

# 陕西省泾惠渠灌区土壤重金属地质累积指数评价

易 秀<sup>1</sup>, 谷晓静<sup>2</sup>, 侯燕卿<sup>1</sup>, 刘秀花<sup>1</sup>, 谢 娟<sup>1</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安市环境保护科学研究院, 陕西 西安 710002)

**摘要:** 通过对陕西省泾惠渠灌区现场调查及土壤样品的采集, 分析了灌区土壤中 Hg、Cd、Cr、Pb、As、Cu、Zn 等 7 种元素的含量, 应用地质累积指数对灌区土壤进行了评价。结果表明: 从区域分布看, 阎良区、临潼区、高陵县所属采样点污染较严重; Hg 污染最严重, 地质累积指数为 1.007~3.117, 58% 的采样点级别为 3 级, 属中度污染到强污染, 38% 的采样点级别为 2 级, 属中度污染; Zn 污染程度次之, 地质累积指数为 0.407~1.644, 71% 的采样点级别为 1 级, 属无污染到中污染; Cd 污染变异程度最大, 地质累积指数为 0.705~3.312, 70% 的采样点级别 0 级, 属无污染, 但个别采样点达到了强污染; Cu 的地质累积指数为 0.535~0.421, Pb 为 1.119~0.144, Cr 为 1.005~0.458, As 为 0.562~0.077, 除个别点外这些重金属污染级别皆为 0 级, 属无污染。

**关键词:** 重金属; 地质累积指数; 土壤质量; 污染; 泾惠渠灌区; 陕西省

中图分类号: X131.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2010)03-0288-04

## Assessment on Soil Heavy Metals Pollution by Geoaccumulation Index in Jinghuiqu Irrigation District of Shaanxi Province

YI Xiu<sup>1</sup>, GU Xiao-jing<sup>2</sup>, HOU Yan-qing<sup>1</sup>, LIU Xiu-hua<sup>1</sup>, XIE Juan<sup>1</sup>

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

2. Xi'an Research Institute of Environmental Protection, Xi'an 710002, Shaanxi, China)

**Abstract** By investigating field and sampling soil in Jinghuiqu irrigation district of Shaanxi, the contents of Hg, Cd, Cr, Pb, As, Cu and Zn in soil were analyzed, and soil quality was assessed with geoaccumulation index. The results showed that the pollution levels of heavy metals were higher at the sampling sites of Yanliang, Lintong and Gaoling than that at Sanyuan and Jingyang; the pollution level of Hg was highest, geoaccumulation index was 1.007-3.117, the grade of geoaccumulation index was moderate or strong pollution for 58% of sampling sites, and moderate pollution for 38% of sampling sites; the pollution level of Zn was only less than that of Hg, geoaccumulation index was 0.407-1.644, the grade of geoaccumulation index was no pollution or moderate pollution for 71% of sampling sites; the variability of pollution level of Cd was greatest, geoaccumulation index was 0.705-3.312, the grade of geoaccumulation index was no pollution for 70% of sampling sites, but the grade of geoaccumulation index was strong pollution for individual sampling site; geoaccumulation indexes of Cu, Pb, Cr and As were respectively 0.535-0.421, 1.119-0.144, 1.005-0.458 and 0.562-0.077, the grade of geoaccumulation index was no pollution for most sampling sites.

**Key words:** heavy metal; geoaccumulation index; soil quality; pollution; Jinghuiqu irrigation district; Shaanxi Province

## 0 引言

近年来一些灌区农田化肥、农药的大量施用以

及地膜的大面积推广应用, 使灌区土壤重金属含量显著增加, 导致土壤生态环境质量下降<sup>[1-6]</sup>。泾惠渠灌区作为陕西省的重要粮菜基地, 同样存在土壤

