

陕西省泾惠渠灌区土壤重金属环境质量现状及评价

易秀¹, 谷晓静², 侯燕卿¹, 刘秀花¹, 谢娟¹

(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: 在调查收集泾惠渠灌区农业生态环境状况资料的基础上, 通过采集土壤样品, 分析了灌区土壤中重金属含量, 并通过单因子指数法对其土壤重金属环境质量现状作出了评价。结果表明, 灌区土壤中 Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn 平均值与陕西省土壤背景值的平均值相比, 分别超出 46.0%, 105.7%, 90.6%, 47.8%, 12.6% 和 178.6%, 只有 Cr 基本接近; 从各元素的变异系数看, Cd 的最大, 为 1.547, As 的最小, 为 0.105; 土壤中 Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn 以及 Cr 相互之间的相关性都不显著; 重金属元素与肥力指标的相关性不具任何规律性; 单因子评价结果表明, 灌区土壤中 Zn 污染最严重, 平均单因子污染指数 1.48, 为轻度污染。As 的平均单因子污染指数 1.11, 也达到轻度污染。Cd 的平均评价结果为非污染。灌区土壤中 Cr, Pb, Cu, Hg 含量基本未达到土壤污染积累的起始值。

关键词: 土壤重金属; 环境质量评价; 陕西省泾惠渠灌区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0153-05

中图分类号: X131.3

Current Situation and Evaluation of Soil Environmental Quality for Heavy Metals in Jinghuiqu Irrigation District of Shaanxi Province

YI Xiu¹, GU Xiao-jing², HOU Yan-qing¹, LIU Xiu-hua¹, XIE Juan¹

(1. College of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

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

Abstract: Based on investigating and collecting information on the present situation of agro-ecological environment in Jinghuiqu irrigation district of Shaanxi Province, soil samples are collected and the contents of heavy metals are analyzed. Meanwhile, soil environmental quality for heavy metals is evaluated by single factor index. Results show the average contents of Pb, Cd, Hg, As, Cu, and Zn in soils are 46.0%, 105.7%, 90.6%, 47.8%, 12.6%, and 178.6%, respectively, higher than soil background values of Shaanxi Province. Only the content of Cr is similar basically. The variation coefficient of Cd is the biggest (1.547) and that of As is the smallest (0.105). There are no significant correlations among Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn, and Cr. The correlation between heavy metals and soil fertility index is not significant. The pollution degree of Zn is the highest and the average single factor index is 1.48, which means pollution degree is at a light level. The average single factor index of As is 1.11 and it is also at a light level. The average single factor index of Cd is at no pollution level. The contents of Cr, Pb, Cu, and Hg are lower than the initial values of soil pollution accumulation basically.

Keywords: soil heavy metal; evaluation of environmental quality; Jinghuiqu irrigation district of Shaanxi Province

泾惠渠灌区是陕西省重要的粮食、蔬菜基地, 其土壤环境质量的优劣对人们的健康有着重大影响。近年来灌区在高效发展农业生产的同时, 由于大量施用农药、化肥以及地膜的推广, 土壤中污染物含量有

增加趋势, 尤其是重金属等^[1]。据报道, 重金属是农事活动引入的最多污染物。一般化学肥料中含有数量不等的 Cd, Zn, Ni, Cr, Cu, Zn, As, 农药中含 Hg, As, Cu, Zn 等重金属^[2,5]。由于地膜生产过程中加入

了含有 Cd, Pb 的热稳定剂, 同时也增加了土壤重金属污染^[6]。另外 Cu, Zn, Fe, As, Cr 等被广泛应用于饲料添加剂中^[7-9], 通过畜禽粪便也进入到农田环境中。针对上述问题, 本文在调查收集泾惠渠灌区农业生态环境状况资料的基础上, 通过采集土壤样品、化验分析, 摸清灌区土壤中重金属含量现状, 并通过单因子指数法对其土壤重金属环境质量现状作出评价, 从而为指导灌区农业生产、保证灌区农产品质量提供科学的依据。

