金属含量与立地土壤重金属污染程度存在较好的相关性。与1990年比较,小麦中汞、镉累积效应非常显著。研究区土壤重金属污染已经造成了小麦严重污染。

关键词:小麦;玉米;重金属;污染分析

中图分类号:P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)04-0716-07

工矿区的污水灌溉、大气降尘和废渣(尾渣)扬尘会导致农田土壤重金属的污染^[1-5],土壤污染进而造成农作物中重金属累积污染^[6-8],长期食用受污染的农作物则会导致人体致癌、致病变和致畸形作用^[10-14]。农田土壤污染危及农产品安全,成为社会关注的热点之一^[13]。

小秦岭金矿区位于陕西省与河南省接壤的小秦岭北坡,是中国四大产区之一。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。目前有金矿选冶企业50余家,主要分布于小秦岭北坡采矿区的沿山地带,其提金工艺大多采用混汞-浮选法,同时在200 km²以上的农业区内有近百处家庭作坊式的小混汞碾、小氰化池、小球磨等“三小”提金点。2004—2005年调查表明^①:大小黄金选冶工业场地99处,占地0.89 km²;冶炼厂5处,占地0.07 km²;大小尾矿库124座,占地0.95 km²;村前屋后、道路两侧、河道边随意堆放的尾矿渣堆988处,占地2.32 km²;氰化场地56处,面积0.17 km²;受矿业污染的峪道水灌溉区3处,面积2.77 km²;冶炼厂大气污染区2处,影响农田面积1.11 km²^②。由于历史原因和管理问题,矿坑废水、尾矿浆大多未经处理直接排入河流,自东向西依次展布的西峪、东桐峪、善车峪、太峪、麻峪、蒿岔峪和潼峪7条河流均受到了严重污染。同时“烧金排汞、毛金提纯”以及蒸汞提金导致区域大气环境污染。“三小”尾矿渣

随意堆放在村前屋后、田间道路、沟谷河道两侧,大风扬尘雨水淋溶污染了土壤、河流^[14-16]。研究表明,河流、土壤、大气环境中汞金属主要来源于选矿过程中添加的金属汞,而铅、镉、铬、砷、铜、锌污染物则来自于金矿石及其围岩^③^[17-19]。山前冲洪积倾斜平原、黄土沟壑台塬到黄河岸边,土壤类型主要为壤土,133件土壤样品测试结果表明,pH值为7.18~8.47,属碱性土。本次研究的农业生产区范围300 km²,主要种植小麦、玉米等大宗农作物,间种有蔬菜和水果。

笔者在首次全面调查评价金矿区土壤汞、铅、镉、铬、砷、铜、锌重金属污染程度分区的基础上,通过对比采集土壤重金属元素轻度以上污染区(评价区)及未污染区(对照区)内小麦、玉米样品,研究分析汞、铅、镉、铬、砷、铜、锌重金属污染情况,揭示矿区土壤环境重金属污染对粮食安全的危害性,说明矿区环境污染治理工作的紧迫性和重要性。

1 样品采集

在对研究区河流、土壤、大气环境重金属污染评价的基础上,依据农田土壤二级标准(GB15618-1995,1995)进行的土壤重金属综合污染指数评价分级,将研究区农田土壤划为未污染区、轻度污染区、中度污染区、重度污染区和极度污染区5个级别。潼关县东部地区是土壤汞、铅、镉、铜、锌重金属

收稿日期:2006-11-05;**改回日期:**2007-01-08

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200412300057)资助。

作者简介:徐友宁,男,1963年生,博士,高级工程师,主要从事矿山地质环境调查研究;E-mail:ksdzjhj@sohu.com。

①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成果报告, 2004—2005。

②徐友宁. 陕西潼关金矿区农田土壤重金属污染及其环境效应(博士论文), 西北大学, 2006。

综合污染地区,西北角属未污染区(对比区)^①(图 1)。

2005 年 5 月 26 日采土壤污染区内 15 件成熟小麦穗,3 件采集于对照区。9 月 13 日在田间采集带包叶的成熟玉米棒,其中 13 件处于土壤污染区,3 件处于对比区。

