

## 西安市不同灌溉类型农田土壤重金属污染状况研究\*

梅凡民<sup>1,2</sup>, 陈敏<sup>1</sup>, 朱海波<sup>1</sup>

(1. 西安工程大学 环化学院, 西安 710048; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所  
沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:** 以西安市不同灌溉类型的农田土壤为对象, 研究重金属污染现状及其与灌溉类型的关系。结果表明, 不同灌溉条件下的农田土壤重金属含量差异较大, 沣惠渠灌区土壤重金属 Cu, Zn, Cd, Pb 平均含量最高, 邓家村污水灌区次之, 皂河水灌区、井灌区更次之, 泾惠渠灌区土壤中的含量最低。Ni, Cr 元素含量则以邓家村污水灌区最高, 沣惠渠灌区、皂河水灌区、井灌区、泾惠渠灌区依次降低。从污染指数来看, 沣惠渠灌区 > 邓家村污水灌区 > 井灌区 > 皂河水灌区 > 泾惠渠灌区。沣惠渠、邓家村、皂河灌区重金属主要来源于污水; 井灌区重金属主要来源于霸桥热电厂和渭河电厂以及农家肥的施用等; 而泾惠渠灌区各重金属受成土母质和成土因素的影响较大。

**关键词:** 灌溉类型; 土壤; 重金属; 污染; 西安市

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)01-0223-03

## Study on Heavy Metal Pollution in Soils of Different Irrigation Types in Xi'an City

MEI Fan-min<sup>1,2</sup>, CHEN Min<sup>1</sup>, ZHU Hai-bo<sup>1</sup>

(1. Department of Environment and Chemistry, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China; 2. Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The pollution levels of heavy metals and the relations between them and irrigation types was studied in top soils of different irrigation types in Xi'an City. The results showed that the contents of heavy metals have great differences in the soils of different irrigated types. The maximum average contents of Cu, Zn, Cd, Pb were found in Fenghui Channel area, the medium ones were found in Dengjiacun area, the ones in Zaohe irrigated area and well irrigated area were lower, and the minimum ones were in Jinghui Channel area. Dengjiacun wastewater irrigated area had the highest contents of Ni and Cr. Fenghui Channel area, Zaohe irrigated area, well irrigated area and Jinghui Channel area gradually decline. The pollution indices of different irrigated areas was the order of Fenghui Channel > Dengjiacun wastewater irrigated area > well irrigated area > Zaohe irrigated area > Jinghui Channel area. The heavy metals in Fenghui Channel area, Dengjiacun wastewater irrigated area and Zaohe irrigated area root in wastewater. The soot from Baqiao Heat-electric works and Weihe electric works and the applications of farmhouse fertilizer were an important input of heavy metals in well irrigated area. The original materials in Jinghui Channel area primarily affected the contents of heavy metal.

**Key words:** irrigation types; soil; heavy metal; pollution; Xi'an City

中国是一个水资源相对缺乏的国家<sup>[1]</sup>, 农业灌溉用水占全国用水总量的 65.6% 以上<sup>[2]</sup>, 因而水资源短缺问题在农业生产中尤为突出。污水灌溉在解决农业用水不足的同时, 污水中含有大量的有毒重金属元素随之进入土壤中污染环境, 进而通过食物链危害人的生命。近年来已经有一些学者对太原<sup>[3]</sup>、北京<sup>[4]</sup>、鞍山<sup>[5]</sup>等污灌区进行过调查, 但这些研究大都集中在研究重金属含量和单个污染物污染程度方面, 一些研究也涉及到重金属的分布、重金属的影响因子分析, 而针对不同灌溉类型比较土壤重金属的积累程度, 以及重金属相互之间关系的研究报道甚少。西安是一个缺水城市, 农业灌溉水源采用就近原则, 北郊主要为沣惠渠水、皂河水以及邓家村污水处理厂出水, 高陵县主要以泾惠渠水灌溉, 东郊则以地下井水灌溉。通过对不同灌溉类型的土壤重

金属积累程度的比较, 分析土壤重金属含量与灌溉条件的关系, 从而探索污染物的来源, 为区域土壤污染治理、生态农业建设和食品安全提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区概况

西安市位于中国大陆腹地黄河流域中部的关中盆地, 东经 107°40' - 109°49' 和北纬 33°39' - 34°45'。西安市土壤分布形成南北两个差异明显的区域, 北部的渭河平原以黄褐土、褐土为代表, 南部的秦岭山地以黄棕壤、棕壤为代表。

西安地区属温暖带半湿润大陆性季风气候, 市区年平均温度 13.3℃, 最冷月 1 月平均气温 - 0.9℃, 最热月 7 月平均气温 26.4℃, 全年无霜期 232 d, 降水量偏少, 主要集中在夏

