

# 焦作市中马村矿土壤重金属污染调查评价

王娟, 胡斌, 李东艳, 王长征

(河南理工大学资源与环境工程系, 河南 焦作 454003)

**摘要:** 对焦作市中马村矿矸石山周围土壤中 5 种重金属 (Cu、Cr、Pb、Zn、Mn) 的含量、分布特征及其污染状况进行了调查与评价。结果表明, 矿区土壤不同程度地受到 5 种重金属的污染, 依次为 Zn> Pb> Cu> Cr> Mn 土壤综合污染指数为 1.74, 属轻污染; 5 种重金属元素中 Zn、Pb 相关性显著, 其余均为低度相关。

**关键词:** 矿区土壤; 重金属; 污染指数; 评价; 中马村矿

中图分类号: X825 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2005)02-0024-04

## Heavy Metal in Soil Investigation And valuation of Zhongmachun in Jiaozhuo

WANG Juan, HU Bin, LI Dong-yan, WANG Chang-zheng

(Resources and Environmental Engineering Department, Henan Institute University, Jiaozhuo, Henan 454003 China)

**Abstract** Five heavy metal (Cu, Cr, Pb, Zn, Mn) in soil of Zhongmachun in Jiaozhuo were studied. Result indicated that the heavy metal pollution was heavy as Zn> Pb> Cu> Cr> Mn. The comprehensive pollution index was 1.74.

**Key words** Soil in mineral area; Heavy metal; Pollution index; Evaluation; Zhongmachun

根据有关资料分析, 不同的土壤环境存在着不同程度的重金属污染<sup>[1]</sup>, 尤其是在煤矿区, 采矿与冶炼是向环境中释放重金属的最重要污染源。重金属在土壤中难降解、毒性强、具有积累效应, 其污染可能影响到土壤的正常功能, 导致食物链污染, 从而威胁到人类的健康和环境质量。因此, 调查矿区土壤中重金属污染状况, 对保护矿区周围农业土壤资源, 生产无公害粮食、蔬菜, 保护人体健康, 具有重要意义。

现选择焦作市规模较大的中马村矿作为研究对象。中马村矿位于焦作市东郊, 于 1955 年建成投产, 有 49 年的开采历史, 年产量约 15 万 t。煤矸石直接堆放于地表, 矸石山体积约  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 占地面积约  $64480 \text{ m}^2$ 。土壤类型以潮土为主。

### 1 调查方法

#### 1.1 采样点位

土样取自矸石山周围的农业耕层土壤, 深度为 0 cm ~ 15 cm。根据当地主导风向、矸石山坡向和地形特点, 采用扇形布点法。共布设 3 条采样线,

分别为 L1、L2、L3, 其中 L3 为对照采样线, 采集样品 47 个。采样点位见图 1。

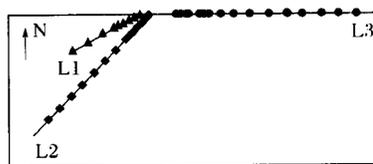


图 1 中马村矿采样点位

#### 1.2 土样采集与预处理

土样采集方法为: 20 m 范围内, 每 5 m 设一个采样点; 50 m 范围内, 每 10 m 设一个采样点; 100 m 范围内, 每 20 m 设一个采样点; 500 m 范围内, 每 50 m 设一个采样点。每个采样点采用多点取样混合成一个代表样的方法, 每个混合样采集

收稿日期: 2004-12-06 修订日期: 2005-02-02

基金项目: 河南省自然科学基金项目 (编号 0411054100, 0411050700), 河南省国际科技合作项目 (编号 0446620008)

作者简介: 王娟 (1981-), 女, 河南焦作人, 硕士研究生。

1 kg ~ 2 kg, 所有采集的样品在室温条件下自然风干、研磨、过筛, 最后分装入保鲜袋备用。

1.3 测定项目与方法

选择毒性较强的重金属元素 Cu, Cr, Pb, Zn, Mn<sup>[2]</sup> 进行分析评价。由于该调查为中法合作项目“中法工矿城市周围土壤环境对比研究”的一部分, 因此, 结合中法两国实验标准, 对土样采取三步消解法: HCl+HNO<sub>3</sub>-HF+HClO<sub>4</sub>-王水, 后以火