野外采用 GPS 标定采样点坐标,详细填写采样登记表,记录采样点周围矿业污染源,如选冶厂、尾矿堆放场、河流污染状况、污水灌溉等状况。小麦、玉米样品采样位置尽量同点,且与农田土壤采样点位置对应(图 1)。

2 分析与评价

2.1 样品处理与测试

样品采后,晾晒风干,去壳,剥其籽粒约 200 g,装入纸袋供实验室分析测试。实验室用塑料粉碎机将小麦、玉米籽粒打制成浆,称取 10 g 样品用硝酸及过氧化氢消解。汞、砷采用原子荧光光谱法,铅、铬、铜、锌采用火焰原子吸收法,镉用石墨炉原子吸收法进行分析测试。

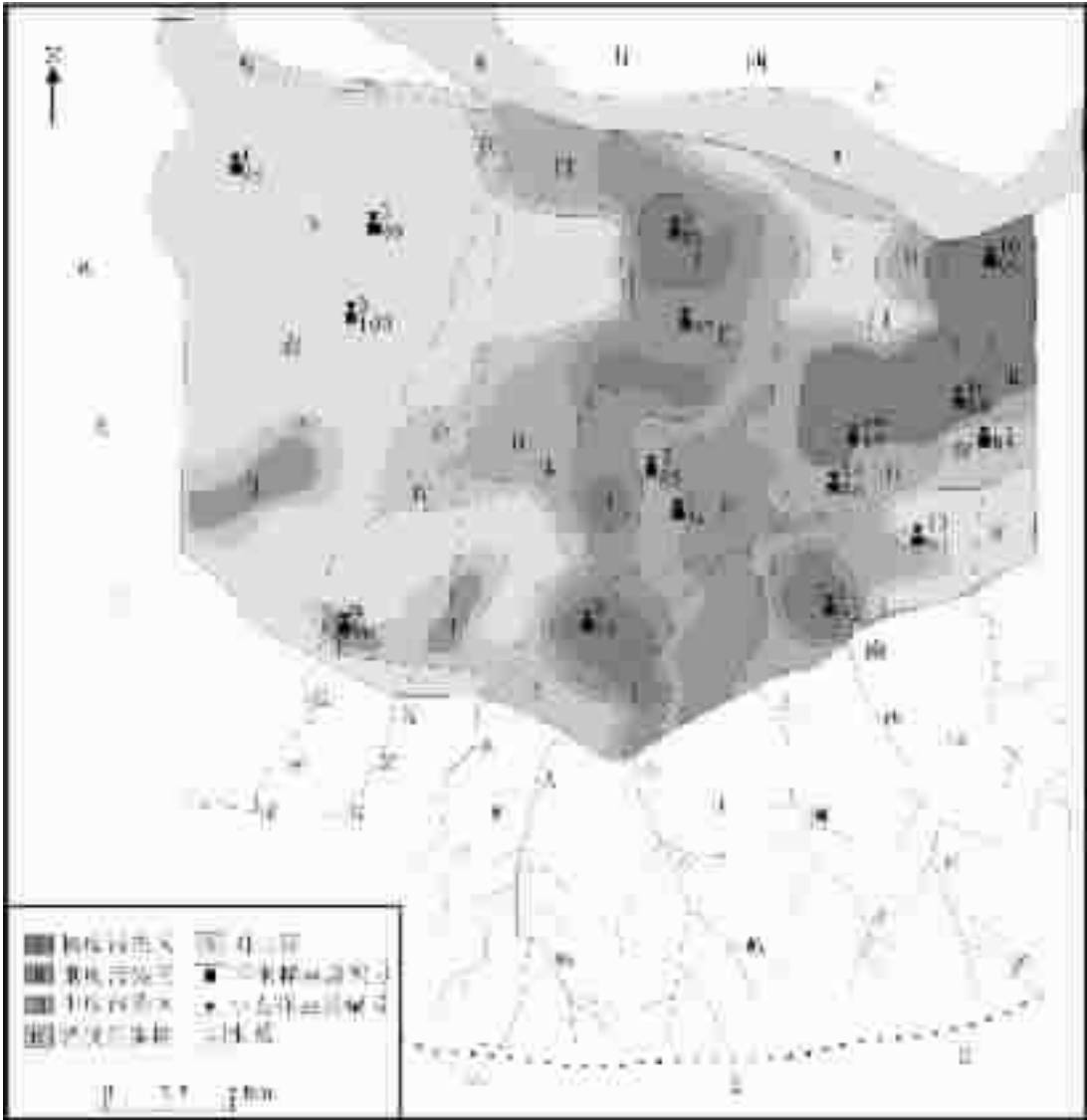


图 1 农田土壤重金属综合污染分区及小麦、玉米样品采集分布
Fig.1 Areas of heavy metal pollution of farmland soils and sample distributing of wheat and corn samples

①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成果报告,2004—2005。
②徐友宁,陕西潼关金矿区农田土壤重金属污染及其环境效应(博士论文).西北大学,2006。

2.2 原始数据分析

2.2.1 小麦中重金属含量分析

从表 1 可以看出,无论评价区还是对照区,小麦中 7 种重金属元素检出率均为 100%。按照评价区重金属含量均值与对照区重金属含量均值的比值大小,可将 7 种重金属元素分为 3 组;第一组为 Hg、Pb、Cd,其含量均值的比值大于 5,显著高于对照区,评价区富集 Pb、Cd、Hg;第二组 As、Zn 含量比值略大于 1,相对对照区没有明显的富集;第三组是 Cr、Cu,其比值略低于对照区,相对于对照区元素含量缺失(表 2,图 2)。说明不同重金属在小麦中的富集能力存在差异,或小麦选择性吸收程度不同。评价区中小麦中重金属的富集能力从大到小依次为 Pb>Cd>Hg>As>Zn>Cu>Cr。

表 1 小麦中重金属含量分析(mg·kg⁻¹)
Table 1 Content (mg·kg⁻¹) of heavy metals in wheat

样号	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
1-d ⁽¹⁾	0.011	0.17	0.022	0.20	0.081	5.46	32.3
2-d	0.009	0.22	0.021	0.23	0.069	4.36	40.0