收稿日期: 2009-12-03

基金项目: 高等学校学科创新引智计划项目(B08039); 陕西省水利厅重点项目

作者简介: 易秀(1965-)女, 青海西宁人, 教授, 工学博士, 从事土壤与水资源环境污染防治教学与研究。E-mail: yixiu@chd.edu.cn

资源压力增大的现状。因而客观、正确地评价灌区土壤环境质量,对灌区土壤的定向培育,保证灌区生产的正常运行,促进灌区资源、环境、生态、经济可持续发展,都具有重要意义。

学者评价土壤环境质量的方法有很多<sup>[7-13]</sup>。笔者拟采用地质累积指数法对灌区土壤的环境质量进行现状评价。该方法具有一定的客观性和可比性,易于计算,已在环境质量评价中得到了广泛应用。由于地域差异等因素的影响,该方法没有统一的评价标准。很多学者对土壤环境质量进行评价时,一般结合区域实际情况来确定评价标准。

## 1 研究区概况

泾惠渠灌区位于陕西省关中平原中部,东经 $108^{\circ}34'34''\sim 109^{\circ}21'35''$ ,北纬 $34^{\circ}25'20''\sim 34^{\circ}41'40''$ ,属泾、渭河冲积平原区。灌区东西长约70 km,南北宽约20 km,耕地面积 $9.13\times 10^4\text{ hm}^2$ ,有效灌溉面积 $8.39\times 10^4\text{ hm}^2$ ,渠井双灌面积 $7.33\times 10^4\text{ hm}^2$ 。灌区地势由西北向东南倾斜,海拔高程350~450 m,地面坡降1/300~1/600,是典型的北方平原灌区。灌区的主要土类为灌淤土和壤土。

## 2 土壤样品采集与分析

在广泛收集相关资料的基础上,结合区域土壤类型和土地利用方式等数据在1:150 000地图上随机布点,采集0~20 cm耕层土壤样品24个(图1)。

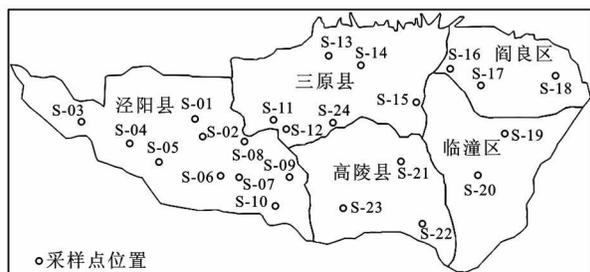


图1 泾惠渠灌区土壤采样点分布

Fig. 1 Sketch Map of Soil Sampling Sites in Jinghuiqu Irrigation District

根据《土壤环境质量标准》<sup>[14]</sup>和《土壤环境监测技术规范》<sup>[15]</sup>,对土壤中Hg、Cd、Cr、Pb、As、Cu、Zn等7种元素进行全量分析。

## 3 结果与讨论

### 3.1 地质累积指数

地质累积指数(Geoaccumulation Index)反映

的是单一元素的污染水平,属于单项污染指数<sup>[16]</sup>。地质累积指数是20世纪60年代末期在欧洲发展起来的广泛应用于沉积物以及其他物质中重金属污染程度的定量指标研究,是由德国海德堡大学沉积物研究所Muller教授提出的一种定量研究水环境沉积物中重金属元素污染状况的评价方法<sup>[17-18]</sup>。由于在污染指数计算过程中加入了表层沉积特征、岩石地质及其他因素的修正指数,所以累积指数不仅反映了重金属分布的自然变化特征,而且可以判别人为活动对环境的影响,是区分人类活动影响的重要参数。地质累积指数 $I_{geo}$ 的表达式为

$$I_{geo} = \log \frac{C_n}{1.5B_n} \quad (1)$$

式中: $C_n$ 为样品中重金属元素 $n$ 的含量; $B_n$ 为沉积物重金属元素 $n$ 的背景值;1.5为常数,考虑到岩石差异、成岩作用等因素可能会引起背景值的波动而设的。