\* 收稿日期: 2006-10-27

基金项目: 国家重点基础发展规划项目 (2006CB403701)

作者简介: 梅凡民 (1968-), 男, 副教授, 博士, 主要从事土壤侵蚀方面的研究。

季。年降水量 558~ 750 mm,由北向南递增。

研究区域位于西安市北郊、东郊以及高陵县部分地区。北郊主要以接纳城市工业和生活污水的沣惠渠、邓家村污水处理厂处理后的水以及皂河水灌溉农田。皂河水已受到西郊部分印染厂、化工厂、试剂厂等污染,沣惠渠和皂河水最终进入渭河,部分采样点位于渭河滩地。东郊主要以地下井水灌溉农田。高陵县则主要以泾惠渠水灌溉。

### 1.2 采样方法

由于大部分重金属及其化合物不易聚集在土壤深层,一般以农作物根群较集中的表层土壤含量较高,故采取 0~ 20 cm 表层土壤进行分析。采用多点取样混合成一个代表样的方法,每个代表样最终取样 1 kg。每个样品在采集过程中,均采用了全球定位系统(GPS)定位,并根据预先制作的采样记录表记录了各个采样点附近的地理地质情况,耕作施肥情况及可能存在的污染源。共布设采样点 104 个。



图 1 采样点位置分布

## 2 结果与讨论

### 2.1 西安市土壤重金属元素背景值的确定

通过研究非城市土壤(如当地的农业和森林土壤)中的重金属含量,可以得到城市土壤的重金属含量背景值,并进一步为城市土壤的污染评价提供参考标准<sup>[7]</sup>。陈同斌<sup>[8]</sup>等认为对于城市及其附近的土壤,用全量分析的调查方法一般都很难以真正找出其重金属含量的背景值。因为这些地区的土壤通常都或多或少地受到人类活动的干扰,而且所选用的土壤样品受人类活动的干扰程度也很难确定。但是,如果仔细地选择污染较少的土壤进行背景值研究,则仍可提供可用的标准。选用远离西安市区的黄土残塬土壤作为西安土壤中重金属含量的背景值。黄土残塬未经耕作,受人类活动的影响相对较弱,它们的重金属含量一般相对较低,故作为背景研究有一定的参考价值。西安土壤中 Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb 含量的背景值初步定为 26, 31. 2, 64, 70. 8, 0. 286 6, 38. 8 mg/ kg。

### 2.2 不同灌溉区农田土壤重金属含量差异

不同灌溉条件下的农田土壤重金属含量分布如图 2, 可见, 5 种灌溉类型对土壤重金属含量的贡献存在显著差异。Cu, Zn, Cd, Pb 在沣惠渠水灌溉的农田中含量最高, 邓家村污水灌区次之, 皂河水灌区、井灌区更次之, 泾惠渠灌区土壤中的含量最低。Ni, Cr 元素含量则以邓家村污水灌区最高, 沣惠渠灌区、皂河水灌区、井灌区、泾惠渠灌区依次降低。在

整个研究区域 104 个样点的土壤表层样品中, 土壤铜含量有 21. 1% 的样点超过国家土壤二级标准, 属于轻污染; 13. 5% 土壤样点超过国家二级标准的 2 倍, 属于中度污染; 23. 1% 的土壤样点超过国家土壤二级标准的 3 倍, 属于重污染。86. 5% 的样品镍含量超过国家二级标准, 达到轻度污染。除 Cr 和 Ni 以外的其他 4 种重金属在研究区土壤中的含量远小于国家土壤环境标准中的二级标准, 故 Cr 应作为西安市农田土壤优先控制的重金属。

元素含量的变异系数反映了样本间的平均变异程度, 图 2 中的误差值与其对应元素的平均值之比即为变异系数。沣惠渠、邓家村污水、皂河区域各元素的变异系数较大, 其中沣惠渠 Cr 达到 70. 57%, 而井灌区以及泾惠渠灌区相对较低。这可能与灌溉的水质以及距离污水源头的远近有关, 因为对于长期耕作的农业土壤, 在没有明显外源的情况下, 其微量元素含量的小尺度分布应当是均一的, 元素含量应当有较小的变异系数, 而在污灌条件下, 由于微量元素的富集作用导致局部微量元素含量增高, 增大了含量分布的空间差异。王学军等<sup>[9]</sup>研究北京东郊污灌区土壤得出, 离污水源头较近的采样区的北部土壤重金属含量较高, 而离污水源头较远的采样区南部, 土壤重金属含量较低。