1 研究区概况

泾惠渠灌区位于陕西省关中平原中部, 东经 $108^{\circ}34'34''$ — $109^{\circ}21'35''$, 北纬 $34^{\circ}25'20''$ — $34^{\circ}41'40''$ 。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 hm^2 。地势由西北向东南倾斜, 海拔高程 350~450 m, 地面坡降 $1/300 \sim 1/600$, 是典型的北方平原灌区。根据中国土壤分类系统^[10], 灌区的主要土类以灌淤土和褐土为主。

2 研究方法

2.1 采样点的布设及样品测定

灌区种植的农作物主要以小麦、玉米为主, 有少部分果园, 都为井渠双灌。采样时, 根据作物类型, 种植农作物的土壤采样深度为 0—20 cm; 果园土壤采样深度为 0—40 cm。因为灌区耕地地势平坦, 土壤比较均匀, 采用梅花布点法或蛇形布点法, 每个采样点设 5~20 个分点, 每个分点取土样 1 kg 左右, 然后用塑料袋将各分点的土样混合均匀, 再用四分法保留混合土样约 1 kg, 装入采样袋, 贴好标签。将采集的土壤样品晾晒在室内自然风干, 并剔除异物(植物根、石砾等), 用玛瑙研钵研磨, 过 100 目尼龙筛, 保存待测。

2.2 评价重金属的选择及其测定方法

对土壤中重金属污染评价时, 虽然有效态含量更为合理, 但由于重金属形态区分的测定相对较困难, 而且到目前为止, 国家土壤环境质量标准对重金属含量的规定及有关建议值等只限于重金属的全量, 因而重金属评价均以全量为依据, 很少有学者以重金属有效态含量作为评价指标^[11]。本试验选择 Cd, Cr, Pb, Hg, As, Cu, Zn 作为调查研究对象, 主要是基于灌区的污染源、作物效应及危害。

各种重金属测定所采用的方法按照相应的国家标准进行^[12]。具体测定由西北农林科技大学测试中心完成。

3 研究结果及讨论

3.1 评价方法及评价标准的选取

本文在对研究区原始测试数据分析评价的基础上, 主要采用单因子污染指数法对灌区土壤的环境质量进行现状评价。

国内外学者对土壤环境质量进行评价时, 采取的标准也不统一。一般结合区域实际情况来确定研究所采用的评价标准, 包括土壤环境质量评价标准或当地的土壤背景值。本文用单因子污染指数法进行灌区土壤环境质量评价时, 参照中国土壤环境质量标准(GB15618-1995)和无公害农产品基地土壤环境质量标准(NY5010-2001)。

3.2 评价结果及讨论

3.2.1 灌区土壤重金属含量特征及其相互关系 灌区土壤中 Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn 平均值与陕西省土壤背景值的平均值(图 1)相比, 分别超出 46.0%, 105.7%, 90.6%, 47.8%, 12.6% 和 178.6%, 只有 Cr 的平均含量与土壤背景值基本接近。因而 Cd, Hg, Zn 的风险必须引起足够的重视。