焰原子吸收光谱法, 用日立 Z-5000 型原子吸收分光光度计测定 5 种重金属元素含量。

2 结果与评价

2.1 矿区土壤的重金属含量

表 1 列出了中马村矿区矸石山周围耕层土壤中 5 种重金属的含量范围、平均值以及诸元素的超标率及检出率等。

表 1 焦作市中马村矿土壤重金属含量<sup>①</sup>

项 目	Cu	Cr	Pb	Zn	Mn
背景值 <sup>②</sup> w/(mg·kg <sup>-1</sup> )	19.7	63.8	19.6	74.2	579
样品数 /n	47	47	47	47	47
含量范围 w/(mg·kg <sup>-1</sup> )	21.42~64.57	25.94~99.44	5.60~100.10	32.36~687.50	326.70~602.07
平均值 w/(mg·kg <sup>-1</sup> )	31.74	53.89	37.27	242.78	496.48
标准差	7.96	18.31	19.09	169.64	62.93
检出率 /%	100	100	100	100	100
超标率 /%	100	17	85	85	6
超标倍数 倍	1.6	—	1.9	3.3	—

① 表中数据来源于任玉芬硕士学位论文“矿区土壤重金属污染及迁移转化规律研究”, 方元元硕士学位论文“焦作矿区土壤重金属污染分析研究”; ② 河南省土壤元素背景值。

由表 1 可见, 中马村矿区矸石山周围土壤中, 5 种重金属元素的平均含量由高到低分别为 Mn > Zn > Cr > Pb > Cu, 其平均值为 496.48 mg/kg, 242.78 mg/kg, 53.89 mg/kg, 37.27 mg/kg, 31.74 mg/kg。所有土样都受到 Zn, Pb 和 Cu 的污染, 其平均值分别超过河南省土壤元素背景值的 3.319 和 1.6 倍, 个别点监测值超标更多; Cu, Cr, Pb, Zn, Mn 平均值均未超过《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995) 二级标准。

2.2 矿区土壤污染评价

土壤是一个复杂的体系, 其污染通常也是多项污染物的复合污染所致。为全面反映重金属元素对土壤的不同作用, 突出高浓度元素对环境质量的影响, 现选用内梅罗 (Nemerow) 污染指数法来计算重金属元素的综合污染指数, 计算公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{\text{ave}(P_i)^2 + \max(P_i)^2}{2}}$$

式中: P——土壤综合污染指数;

P<sub>i</sub>——i 污染物的污染指数, 且 P<sub>i</sub> = C<sub>i</sub>/S<sub>i</sub>;

C<sub>i</sub>——i 污染物实测值;

S<sub>i</sub>——i 污染物评价标准。

根据河南省土壤元素背景值和《土壤环境质

量标准》(GB 15618-1995) 进行评价。综合污染指数分级见表 2。

表 2 综合污染指数分级

等级划分	P <sub>综</sub>	污染等级	污染水平
1	P <sub>综</sub> ≤ 0.7	安全	清洁
2	0.7 < P <sub>综</sub> ≤ 1	警戒级	尚清洁
3	1 < P <sub>综</sub> ≤ 2	轻污染	轻污染
4	2 < P <sub>综</sub> ≤ 3	中污染	中度污染
5	P <sub>综</sub> > 3	重污染	严重污染

2.2.1 单项污染特征值

用内梅罗污染指数法, 对 47 个土壤样品中的 Cu, Cr, Pb, Zn, Mn 5 种重金属元素的平均值计算, 并参照了表 2 的综合污染指数分级标准, 评价结果见表 3。

表 3 重金属单项污染特征值

元 素	污染指数	污染等级	污染水平
Cu	2.58	中污染	中度污染
Cr	1.25	轻污染	轻污染
Pb	3.86	重污染	严重污染
Zn	6.95	重污染	严重污染
Mn	0.96	警戒级	尚清洁

由表 3 可见, 土壤对调查区重金属元素的累积程度依次为:  $Zn > Pb > Cu > Cr > Mn$ , 单项污染指数统计结果显示  $Zn$ 、 $Pb$  污染等级已达重污染;  $Cu$  和  $Cr$  分别属中污染、轻污染; 调查区土壤基本未受  $Mn$  元素的污染。

### 2.2.2 综合污染指数评价结果

通过对 47 个土壤样品中各元素含量的分析, 根据文献 [3]、[4]、[5] 统计调查区土壤对比因子综合权系数, 结果见表 4。

表 4 矿区土壤对比因子序列综合权系数

元素	有效态相对含量 (II)		属潜在 毒性顺序 (I)	序列综合 (I + II)	权系数 ( $W_i$ )
	统计值 <sup>①</sup>	序列			
Cu	0	1	1	2	0.07
Cr	0	1	4	5	0.17
Pb	2.7	4	5	9	0.31
Zn	1.1	3	3	6	0.21
Mn	12	5	2	7	0.24