### 3.2 地质累积指数分级

Forstner等<sup>[18-19]</sup>根据地质累积指数 $I_{geo}$ 把沉积物中重金属污染程度分为7个级别(表1),另一学者Anon<sup>[20]</sup>分为5个级别。不同级别代表着不同的重金属污染程度<sup>[21]</sup>。笔者采用前者。

表1 地质累积指数的级别

Tab. 1 Grade of Geoaccumulation Index

$I_{geo}$ 范围	级别	污染程度
$I_{geo} < 0$	0	无污染
$0 \leq I_{geo} < 1$	1	无污染到中度污染
$1 \leq I_{geo} < 2$	2	中度污染
$2 \leq I_{geo} < 3$	3	中度污染到强污染
$3 \leq I_{geo} < 4$	4	强污染
$4 \leq I_{geo} < 5$	5	强污染到极强污染
$I_{geo} > 5$	6	极强污染

### 3.3 地球化学背景值选择

应用地质累积指数评价土壤重金属的污染程度时,选择的地球化学背景值对所计算的地质累积指数有一定影响,并影响重金属的污染程度评价。在研究某地区沉积物中重金属的地质累积指数时,应以该区沉积物自身背景值作为计算地质累积指数的地球化学背景值<sup>[22]</sup>。笔者选择中国黄土元素背景值的平均值作为地球化学背景值<sup>[23]</sup>(表2),是考虑到泾惠渠灌区的土壤成土母质为黄土,以此计算的地质累积指数可以有效降低成土母岩对土壤重金属元素含量的影响,突出土壤重金属元素的人

为污染。

表 2 黄土的重金属元素地球化学背景值

Tab. 2 Geochemical Background Values of Heavy Metals in Loess

元素	As	Hg	Cd	Cr	Zn	Cu	Pb
背景值	12.7	0.014 6	0.100	67.3	65.4	22.5	21.0

注:表中数据/ $10^{-6}$

### 3.4 地质累积指数结果与讨论

根据式(1)和表 1 计算得到泾惠渠灌区各采样点的地质累积指数及污染级别(表 3)。结果表明,Cu 的地质累积指数为 $-0.535 \sim 0.421$ ,除 2 个采样点外其余级别皆为 0 级,属无污染;Zn 的地质累

积指数为 $-0.407 \sim 1.644$ ,71%的采样点级别为 1 级,属无污染到中污染;Pb 的地质累积指数为 $-1.119 \sim -0.144$ ,级别均为 0 级,属无污染;Cd 的地质累积指数变化范围很大,为 $-2.705 \sim 3.312$ ,70%的采样点级别 0 级,属无污染,但在阎良区箭王村采样点达到了强污染;Cr 的地质累积指数为 $-1.005 \sim -0.458$ ,级别均为 0 级,属无污染;As 的地质累积指数为 $-0.562 \sim 0.077$ ,除 2 个采样点外其余级别皆为 0 级,属无污染;Hg 的地质累积指数为 $1.007 \sim 3.117$ ,58%的采样点级别为 3 级,属中度污染到强污染,38%的采样点级别为 2 级,属中度污染。三原屯王村采样点达到了强污染。

表 3 各采样点土壤重金属元素的地质累积指数及其级别

Tab. 3 Geoaccumulation Index and Its Grade of Heavy Metals in Different Soil Sampling Sites