3-d	0.008	0.10	0.008	0.13	0.084	4.14	34.2
4	0.004	0.27	0.041	0.12	0.094	3.63	41.1
5	0.015	0.15	0.023	0.17	0.085	15.7	31.2
6	0.031	0.34	0.031	0.11	0.10	3.55	35.5
7	0.030	0.47	0.022	0.14	0.091	2.43	25.1
8	0.034	0.28	0.030	0.14	0.083	2.98	33.5
9	0.043	0.37	0.041	0.12	0.085	2.68	47.9
10	0.030	0.59	0.0045	0.12	0.078	2.70	13.5
11	0.033	0.68	0.14	0.19	0.078	3.45	60.5
12	0.048	1.09	0.41	0.12	0.10	3.90	62.6
13	0.064	0.36	0.041	0.17	0.089	2.98	26.6
14	0.083	1.45	0.060	0.13	0.089	2.51	35.2
15	0.045	0.76	0.042	0.090	0.068	1.87	29.8
16	0.075	2.47	0.13	0.13	0.10	2.24	38.3
17	0.113	3.68	0.16	0.13	0.11	4.62	44.1
18	0.037	0.96	0.13	0.11	0.10	4.61	53.1

注:(1)“d”表示对照区小麦样品编号。

表 2 小麦中重金属含量范围及均值比值
Table 2 Range and mean of heavy metal contents in wheat

元素	对照区		评价区		评价区均值 /对照区均值
	含量范围	均值	含量范围	均值	
Hg	0.008~0.011	0.009	0.004~0.113	0.046	5.111
Pb	0.10~0.22	0.163	0.158~3.68	0.928	5.693
Cd	0.008~0.021	0.017	0.0045~0.41	0.087	5.118
Cr	0.13~0.23	0.190	0.09~0.19	0.133	0.700
As	0.069~0.084	0.078	0.068~0.11	0.090	1.154
Cu	4.15~5.46	4.653	1.87~15.7	3.990	0.858
Zn	32.3~40.0	35.500	13.5~62.6	38.533	1.085