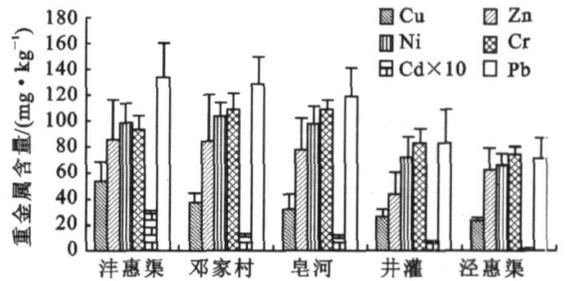


图 2 不同灌溉类型土壤重金属分布情况

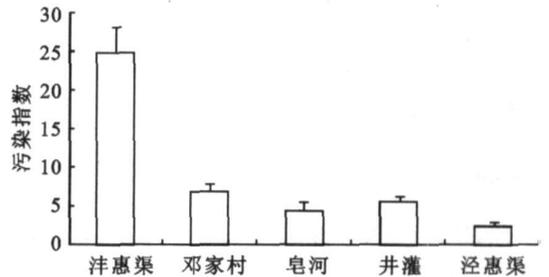


图 3 不同灌溉类型土壤重金属综合污染指数

### 2.3 不同灌溉区农田土壤重金属污染指数

以西安市土壤元素背景值为评价标准, 用内梅罗计算式评价不同灌溉区农田土壤重金属综合污染强度:  $P_{ij} = \{[(\max C_i/S_{ij})^2 + (1/n \sum C_i/S_j)^2] \times 0. 5\}^{0. 5}$ , 式中:  $i$ ——重金属种类;  $j$ ——灌溉区编号;  $C_i$ —— $i$  重金属元素的实测浓度;  $S_j$ ——西安市土壤元素背景值;  $n$ ——重金属种类总数 ( $n= 5$ )。计算得出的  $P_{ij}$  如图 3 所示, 污染指数以下列顺序递降: 沣惠渠 > 邓家村污水 > 井灌 > 皂河 > 泾惠渠。在这 5 类灌溉类型条件下, 除泾惠渠为中度污染外, 其他 4 种类型均达到严重污染, 沣惠渠灌溉区重金属积累尤为严重, 值得引起重视。

### 2.4 同一灌溉区域内土壤重金属各元素之间的相关性

在同一灌溉区内, 各元素间的分布格局不尽相同。重金属元素之间在一个灌溉区域存在依存关系, 说明它们的来源

途径是相似的,若不存在依存关系则来源途径是不同的。对同一灌溉类型区域内所测的农田土壤重金属 Cu, Zn, Ni, Cr,

Cd, Pb 含量进行相关性分析(见表 1),比较元素间是否存在依存关系,以便探索不同灌溉区域内重金属的来源途径。

表 1 各灌溉区内土壤重金属元素之间的相关性

	Cu- Zn	Cu- Ni	Cu- Cr	Cu- Cd	Cu- Pb	Zn- Ni	Zn- Cr	Zn- Cd	Zn- Pb	Ni- Cr	Ni- Cd	Ni- Pb	Cr- Cd	Cr- Pb	Cd- Pb
沔惠渠	0.339	0.436*	-0.275	0.266	0.352	0.137	0.662**	0.452*	0.336	-0.320	0.163	0.077	0.200	0.059	0.082
邓家村	0.598*	0.531*	0.865**	0.543*	0.312	0.712**	0.791**	0.773**	0.255	0.760**	0.372	0.441	0.520*	0.406	0.167
皂河	0.819**	0.928**	0.830**	0.753*	0.902**	0.828**	0.938**	0.866*	0.754*	0.920**	0.754*	0.733*	0.862**	0.661	0.743*
井灌	0.432**	0.359*	0.059	0.604**	0.291	0.221	0.166	0.421**	0.301*	0.619**	0.029	0.749**	0.070	0.637**	0.164
泾惠渠	0.512	0.782*	0.684	0.405	0.647	0.522	0.213	0.709	0.434	0.579	0.075	0.885**	0.190	0.488	0.219

\* 表示  $P < 0.05$ ; \*\* 表示  $P < 0.01$ ; 未作星号的表示两元素间相关性不显著。

由表 1 可见,沔惠渠灌区除 Zn- Cr 相关性较显著以及 Cu- Ni, Zn- Cd 相关性显著外,其他几种元素之间的相关性不明显,说明沔惠渠灌区土壤重金属的来源有多种。一方面是由于沔惠渠主要接纳部分城市生活污水及沿渠企业废水,这些废水中含有大量的重金属元素,通过灌溉带入农田。另一方面,沔惠渠灌区距离城市较近,汽车尾气、城市建设工程、工业废气排放的重金属进入大气,再经大气沉降富集到土壤。