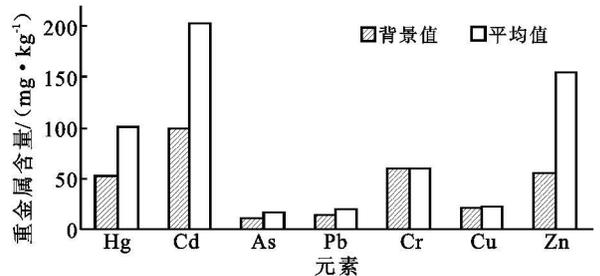


图 1 灌区土壤中重金属平均值与陕西省土壤背景值比较
注: Cd 和 Hg 的显示值为实值乘以 1000。

灌区土壤重金属含量统计分析结果表明(表 1), Cd 的变异系数最大, 为 1.547, As 的变异系数最小, 为 0.105, 除了由于土壤本底差异的原因外, 人类活动的影响也是一个重要因素。变异系数越大, 各个采样地点之间的相关性受人为作用影响也越大, 说明 Cd 在灌区受到的人为干扰和影响最强烈。由于外来重金属元素主要积累于土壤表层^[5], 不同土地利用方式或取样位置对土壤重金属的影响比较明显。在灌区菜地和果园由于受施肥等因素的影响, 其表层重金属积累较多。在泾阳樊窑村、泾阳社树林、三原腰寨村、阎良槐树林、临潼南窑村 7 种元素含量都高出土壤背景值。

在自然条件下, 由于重金属元素之间的伴生性, 有些元素之间具有一定的相关性。据报道美国佛州土壤中 Cu 与 Zn 之间的相关性达到了极显著水平。并且指出 Cu 与 Zn, Zn 与 Cd 之间具有极显著的相

关水平^[13]。Cu 与 Zn 具有相似的离子半径, 它们在形成污染物时具有相似的程序和过程, 故易于出现极显著的相关水平。Cu 与 Cd 之间具有显著的相关性也出现在香港的土壤中^[14]。陕西省土壤褐土中各元素背景值的相关性分析结果^[15]表明(表 2), Cu 和 Zn, Cu 和 Cr, Cu 和 Cd, Zn 和 Cd, Zn 和 Cr 之间达到了极显著相关, Cd 和 As 之间达到了显著相关。但泾惠渠灌区土壤各重金属之间的相关性分析表明(表 3), 所有各元素之间的相关性都不显著, 说明灌区土壤受人为耕作的影响, 如化肥、农药和家畜粪便的大量施用, 以及污水灌溉等, 使得农田中不同重金属的来源发生了变化^[16], 改变了土壤自身的一些特性, 削弱了成土母质因素的影响, 导致不同重金属在土壤中的含量增加程度不同, 变异性也增大。

表 1 灌区土壤重金属含量统计 mg/ kg

元素	平均值	最小值	最大值	标准偏差	变异系数
Pb	20.3	14.5	28.5	3.460	0.170
Cd	0.2	0.0	1.5	0.314	1.547
Hg	0.1	0.2	0.0	0.036	0.356
As	16.7	12.9	20.1	1.760	0.105
Cr	60.2	50.3	73.5	6.560	0.109
Cu	27.3	23.3	45.2	5.150	0.189
Zn	154.9	74.0	306.5	57.800	0.373

表 4 灌区土壤重金属元素与肥力指标的相关系数

肥力指标	土壤重金属元素						
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	As	Hg
pH	0.316 8	- 0.058 2	0.024 0	0.113 1	0.403 5*	- 0.251 0	- 0.020 5
有机质	- 0.023 3	0.400 5*	0.451 8*	0.039 9	- 0.048 8	0.294 4	0.361 4
全氮	0.029 0	0.247 2	0.346 8	0.178 3	- 0.042 3	0.206 7	0.274 0
全磷	0.325 9	0.185 1	0.288 2	0.106 5	0.240 0	- 0.197 2	0.438 9*
碱解氮	0.238 7	0.294 1	0.281 5	- 0.079 3	0.097 8	0.083 2	0.325 4
速效磷	0.506 6**	0.042 6	0.003 0	0.284 0	0.359 0	- 0.112 9	0.419 2*
速效钾	- 0.096 2	0.134 5	- 0.045 8	0.234 8	- 0.008 9	0.522 3**	- 0.045 7