样品 编号	采样点	Cu		Zn		Pb		Cd		Cr		As		Hg	
		$I_{geo}$	级别												
S-01	泾阳杨府村	-0.528	0	0.250	1	-1.051	0	-1.447	0	-0.770	0	-0.562	0	1.329	2
S-02	泾阳樊窑村	-0.410	0	0.045	1	-1.119	0	0.093	1	-0.835	0	-0.147	0	1.501	2
S-03	泾阳沟儿上村	-0.343	0	0.339	1	-0.898	0	-0.206	0	-0.935	0	-0.122	0	1.454	2
S-04	泾阳社树林	-0.535	0	0.832	1	-0.613	0	0.485	1	-0.671	0	-0.298	0	1.547	2
S-05	泾阳褚牛村	-0.295	0	0.603	1	-0.655	0	-1.275	0	-0.840	0	0.011	1	2.329	3
S-06	泾阳中张村	-0.410	0	0.505	1	-0.531	0	-0.100	0	-1.005	0	-0.99	0	1.869	2
S-07	泾阳封家村	-0.254	0	0.652	1	-0.670	0	-0.599	0	-0.858	0	-0.050	0	2.162	3
S-08	泾阳白家村	-0.388	0	0.531	1	-1.042	0	-2.705	0	-0.835	0	-0.139	0	1.990	2
S-09	泾阳西徐村	-0.349	0	0.955	1	-0.832	0	-0.769	0	-0.810	0	0.077	1	1.757	2
S-10	泾阳蔡豪村	-0.427	0	0.316	1	-0.791	0	-0.447	0	-0.889	0	-0.098	0	1.007	2
S-11	三原腰寨村	-0.322	0	0.578	1	-0.538	0			-0.640	0	-0.050	0	2.191	3
S-12	三原和平村	-0.224	0	0.823	1	-0.699	0			-0.549	0	-0.050	0	1.717	2
S-13	三原城南村	-0.317	0	0.239	1	-0.729	0	0.794	1	-1.005	0	-0.066	0	2.329	3
S-14	三原屯王村	-0.504	0	0.574	1	-0.760	0	-1.585	0	-0.680	0	-0.374	0	3.117	4
S-15	三原陝西村	-0.410	0	-0.407	0	-0.144	0	-0.100	0	-0.863	0	-0.122	0	2.329	3
S-16	阎良木镇村	-0.450	0	1.383	2	-0.339	0	0.181	1	-0.943	0	-0.225	0	2.454	3
S-17	阎良箭王村	-0.450	0	-0.065	0	-0.592	0	3.312	4	-0.464	0	-0.307	0	2.454	3
S-18	阎良槐树村	-0.450	0	0.604	1	-0.260	0	1.138	2	-0.687	0	-0.434	0	2.191	3
S-19	临潼胡张村	0.277	1	0.348	1	-0.722	0			-0.655	0	-0.345	0	2.454	3
S-20	临潼南窑村	0.421	1	0.368	1	-0.745	0	1.648	2	-0.579	0	-0.234	0	2.191	3
S-21	高陵城关北街	-0.474	0	-0.003	0	-0.429	0	-2.644	0	-0.763	0	-0.414	0	2.869	3
S-22	高陵张卜乡	-0.433	0	1.447	2	-0.578	0	-0.206	0	-0.655	0	-0.298	0	2.957	3
S-23	高陵邓家塬村	-0.360	0	1.217	2	-0.466	0	-2.421	0	-0.724	0	-0.216	0	2.501	3
S-24	三原赵家村	-0.234	0	1.644	2	-0.404	0	-0.705	0	-0.458	0	-0.131	0	2.191	3
	平均	-0.328	0	0.574	1	-0.528	0	-0.360	0	-0.755	0	-0.200	0	2.120	3

## 4 结语

(1)从区域分布看,阎良区、临潼区、高陵县所属采样点污染较严重。从不同元素的污染程度看,泾惠渠灌区土壤中 Hg 污染最严重,平均级别为 3 级,属中度污染到强污染;其次为 Zn,平均级别为

1 级,属无污染到中污染;Cd 的污染变异程度最大,有些采样点未检出,有些采样点达到了强污染。

(2)现场调查发现,阎良区化肥农药的施用量高于泾惠渠灌区其他地区。泾惠渠灌区土壤中 Hg 含量高与大量施用 Hg 制剂农药有关,而 Zn 和 Cd 则与化肥有关。同时,在阎良区、临潼区和高陵县