邓家村污水灌区主要是用邓家村城市污水厂处理后的水灌溉农田,城市污水水质较复杂,建筑材料、油漆、塑料、涂料中均含有较高浓度的重金属,加之城市污水管道的腐蚀等,给此类废水带来了大量的重金属。而城市污水厂在处理时,重金属的去除率却往往不被重视,所以利用该类废水灌溉的农田重金属含量仍较高。表 1 中除 Pb 外,其他各元素之间有一定的相关性,说明 Cu, Zn, Ni, Cr, Cd 5 种元素的来源相同,同来自城市污水。该区 Pb 含量仅次于沔惠渠灌区,主要是由汽车尾气排放引起。

皂河灌区各重金属元素之间的相关性均较为显著。其来源主要为皂河水,皂河水受河道附近造纸厂、印染厂以及化学试剂厂排出的污水的影响,含有大量的 Cu, Zn, Ni, Cr, Pb 等元素,利用该污水灌溉的农田重金属不断累积。

井灌区 Ni- Pb 的相关性较显著, Cu- Ni 的相关性显著,该区采样点霸桥区 and 草滩附近,主要污染源是霸桥热电厂和渭河电厂燃煤引起。研究表明<sup>[10]</sup>,粒径为 0.8  $\mu\text{m}$  的燃煤烟尘中 Pb, Cu 和 Ni 平均含量分别可达 74.2, 82.1, 98.8。Cu, Zn, Cd 之间的相关性也较好,这可能与当地的施肥方式有关,当地农田主要施用农家肥和化肥,农家肥中 Cu, Zn 含量较高,另外经过对上海地区菜园土地、粮棉地的研究,施肥后, Cd 的含量从 0.134 mg/kg 升到 0.316 mg/kg, Cu, Zn 增长 2/3<sup>[11]</sup>。另外该区地膜的使用也是 Cd 含量超过标准值的原因之一。

泾惠渠灌区土壤各元素之间的相关性以 Pb- Ni 最明显,其他元素间不显著。除 Pb 外, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd 元素的平均值均与背景值相差不大且变异系数较小,所以人类活动对该区的影响不大,受成土母质和成土因素的影响较大。Pb 含量稍高主要来源于汽车尾气的排放。

### 3 结 论

(1) 不同灌溉条件下土壤重金属含量差异较大,以沔惠渠灌区污染最为严重,泾惠渠相对较弱。污染指数大小为:

沔惠渠灌区 > 邓家村污水灌区 > 井灌区 > 皂河水灌区 > 泾惠渠灌区,污染最小的泾惠渠灌区也达到中度污染,值得引起重视。研究区内重金属镉的超标比较普遍,且超标程度比较严重,应将镉列为西安市农田土壤优先控制的重金属。

(2) 不同灌区土壤重金属间的相关性各不相同,反映其重金属来源的途径存在差异。在沔惠渠灌区各元素相关性不显著,说明其来源途径有多种,灌溉水质及城市人类活动对其影响较大。邓家村污水灌区除 Pb 外,各元素相关性较显著,其来源主要为城市污水中的重金属, Pb 主要来源于汽车尾气。皂河水灌区各元素间相关性较显著,其来源为皂河水的重金属。井灌区重金属主要来源于霸桥热电厂和渭河电厂及农家肥的施用等。泾惠渠灌区各重金属之间的相关性不太显著,重金属受成土母质和成土因素的影响较大。

### 参考文献:

- [1] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987: 14-54.
- [2] 中国科学院自然资源综合考察委员会. 中国自然资源手册[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 483-494.
- [3] 张乃明, 李保国, 胡克林. 污水灌区耕层土壤中铅、镉的空间变异特征[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 151-154.
- [4] 杨军, 郑袁明, 陈同斌, 等. 北京市凉风灌区土壤重金属的积累及其变化趋势[J]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1175-1181.
- [5] 段飞舟, 高吉喜, 何江, 等. 灌溉水质对污灌区土壤重金属含量的影响分析[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 450-455.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [7] Tiller K G. Urban soil contamination in Australia. Aust. J. Soil Res., 1992, 30: 937-957.
- [8] 陈同斌, 等. 香港土壤中的重金属含量及其污染现状[J]. 地理学报, 1997, 52(3): 228-235.
- [9] 王学军, 席爽. 北京东郊污灌土壤重金属含量的克立格插值及重金属污染评价[J]. 中国环境科学, 1997, 17(3): 225-228.
- [10] 晏容, 欧阳中华, 曾汉才. 电厂燃煤飞灰中重金属富集规律的实验研究[J]. 环境科学, 1995, 16(6): 29-32.
- [11] 马耀华, 刘树应. 环境土壤学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998: 198-201.