注: * 5% 显著水平; ** 1% 极显著水平。

从表 4 可以看出, pH 与 Cr 具有显著的相关性。由于灌区为石灰性土壤, 很大一部分 Cr 以 Cr(OH)₃ 的形式沉淀于土壤中, 当 pH 越高, 土壤对其吸附量越大^[17]; 有机质仅与 Zn 和 Pb 的关系达到了显著水平。当土壤有机质含量越高时, 将明显促进土壤团粒结构的形成, 提高了有机胶体数量, 增加了土壤比表面积, 增大了吸附量, 从而使土壤中重金属含量也越高; 全磷和速效磷与 Hg 达到了显著相关性, 而速效磷与 Cu 也达到了极显著相关性, 速效钾与 As 达到了极显著相关; 全氮和碱解氮与各重金属元素无相关性。上述结果还有待于下一步研究工作继续探讨。

表 2 褐土元素背景值的相关性分析

元素	Cu	Pb	Hg	Zn	Cd	Cr	As
Cu		0	0	***	***	***	0
Pb			0	0	0	*	*
Hg				0	0	0	0
Zn					***	***	*
Cd						0	**
Cr							0

注: *** 表示极显著; ** 显著。

表 3 灌区土壤重金属元素之间的相关系数

元素	Cu	Pb	Hg	Zn	Cd	Cr
Pb	- 0.120 6					
Hg	0.010 5	0.387 4				
Zn	- 0.064 4	0.241 6	0.197 4			
Cd	0.020 7	0.084 9	0.060 4	- 0.239 9		
Cr	0.292 0	0.128 3	0.231 2	0.271 0	0.379 8	
As	0.058 4	- 0.112 6	- 0.326 2	0.106 2	- 0.188 7	- 0.253 4

3.2.2 土壤重金属和土壤肥力指标之间的相关性
将灌区土壤重金属元素与各肥力指标的实测结果进行相关性分析(表 4), 结果表明, 它们之间的相关性无论从显著性还是数值大小, 都不具有任何规律性, 这与灌区 100 a 来的耕种历史有关。由于经历了十分强烈的人为干扰作用, 各因素之间的变异性增大(表 4)。

3.2.3 用单因子污染指数法对灌区土壤重金属现状评价结果
单因子污染指数评价即对土壤中的某一污染物的污染程度进行评价。通过单因子评价, 确定单个土壤质量参数的污染情况, 它是多因子综合评价的基础。评价依据是该污染物的单项污染指数。重金属单因子指数用农业部规定的行业标准 NY5010-2001 规定的计算方法, 即:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: C_i ——土壤中污染元素 i 的实测值; S_i ——土壤中污染元素 i 的评价标准。这里, 采用 X_a, X_c, X_p

分别代表土壤污染积累起始值、中度污染起始值和重度污染起始值(表 5)。根据 X_a 、 X_c 值和 X_p 计算公式确定污染等级和污染指数范围:

- $P_i \leq 1$ 为非污染, 相应地区为非污染区;
- $1 < P_i \leq 2$ 为轻污染, 相应地区为轻度污染区;
- $2 < P_i \leq 3$ 为中度污染, 相应地区为中度污染区;
- $P_i \leq 3$ 为重污染, 相应地区为重度污染区。

表 5 土壤污染评价标准的建议范围与起始值 mg/kg

不同起始值	As	Hg	Cd	Cr	Zn	Cu	Pb
污染积累起始值 X_a	15	0.15	0.2	90	100	35	35
中度污染起始值 X_c	30	0.30	0.3	250	200	50	250
重度污染起始值 X_p	60	1.50	1.0	400	500	400	500

按照以上污染指数范围, 再求具体的污染指数, 可以消除由于各污染物的评价标准不同, 可能相差

极大的现象。具体计算公式如下:

$$C_i \leq X_a, P_i = \frac{C_i}{X_a} \quad (2)$$

$$X_a < C_i \leq X_c, P_i = 1 + \frac{C_i - X_a}{X_c - X_a} \quad (3)$$

$$X_c < C_i \leq X_p, P_i = 2 + \frac{C_i - X_c}{X_p - X_c} \quad (4)$$

$$C_i > X_p, P_i = 3 + \frac{C_i - X_p}{X_p - X_a} \quad (5)$$

将灌区土壤重金属含量与表 5 中的无公害农产品基地土壤污染评价标准的建议范围与不同起始值相比较, 灌区土壤中 Cr, Pb, Cu, Hg 含量基本未达到土壤污染积累的起始值, 但 Cd, Zn, As 有不同程度的污染。利用式(2) —(5) 计算了各单因子指数, 确定出灌区土壤的污染等级(表 6)。