注:重金属含量单位为 mg·kg⁻¹。

2.2.2 玉米中重金属含量分析

从玉米种重金属含量分析(表 3)可看出,对照区玉米籽粒中 Hg、Cd、Cr、As、Cu、Zn 重金属检出率均为 100%,而 Pb 未检出,其重金属元素均值含量从大到小依次为 Zn>Cu>As>Cr>Hg>Cd>Pb。评价区 Hg、Cd、Cr、As、Cu、Zn 100%检出,Pb 的检出率为 46.15%,其均值含量从大到小排序为 Zn>Cu>Cr>As>Pb>Hg>Cd,可见排序与对照区略有差别。以评价区玉米中重金属含量均值与对照区重金属含量均值的比值发现,评价区玉米籽粒中较对照区显著累积 Pb、Cd,明显

表 3 玉米中重金属含量(mg·kg⁻¹)
Table 3 Content (mg·kg⁻¹) of heavy metals in corn

样号	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
98-d	0.15	<0.005	0.002	0.071	0.25	1.69	25.1
99-d	0.014	<0.005	0.003	0.071	0.045	1.56	27.2
100-d	0.0092	<0.005	0.001	0.040	0.070	1.35	22.4
85	0.017	0.024	0.006	0.16	0.077	2.04	28.0
86	0.0060	<0.005	0.024	0.060	0.010	1.66	26.3
87	0.0030	<0.005	0.004	0.11	0.030	1.38	25.1
88	0.0098	0.15	0.029	0.050	0.030	1.78	31.2
89	0.012	0.045	0.030	0.070	0.027	1.90	20.8
90	0.010	<0.005	0.006	0.24	0.034	1.75	19.0
91	0.011	0.016	0.007	0.071	0.021	1.84	17.5
92	0.017	0.065	0.029	0.050	0.040	2.01	21.4
93	0.012	<0.005	0.008	0.37	0.12	1.94	20.6
94	0.030	0.008	0.003	0.041	0.047	1.26	25.2
95	0.017	0.068	0.009	0.080	0.043	2.00	27.8
96	0.012	<0.005	0.004	0.15	0.077	1.42	22.3
97	0.14	<0.005	0.002	0.19	0.11	1.67	23.2

表 4 玉米中重金属含量范围及均值比值
Table 4 Range and mean of heavy metal contents in corn

元素	对照区		评价区		评价区均值 /对照区均值
	含量范围	均值	含量范围	均值	
Hg	0.0092~0.15	0.058	0.03~0.14	0.023	0.38
Pb	未检出	0.005*	未检出~0.15	0.031*	6.20
Cd	0.001~0.003	0.002	0.002~0.03	0.0124	6.2
Cr	0.040~0.071	0.061	0.041~0.37	0.126	2.08
As	0.045~0.025	0.122	0.010~0.12	0.051	0.42
Cu	1.35~1.69	1.533	1.26~2.04	1.74	1.14
Zn	22.4~27.2	24.9	17.5~31.2	23.72	0.95

注:对照区 3 处 3 个样,评价区 13 处 13 个样;* 未检出的重金属其含量(单位为 mg·kg⁻¹)取其检出限值的最大值。

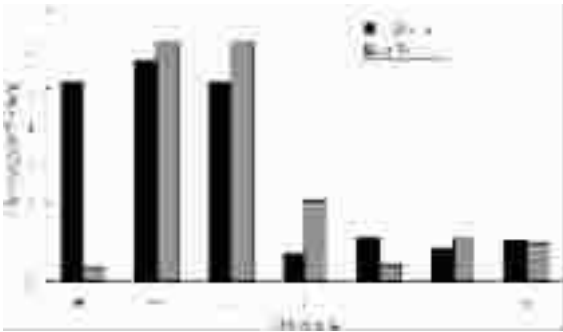


图 2 评价区重金属含量均值/对照区均值对比
Fig.2 Comparison of the mean heavy metal content between the assessment area and control area