① (萃取量 / 总量 × 100%)

表 4 中有效态含量指的是水溶态、酸溶态、整合态和吸附态, 利用萃取剂提取出来的有效态可以评估土壤中重金属的有效性<sup>[6]</sup>。

5 种重金属元素的权系数采用序列综合法求得, 即以重金属的有效态含量和潜在毒性两个因子, 作为判别污染物对土壤环境质量影响的对比因子, 按照对比因子的程度与序列值成正比的原则排序, 再计算序列综合值, 以总的序列综合值除各元素的单个序列综合值, 得出各元素的权系数<sup>[7,8]</sup>。

对 47 个采样点各元素单项污染指数进行统计, 得出矿区土壤综合污染指数:

$$P_{\text{综}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i W_i = \frac{1}{47} (5.30 + 6.75 + 27.11 + 32.30 + 9.67) = 1.74$$

评价结果表明, 矿区土壤综合污染指数为 1.74 介于 1~2 之间, 达到三级, 属轻污染水平, 表明土壤已受到污染。

采用综合指数法进行土壤重金属评价。在选择权重因子时, 考虑到重金属在环境中的行为和作用 (如活动性、生物可利用性等) 主要取决于其赋存状态和本身的毒性, 因此选用了能被生物利用的有效态含量作为评价的影响因子。

指数法的最大特点是具有等价性, 便于对比, 计算简单<sup>[9]</sup>, 但在对各分指数进行综合时, 评价结果往往只是一个均值或简单的累加。因此, 在进行土壤重金属综合评价时, 考虑了两个重要的影响因子, 体现了某些污染因子 (如重金属元素  $Zn$ ) 的飞跃特征, 从而使评价结果更符合生态学原理。重金属元素对土壤环境的污染程度从根本上取决于其

活动能力的大小, 在用总量对 5 种重金属元素进行单因子评价时, 虽然  $Zn$ 、 $Pb$ 、 $Cu$  污染程度较高, 但 3 种重金属的有效态含量很低, 甚至为零, 可被植物吸收的量很少, 对于土壤污染的贡献很小; 而  $Mn$  则恰恰相反。因此, 在计算了 5 种重金属单项污染指数和确定了各元素的权系数的基础上, 进行土壤重金属综合评价, 结论为轻污染。

### 2.3 重金属元素之间的相关关系

土壤环境中出现重金属污染时, 实际上是多种重金属的复合污染。研究表明, 理化性质相近的元素容易伴生, 而且重金属在复合污染条件下对植物的毒害及其在土壤中的迁移动态要比单一元素的污染复杂和严重得多<sup>[10,11]</sup>。现对  $Cu$ 、 $Cr$ 、 $Pb$ 、 $Zn$ 、 $Mn$  5 种重金属元素间的相关关系进行矩阵分析, 结果见表 5。

表 5 重金属元素的相关矩阵分析<sup>①</sup>

元素	Cu	Cr	Pb	Zn	Mn
Cu	1.000				
Cr	0.277	1.000			
Pb	0.394	-0.84	1.000		
Zn	0.320	0.17	0.74	1.000	
Mn	0.076	0.393	-0.145	0.94	1.000

①  $P < 0.05$  时, 突出显示。

由表 5 可见,  $Pb-Cu$ 、 $Zn-Cu$ 、 $Mn-Cr$  与  $Pb-Zn$  的相关系数在  $\sigma = 0.05$  水平上有显著性意义。根据文献 [11], 相关系数在 0 时为无相关,  $< 0.3$  为微弱相关,  $0.3 \sim 0.5$  为低度相关,  $0.5 \sim 0.8$  为显著相关,  $0.8 \sim 1.0$  为高度相关。因此,  $Pb-$

Cu Zn- Cu Mn- Cr 为低度相关; Pb- Zn 为显著相关。

### 3 结论

(1) 以监测的重金属总量为基础, 采用内梅罗污染指数综合评价法, 中马村矿土壤中重金属污染程度达到重污染的元素为 Zn 和 Pb 达到中污染的元素为 Cu 达到轻污染的元素为 Cr, 考虑土壤环境质量影响因子——重金属有效态含量和潜在毒性, 用综合指数法评价, 土壤污染程度属轻污染。