表 6 泾惠渠灌区土壤单因子指数评价结果

样品编号	采样点	Zn		Cd		As	
		单因子指数 P_i	污染程度	单因子指数 P_i	污染程度	单因子指数 P_i	污染程度
S-01	泾阳杨府村	1.17	轻度污染	0.28	非污染	0.86	非污染
S-02	泾阳樊窑村	1.01	轻度污染	0.80	非污染	1.15	轻度污染
S-03	泾阳沟儿上村	1.24	轻度污染	0.65	非污染	1.17	轻度污染
S-04	泾阳社树林	1.75	轻度污染	1.10	轻度污染	1.03	轻度污染
S-05	泾阳褚牛村	1.49	轻度污染	0.31	非污染	1.28	轻度污染
S-06	泾阳中张村	1.39	轻度污染	0.70	非污染	1.11	轻度污染
S-07	泾阳封家村	1.54	轻度污染	0.50	非污染	1.23	轻度污染
S-08	泾阳白家村	1.42	轻度污染	0.12	非污染	1.15	轻度污染
S-09	泾阳西徐村	1.90	轻度污染	0.44	非污染	1.34	轻度污染
S-10	泾阳蔡豪村	1.22	轻度污染	0.55	非污染	1.19	轻度污染
S-11	三原腰寨村	1.46	轻度污染	未检出	非污染	1.23	轻度污染
S-12	三原和平村	1.74	轻度污染	未检出	非污染	1.23	轻度污染
S-13	三原城南村	1.16	轻度污染	1.60	轻度污染	1.21	轻度污染
S-14	三原屯王村	1.46	轻度污染	0.25	非污染	0.98	非污染
S-15	三原陂西村	0.74	非污染	0.70	非污染	1.17	轻度污染
S-16	阎良区木镇村	2.19	中度污染	0.85	非污染	1.09	轻度污染
S-17	阎良区箭王村	0.94	非污染	3.61	重度污染	1.03	轻度污染
S-18	阎良区槐树村	1.49	轻度污染	2.04	中度污染	0.94	非污染
S-19	临潼区胡张村	1.25	轻度污染	未检出	非污染	1.00	轻度污染
S-20	临潼区南窑村	1.27	轻度污染	2.24	中度污染	1.08	轻度污染
S-21	高陵城关北街	0.98	非污染	0.12	非污染	0.95	非污染
S-22	高陵张卜乡	2.22	中度污染	0.65	非污染	1.03	轻度污染
S-23	高陵邓家堰村	2.09	中度污染	0.14	非污染	1.09	轻度污染
S-24	三原赵家村	2.36	中度污染	0.46	非污染	1.16	轻度污染
平均		1.48	轻度污染	0.72	非污染	1.11	轻度污染

评价结果表明, 灌区土壤中 Zn 污染最严重, 71% 的采样点为轻度污染, 另有 4 个采样点为中度污染, 平均单因子污染指数 1.48, 灌区土壤平均为轻度污染; 灌区土壤中 As 83% 的采样点为轻度污染, 平均

单因子污染指数 1.11, 灌区土壤平均为轻度污染; 灌区土壤中 Cd 的平均评价结果为非污染, 但个别采样点分别达到了轻度、中度和重度污染。因此在灌区土壤资源利用中, 如果作为无公害农产品基地, 首先要

防治 Zn 和 As 的污染, 其次 Cd 的污染也应引起重视, 重点查明污染源, 有针对性地治理。

[参 考 文 献]