累积 Cr、Cu 和 Zn 累积不明显,而 Hg、As 反而比对照区亏缺(表 4、图 2),这是因为对照区 98-d 号样中汞含量异常,导致对照区均值含量高的缘故。评价区中玉米中重金属的富集能力从大到小依次为 Pb>Cd>>Cr>Cu>Zn>As>Hg。

2.3 重金属污染评价

2.3.1 评价依据与方法

小麦、玉米中重金属污染评价的依据、标准采用国家食品卫生限量标准:汞≤0.02 mg/kg (GB2762-94)、Pb≤0.4 mg/kg (GB14935-94)^[18]、Cd≤0.1 mg/kg (GB15201-94)、Cr≤1 mg/kg (GB14961-94)、As≤0.7 mg/kg (GB4810-94)、Cu≤10 mg/kg (GB15199-94)、Zn≤50 mg/kg (GB13106-91)。评价方法借用土壤重金属超标倍数反映重金属污染程度(NY/T395-2000,2002)^[20],其计算式为:某污染物超标倍数=农作物中某污染物实测值-某污染物质量标准)/某污染物质量标准,即:

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

式中:P_i——粮食中 i 重金属污染超标倍数,C_i——粮食中 i 重金属实测含量,C₀——粮食中 i 重金属限量标准值。

2.3.2 小麦中重金属污染评价

对照区 3 件小麦样品(表 5)中,7 种重金属含量均未超过食品中重金属限量卫生标准,即小麦没有受到重金属的污染。而评价区中,As、Cr 全部不超标,除 4 号样外,5 种重金属元素在其余 14 件样品中表现出 4 种污染组合:Hg-Pb-Cd-Cu、Hg-Pb-Cd、Hg-Pb 以及单 Hg 型污染。以毒重金属汞、铅、镉污染为主。汞超标倍数范围 0.5~4.65,均值 1.35,样本超标率 86.67%。铅超标倍数范围 0.18~8.2,均值 1.43,样本超标率 60%。镉超标倍数范围为 0.2~7.2,均值 0.97,样本超标率 33.33%。重金属超标倍数从大到小依次为:Pb>Hg>Cd>Zn>Cu>,超标率依次排序为:Hg>Pb>Cd>Cu>Zn。从表 5 可以看出,12、16、17 号 3 个样品中,Hg、Pb、Cd 复合污染最为严重。

2.3.3 玉米中重金属污染评价

玉米中重金属污染评价采用的标准及评价方法与小麦

表 5 小麦中重金属污染超标倍数
Table 5 Times above the state heavy metal pollution standard for wheat

样号	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
1-d							
2-d							
3-d							
4							
5						0.57	
6	0.55						
7	0.50	0.18					
8	0.70						
9	1.15						
10	0.50	0.48					
11	0.65	0.70	0.4				0.21
12	1.40	1.73	3.1				0.25
13	2.20						
14	3.15	2.63					
15	1.25	0.90					
16	2.75	5.18	0.3				
17	4.65	8.20	0.6				
18	0.85	1.40	0.3				0.06

注:“d”表示对照区小麦样品编号。

表 6 小麦重金属含量对比
Table 6 Comparison of heavy metal contents in wheat

元素	1990 年			2005 年			评价区 2005 年含量值 /1990 年含量均值
	含量均值	平均超标倍数	超标率	含量均值	平均超标倍数	超标率	
Hg	未检出	不超标	0	0.046	1.35	86.67%	46.00
Pb	4.780	16.5	100%	0.928	1.43	60%	0.19
Cd	0.025	不超标	0	0.087	0.97	33.33%	3.48
Cr	0.937	0.063	33.33%	0.133	0.038	0	0.14
As	0.118	不超标	0	0.090	不超标	0	0.76
Cu	14.100	0.41	100%	3.990	0.02	6.67%	0.28
Zn	38.000	不超标	0	38.533	0.038	20%	1.01