集中了较多的乡镇企业,工业与交通相对发达,成为重金属元素进入土壤的另一个污染源。但该灌区土壤重金属污染的来源及主要影响因素还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Mattiged S V, Page A L. Assessment of Metal Pollution in Soils [ C ] // Thornton L. Applied Environmental Geochemistry. London: Academic Press, 1984: 355-394.
- [ 2 ] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价 [ J ]. 地理科学, 2005, 25(1): 108-112.
- [ 3 ] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中重金属环境风险测度与源解析 [ J ]. 地球化学, 2006, 35(1): 88-94.
- [ 4 ] 高凤仙, 杨仁斌. 饲料中高剂量铜对资源及生态环境的影响 [ J ]. 饲料工业, 2005, 26(12): 49-53.
- [ 5 ] Chen T B. Application of NaHCO<sub>3</sub>/DTPA Extractant-ICP Spectrometry Technique in Soil Test for Availability of Nutrients and Heavy Metals [ J ]. Pedosphere, 1993, 3(4): 377-382.
- [ 6 ] 杨胜科, 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.
- [ 7 ] Burt R, Wilson M A, Mays M D, et al. Major and Trace Elements of Selected Pedons in the USA [ J ]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32: 2109-2121.
- [ 8 ] Brus D J, Gnujter J J, Walvoort D J J, et al. Mapping the Probability of Exceeding Critical Thresholds for Cadmium Concentrations in Soils in the Netherlands [ J ]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31: 1875-1884.
- [ 9 ] Rapant S, Raposova M, Bodis D, et al. Environmental-geochemical Mapping Program in the Slovak Republic [ J ]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66(1): 151-158.
- [ 10 ] 陈翠华. 江西德兴地区重金属污染现状评价及时空对比研究 [ D ]. 成都: 成都理工大学, 2006.
- [ 11 ] 李晓秀, 陆安祥, 王纪华, 等. 北京地区基本农田土壤环境质量分析与评价 [ J ]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 60-63.
- [ 12 ] 侯鹏程, 徐向东, 潘根兴. 不同利用方式下吴江市耕地土壤环境质量变化 [ J ]. 生态环境, 2007, 16(1): 152-157.
- [ 13 ] 严加永, 吕庆田, 葛晓立. 基于空间分析技术的城市土壤污染研究 [ J ]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3): 321-325.
- [ 14 ] GB 15618—1995, 土壤环境质量标准 [ S ].
- [ 15 ] HJ/T 166—2004, 土壤环境监测技术规范 [ S ].
- [ 16 ] 黄辉. 城市化背景下城市边缘带土壤资源数量及质量变化研究 [ D ]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [ 17 ] Muller G. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River [ J ]. Geojournal, 1969, 2: 108-118.
- [ 18 ] Forstner U, Muller G. Concentrations of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in River Sediments: Geochemical Background, Man's Influence and Environmental Impact [ J ]. Geojournal, 1981, 5: 417-432.
- [ 19 ] Muller G. Sediment Index [ J ]. Chemiker Zeitung, 1981, 105(52): 53-58.
- [ 20 ] Anon D L. Ein Fließgewässer System [ M ]. Regierungspräsidium Giessen; Niedernhausen, 1994.
- [ 21 ] Martin C W. Heavy Metal Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill, River Lahn, Germany [ J ]. Catena, 2000, 39(1): 53-68.
- [ 22 ] 滕彦国, 庾先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价沉积物中重金属污染: 选择地球化学背景的影响 [ J ]. 环境科学与技术, 2002, 25(2): 7-9.
- [ 23 ] 田均良, 李雅琦, 陈代中. 中国黄土元素背景值分异规律研究 [ J ]. 环境科学学报, 1991, 11(3): 253-262.

## 《地球科学与环境学报》被美国《地质参考》数据库收录

据中国高等学校自然科学学报研究会对外联络委员会消息,《地球科学与环境学报》已被美国《地质参考》(GR)数据库收录。截至2007年,该数据库收录本刊文献总共221篇。美国《地质参考》(GR)数据库是美国地质学会于1966年创办的,是世界范围内地球科学领域最全面的数据库,包含了超过2400000条来自于地球科学领域的期刊文献、书籍、地图、会议文献、报告及论文的记录。目前,该数据库收录中国期刊64种。