(2) 土壤中 Zn 与 Pb 相关性显著, 相关系数达 0.74 其余元素间相关程度较低。土壤中 Zn 主要来源于煤矿的开采和燃烧; 公路旁的监测点 Pb 值偏高, 可能与汽车尾气排放有关。另外, 农田土壤中农药化肥的施用也是重金属的一个来源。

#### [参考文献]

- [ 1 ] 周泽义. 中国蔬菜重金属污染及控制 [ J ]. 资源生态环境网络研究动态, 1999, 10(3): 21-27
- [ 2 ] 丛艳国, 魏立华. 土壤环境重金属污染物来源的现状分析

- [ J ]. 现代化农业, 2002, 1: 18-20
- [ 3 ] 余剑东, 倪吾钟, 杨肖娥. 土壤重金属污染评价指标的研究进展 [ J ]. 广东微量元素科学, 2002, 9(5): 11-17
- [ 4 ] 党志, 刘丛强, 尚爱安. 矿区土壤中重金属活动性评估方法的研究进展 [ J ]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 86-92
- [ 5 ] 王焕校. 污染生态学 [ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [ 6 ] 刘玉荣, 党志, 尚爱安, 等. 几种萃取剂对土壤中重金属生物有效部分的萃取效果 [ J ]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 245-247
- [ 7 ] 牟树森, 青长乐. 环境土壤学 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1993
- [ 8 ] 林健, 邱卿如, 陈建安, 等. 公路旁土壤中重金属和类金属污染评价 [ J ]. 环境与健康杂志, 2000, 17(5): 284-286
- [ 9 ] 刘崇洪. 几种土壤质量评价方法的比较 [ J ]. 干旱环境监测, 1996, 10(1): 26-29
- [ 13 ] 吴燕玉, 王新, 梁仁禄. Cd, Pb, Cu, Zn, As 复合污染在农田生态系统的迁移动态研究 [ J ]. 环境科学学报, 1998, 18(4): 407-414
- [ 10 ] 吴燕玉, 余国营, 王新, 等. Cd, Pb, Cu, Zn, As 复合污染对水稻的影响 [ J ]. 农业环境保护, 1998, 17(2): 49-54
- [ 11 ] 王志电. 统计学原理 [ M ]. 北京: 中国统计出版社, 2002

本栏目责任编辑 李文峻

(上接第 23 页)

拟内河的实际状况, 优化引水冲污的水量和水量分配<sup>[1]</sup>。利用河网水动力及动态水质数学模型的模拟计算分析, 解决 3 方面问题: ①提出合理分配河网各河道水量、解决河网水流不畅和提高水环境容量等工程治理措施; ②探讨沿江水闸运行调度的优化方案, 提高内河纳潮能力, 以纳潮排污方式, 提高引水冲污效率, 降低其运行费用; ③研究城区排污管网建设方案对内河水质改善的影响, 并对有关方案进行优化<sup>[2]</sup>。

#### 4.2 明确河段的使用功能, 发挥其潜能

要针对不同河段的水文水质特点确定其环境功能。对于水质和两岸景观较好的河段, 可主要考虑其景观功能, 丰富城市的自然景观, 甚至可开展水上旅游活动; 对于尚有一定环境容量的河段, 可以作为接受城市生活污水的混合纳污河段, 有限制地向这些河段排放废水。

#### 4.3 开展生物防治, 建立良性循环的水生生态系统

根据国内外成功经验和教训, 探索运用生态学原理对福州内河进行综合整治。适当投加优势微

生物菌种, 结合内河纳污现状确定内河的生态流量, 调节内河水动力条件(引水水量、流速、水位、潮汐顶托等), 再造优势生物群落最佳水体环境, 促进优势生物群落发挥最佳的净化作用。探索适合于福州内河净化的水生植物, 制定引种和推广工程方案, 有效促进内河水体自净化能力的提高<sup>[3]</sup>。

#### 4.4 对内河实施综合管理

福州市的内河管理按部门的职能分属市容、水利和环保等部门, 各部门根据其工作范围对内河进行管理。但作为一个完整的环境系统, 根据可持续发展的基本原理, 从保护其环境质量、满足人们对环境需求出发, 对内河应进行统一的监督管理。

#### [参考文献]

- [ 1 ] 洪理建. 福州内河引水冲污技术研究 [ J ]. 人民珠江, 2000, (1): 38-42
- [ 2 ] 陈兴伟. 开展闽江下游河道水质模型研究的几个问题 [ J ]. 水利科技, 1992, (3): 14-17
- [ 3 ] 刘小涛. 关于城市河流治理若干问题的探讨 [ J ]. 上海水务, 2000, (3): 1-5