注:重金属含量均值单位为 mg·kg⁻¹。

评价计算公式相同。评价结果表明,全区只有 3 个样品超标,且均为汞金属超标,分别是对照区 98 号样,汞超标倍数 6.5,评价区 94、97 号样超标倍数分别为 0.5、6。与采样点相同位置玉米籽粒对重金属的吸附、富集能力显著低于小麦。

2.4 小麦、玉米中重金属对比分析

1991 年西安地质矿产研究所采集分析的 9 件小麦籽粒样品均落在现评价区内^①,汞全部没有检出(表 6),本次含量均值与 1990 年含量均值的比值发现,15 年间,小麦中汞的富集程度最为明显,已是 1990 的 46 倍,Cd、Zn 富集 3.48 和 1.01 倍。与此相反,Pb、Cd、Cu、As 均值含量远较 1990 年小麦

①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成果报告, 2004—2005.

中含量少。1990 年超标元素是 Pb、Cu、Cr 3 种元素,而 2005 年超标元素增至 5 项,且 Hg、Cd 污染明显加重,Pb、Cu 超标率有所降低,Cr、As 没有超标。

通过与重庆市玉米重金属均值含量比值^[8]发现(表 7),研究区 Hg 是重庆市玉米 Hg 含量的 2.875 倍,其余金属均低于重庆市,这从另一个方面证明了金矿区 Hg 是环境中最特征的污染物。

表 7 研究区与重庆市玉米重金属含量均值及其比值 Table 7 Mean content of heavy metals in corn in the study area and Chongqing Municipality			
元素	研究区均值	重庆市均值	研究区均值/重庆市均值
Hg	0.023	0.008	2.875
Pb	0.031	0.526	0.059
Cd	0.0124	0.061	0.203
Cr	0.126	0.971	0.13
As	0.051	0.097	0.526
Cu	1.74	4.543	0.383
Zn	23.72	36.073	0.658

注:重金属含量均值单位为 mg·kg⁻¹。

3 结 论

(1)土壤污染区(评价区)小麦中重金属 Hg、Pb、Cd 累积程度显著高于土壤对比区,而 Cr、As、Cu、Zn 累积不明显。对比区内小麦中重金属含量符合食品卫生限量标准,而评价区中多种金属超标,Hg、Pb、Cd 超标率分别为 86.67%、60%和 33.33%,其次为铜 20%、Zn6.67%。

(2)在污染区,玉米中 Pb、Cd、Cr 明显较对比区累积,但目前仅有 Hg 超标,超标率 15.15%,超标 0.5~1.6 倍。

(3)同一采样点,小麦中 5 种重金属存在不同程度的超标情况,而玉米中只有 Hg 超标,显示出小麦籽粒比玉米籽粒更易吸收累积重金属。

(4)小麦中重金属的累积程度与立地土壤污染程度存在着较好的相关性,而玉米中这一规律则不明显。

(5)与 1990 年比较,15 年来,Hg 是小麦中污染累积最为明显且最严重的毒重金属,同时超标的重金属数目也在增多,环境污染的健康风险增大。

(6)与重庆市玉米重金属含量均值比较,从另一个方面证明了 Hg 是金矿区环境的特征污染物。

潼关金矿区农田土壤重金属污染,已经导致人体食物链——小麦、玉米中重金属 Hg、Pb、Cd 累积明显,尤以小麦最为严重,超过了国家食品卫生限量标准,严重危及粮食安全和人体健康,加快农田土壤污染修复,调整小麦种植范围,才可能避免严重的环境公害事件发生。

参考文献(References):

[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.
Wang Qingren, Liu Xiumei, Cui Yanshan, et al. Soil contamination and sources of heavy metals at individual sites of industry and mining associated with waste water irrigation in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22 (3):354-358 (in Chinese with English abstract).

[2] 何佳芳,何腾兵.某铅锌冶炼厂废弃土地复垦整理区土壤重金属污染评价[J].水土保持学报,2006,20(2):97-101.
He Jiafang, He Tengbing. Evaluation of soil heavy metals pollution in wasteland of one factoring smelting Pb and Zn in reclamation and renovation area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2):97-101(in Chinese with English abstract).