- [1] 易秀. 泾惠渠灌区土壤质量变化规律及评价研究[R]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [2] 时元正. 我国磷矿磷肥中 Zn, Cu, Co, Cr 的含量及其对环境的影响[J]. 磷肥与复肥, 1992, 7(3): 79-81.
- [3] 董站荣. 猪粪中的重金属对菜园土壤和蔬菜重金属积累的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [4] 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.
- [5] 贾琳, 王国平, 刘景双. 长白山锦北雨养泥炭剖面元素富集规律分析[J]. 湿地科学, 2006, 4(3): 187-192.
- [6] 郑喜坤, 鲁安怀, 高翔, 等. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 79-84.
- [7] 闰秋良, 刘福柱. 通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染[J]. 家禽生态, 2002, 23(3): 68-70.
- [8] Barker A V, Bryson G N L. Bioremediation of heavy metals and organic toxicants by composting[J]. The Scientific Word Journal, 2002, 2: 407-420.

- [9] 郭松林, 武丽群. 微量元素铬、砷在家禽生产中的应用[J]. 山东家禽, 2000, 22(1): 32-33.
- [10] 席承藩. 中国土壤分类系统[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 102-100.
- [11] 黄辉. 城市化背景下城市边缘带土壤资源数量及质量动态研究: 以南通市为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [12] 国家环境保护总局. 土壤环境监测技术规范(HJ/T 166-2004)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [13] Chen T B. Application of NaHCO₃ DTPA extractant-ICP spectrometry technique in soil test for availability of nutrients and heavy metals[J]. Pedosphere, 1993, 3(4): 377-382.
- [14] 杨军. 灌溉水中重金属对土壤和农作物的污染风险[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [15] 农业环境背景值研究编写组编著. 农业环境背景值研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 248-252.
- [16] 祖艳群, 李元, 陈海燕, 等. 昆明市蔬菜及其土壤中铅、镉、铜和锌含量水平及污染评价[J]. 云南环境科学, 2003, 22(S): 49-52.
- [17] 易秀. 黄土类土对铬砷的净化机理及其迁移转化研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2006: 46-48.

(上接第 147 页)

基于 DEA 模型分析溃坝洪水灾害系统, 本文提出了一种定量评估溃坝洪水灾害脆弱性指数的方法, 并以贵州省花溪水库的下游 4 个行政区域为例进行应用, 计算结果表明小河区和南明区属于溃坝洪水灾害的高脆弱区, 花溪区属于中脆弱区, 云岩区属于低脆弱区, 评价方法具有一定的实用价值。由于在构建 DEA 模型时, 考虑到数据的获取性, 本文仅选取区域面积、区域人口、区域经济指标、溃坝淹没面积、溃坝风险人口和溃坝经济损失 6 个指标作为模型的输入、输出数据, 这与脆弱度的复杂影响因素相比甚为片面, 所以需要将构建定量评价指标作为今后深入研究的工作重点。

[参 考 文 献]

- [1] 娇勇. 高度重视水库大坝安全管理工作[J]. 中国水利, 2008(20): 1-5.
- [2] 蔡跃波, 盛金保. 中国大坝风险管理对策思考[J]. 中国水利, 2008(20): 20-23.

- [3] 刘兰芳, 邹君, 刘湘南. 农业洪涝灾害脆弱性成因分析及评估: 以湖南省衡阳市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 291-295.
- [4] 赵庆良, 许世远, 王军, 等. 上海城市系统洪灾脆弱度评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(5): 143-147.
- [5] 帅红, 刘春平, 王慧彦. 洞庭湖区农户洪涝灾害脆弱性评价[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 37-42.
- [6] 魏权龄. 数据包络分析(DEA)[J]. 科学通报, 2000, 45(17): 1793-1808.
- [7] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-59.
- [8] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.
- [9] 贵阳市统计局. 2007年贵阳统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007: 13-26.
- [10] Wei Y M, Fan Y, Lu C, et al. The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2004, 24: 427-439.