[3] 徐友宁,柯海玲,刘瑞萍,等.某金矿区农田土壤汞污染评价[J].黄金,2006,27(7):47-50.
Xu Youning, Ke Hailing, Liu Ruiping, et al. Assessment on mercury contamination to agricultural soil in gold mining area [J]. Gold, 2006, 27(7):47-50(in Chinese with English abstract).

[4] 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.
Environmental geochemical response of soils along banks of a river to mines and mining activity in the upper reaches of the river——A case study of the Diaojiang River drainage system, Guangxi, China, [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (10-11):945-951 (in Chinese with English abstract).

[5] 杨忠芳,朱立,陈岳龙.现代环境地球化学[M].北京:地质出版社,1999:219-220.
Yang Zhongfang, Zhu Li, Chen Yuelong. Contemporary Environmental Geochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999:219-220(in Chinese with English abstract).

[6] 赵琦.成都市多目标地球化学调查和双层采样的效果 [J].中国地质,2002,29(2):186-191.
Zhao Qi. Multi-target geochemical survey and results of double-layer sampling in Chengdu City[J]. Geology in China, 2002, 29(2): 186-191(in Chinese with English abstract).

[7] 武淑华,朱伊君,顾亚中.小麦重金属含量与土壤质量之间关系研究[J].黑龙江环境通报,2002,26(3):98-100.
Wu Suhua, Zhu Yijun, Gu Yazhong. Research of the relationship between the heavy metal content of wheat and the quality of soil[J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2002, 26 (3):98-100 (in Chinese with English abstract).

[8] 何峰.重庆市农田土壤—粮食作物重金属关联特征与污染水平[D].重庆:西南农业大学,2004:62.
He Feng. Correlation and Assessment of Heavy Metal Contamination between Agricultural Soils and Food Crops in Chongqing [D]. Chongqing:Southwest Agricultural University, 2004:62(in Chinese with English abstract).

- [9] 肖昕, 冯启言, 刘忠伟, 等. 重金属 Cu、Pb、Zn、Cd 在小麦中的富集特征[J]. 能源环境保护, 2004, 18(3):28-31.
Xiao Xin, Feng Qiyang, Liu Zhongwei, et al. Enrichment characteristics of heavy metals (Cu、Pb、Zn、Cd)in Wheat[J]. Energy Environmental Protection, 2004, 18 (3):28-31 (in Chinese with English abstract).
- [10] 刘兆明, 赵爱华, 张心声. 食物链的污染对人体的危害 [J]. 山东生物医学工程, 2001, 20(2):52-54.
Liu Zhaoming, Zhao Aihua, Zhang Xinshen, et al. Harmfulness for human on pollution of food chain [J]. Shandong Journal of Biomedical Engineering. 2001, 20 (2):52-54 (in Chinese with English abstract).
- [11] 周宗灿. 环境医学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001:35-36.
Zhou Zongchan. Environmental Iatrology [M]. Beijing: Environmental Science Press, 2001:35-36(in Chinese with English abstract).
- [12] 谭见安. 地球环境与健康 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 152-154.
Tan Jian'an. Global Environment and Health[M]. Beijing: Chemical Industry Press. 2004:152-154(in Chinese with English abstract).
- [13] 何乱水, 马炳祥, 杜文奎, 等. 西北黄土高原干旱半干旱条件下城市污染特点——以西北某城市为例 [J]. 中国地质, 2003, 30(4):442-448.
He Luanshui, Ma Bingxiang, Du Wenkui, et al. Characteristics of urban pollution in arid-semiarid areas on the Loess Plateau in northwest China: examples from a city in northwestern China[J]. Geology in China, 2003, 30(4):442-448(in Chinese with English abstract).
- [14] 陈明, 冯流, 周国华, 等. 缓变型地球化学灾害: 特征、模型和应用[J]. 地质通报, 2005, 24(10-11):916-92.
Chen Ming, Feng Liu, Zhou Guohua, et al. Delayed geochemical hazards: Characteristics, modeling and application [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (10-11):916-92 (in Chinese with English abstract).
- [15] 陈社斌, 徐友宁, 何芳. 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.
Chen Shebin, Xu Youning, He Feng. Analyzing for harmfulness of environmental pollution in gold mine area [J]. Northwestern Geology. 2003, 36 (supp.):172-175 (in Chinese with English abstract).
- [16] 徐友宁, 何芳, 张江华, 等. 西北地区不同类型矿产开发环境地质研究[C]//中国地质调查局. 生态环境地质调查论文集. 北京: 地质出版社, 2003:427-443.
Xu Youning, He Fang, Zhang Jianghua, et al. The research of environmental geology on exploiting different types mineral resources in northwest area, China [C]//China Geology Survey. Analects on Environmental Geology Survey. Beijing: Geological Publishing House, 2003:427-443(in Chinese with English abstract).
- [17] 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):18-23.
Zhang Chenyu, Zhang Xin, Chang Zufeng. Mercury pollution of gold extraction from gold-mercury compound in Henan Province, Xiaolinling gold mineral belt [J]. Geological Hazards and Environment Preservation, 1999, 10 (2):18-23 (in Chinese with English abstract).
- [18] 薛文平. 汞的性质和危害及黄金矿山的汞的污染[J]. 黄金, 2003, 9(4):63-65.
Xue Wenpin. The character, harmfulness of mercury and pollution on gold mine[J]. Gold, 2003, 9(4):63-65(in Chinese with English abstract).
- [19] 戴前进. 中国混汞法采金地区汞的环境地球化学—以陕西潼关为例[D]//中国科学院贵阳地球化学研究所, 2004:63-65.
Dai Qianjing. Environmental Geochemistry Study of Mercury Contamination from Gold Mining Areas by Amalgamation Technique in China—A Case Study from Tongguan County of Shaanxi Province [D]//Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang China, 2004:63-65(in Chinese).
- [20] 国家环境保护局. 土壤环境质量标准(GB15618-1995)[S]. 1995: 3-4.
State Environmental Protection Administration of China. Environmental Quality Standard for Soils [S]. 1995:3-4(in Chinese).
- [21] 中华人民共和国农业部. 农田土壤环境质量管理技术规范(NY/T395-2000)[S]. 2002, 12:5.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Procedural Regulations Regarding the Environment Quality Monitoring of Soil(NY/T395-2000)[S]. 2002, 12:5(in Chinese).

Environmental effects of heavy metal pollution of farmland soils in gold mining areas

XU You-ning, ZHANG Jiang-hua, LIU Rui-ping, KE Hai-ling, LI Yu-jing

(*Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

Abstract: A comparative study was performed of the content of heavy metals in wheat and corn in an area of soil heavy metal pollution and a control area in a certain gold mining area in the Xiaoqingling Mountains. The study shows that: the cumulative contents of Hg, Pb and Cd in wheat seeds in the polluted area are obviously higher than those in the soil control area; there is almost no difference in contents of Cr, As, Cu and Zn between the polluted area and control area; and the above-standard rates of Hg, Pb, Cd, Zn and Cu in wheat are 86.67%, 60%, 33.33%, 6.67% and 20% respectively. In comparison with the control area, the Pb, Cd and Cr contents in corn in the polluted area are markedly high but do not exceed the set standards, only mercury being above the standard, with an above-standard rate of 15.15%. Wheat is easier to absorb heavy metals than corn at the same sampling site. There is a good correlation between the content of heavy metals in wheat and the degree of heavy metal pollution in soils. In contrast with 1990, the cumulative effects of Hg and Cd in wheat are very prominent. The heavy metal pollution of soils in gold mining area has caused serious pollution of wheat.

Key words: wheat; corn; heavy metal; pollution analysis; assessment; gold mining area

About the first author: XU You-ning, male, born in 1963, Ph.D, Senior researcher, mainly engages in study of environmental geology of mining area; E-mail: ksdzhj@sohu.com.