

蒲河重金属污染现状及模糊综合评价

李延吉, 宋政刚, 李润东, 冯 磊, 杨天华, 魏砾宏, 韩 贺

(沈阳航空航天大学 清洁能源辽宁省重点实验室, 沈阳 110136)

摘 要:通过监测蒲河水质的部分指标,包括底泥的 pH、有机质含量、重金属(主要铜、锌、铅、铬、镉)等,使用 OPT-MA3000 全谱等离子体直读光谱仪对重金属含量进行测定,并运用模糊综合评价方法对蒲河水体底泥进行了综合评价。结果发现:底泥中有机质含量比较低;蒲河水体底泥状况属于污染严重级别;Cr 的污染明显超标;蒲河水体底泥受到了 Cr、Pb、Zn、Cu 这 4 种重金属的复合污染。

关键词:底泥; 重金属污染; 模糊综合评价

中图分类号:X522 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2011)02-0121-04

Investigation and Fuzzy Comprehensive Evaluation on
Pollution Status of Heavy Metal of Pu River

LI Yan-ji, SONG Zheng-gang, LI Run-dong, FENG Lei, YANG Tian-hua, WEI Li-hong, HAN He
(Liaoning Key Laboratory of Clean Energy, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: This paper mainly monitors and evaluates the sediment quality of Pu River which flows through Shenbei new district in Shenyang city, in terms of indicators of the water quality of Pu River, including pH, organic matter content, heavy metals(Cu, Zn, Pb, Cr, Cd), etc. in sediment. Contents of heavy metals were measured by OPTMA 3000. The sediment quality of Pu river was evaluated by using fuzzy comprehensive evaluation. It was found that the organic matter content in sediment is relatively low, sediment in Pu River was seriously polluted, especially Cr pollution is significant, and sediment of Pu River is polluted by the combined pollution of Cr, Pb, Zn and Cu.

Key words: sediment; pollution of heavy metal; fuzzy comprehensive evaluation

蒲河发源于铁岭市横道河子想儿山,河流全长 205 km,流域面积 191 km²,沈阳境内长 157.5 km。是浑河最大支流,接纳虎石台镇工业和生活污水以及沿途道义等乡镇的污水 1.9 万 t/d,河水中主要污染物是化学耗氧量和氨氮。近几年蒲河的水体污染严重,特别是道义区段的污水随产生随排放,直接汇入区内河流,造成地表水污染,水质异常,颜色发暗,气味恶臭,且伴有油污,鱼类和其他水生物几乎绝迹,沿河水生态环境遭到严重破坏。本文监测蒲河水体的系列指标,重点监测底泥的 pH 值、有机质、重金属等一系列指标,重金属主要测量 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd 元素含量。蒲河重金属污染现状采用模糊综合方法进行评价,对蒲河水体有了实质性认识,可以为蒲河水体净化工程提供参考。

1 蒲河水体监测情况简介

1.1 监测简介

2007 年 5 月沈阳航空航天大学清洁能源与环境工程研究所对蒲河水体进行监测,共布设两个采样断面,位置设在沈阳市沈北新区,采取平行样品测定,监测内容主要是对蒲河水质以及底泥中部分重金属进行监测。

1.2 水质监测结果

根据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)中,为满足地表水各类使用功能和生态环境质量要求,本文根据实际情况选择的水质监测项目以及监测结果见表 1 和表 2。

表 1 水质物理指标监测数据结果

采样位置	温度	pH 值	臭和味	色度	浊度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	总残渣/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	可滤残渣/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
断面 1	23℃	7.52	13.8	12.8	21.03	0.37	10	4
断面 2	23℃	7.63	17.6	7	38	0.38	9	3

表 2 水质化学指标数据监测结果

采样位置	酸度/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	碱度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总碱度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	溶解氧/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	化学需氧量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	六价铬/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	总铬/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	磷/ ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-2}$)
断面 1	6.65	1172.27	2092.44	0.83	56.4	0.01545	0.03232	0.000086	0.00144
断面 2	6.96	1244.78	2221.87	0.58	150.4	0.01389	0.03788	0.000112	0.00129

1.3 水体底泥中有机质测定

有机质监测结果断面 1 为 1.47%，断面 2 为 1.43%，可以看出有机质含量较少，不适合作为肥料应用。

1.4 水体底泥中部分重金属测定

采用硝酸—高氯酸消解的方法，用电热板对其进行加热，使用 OPTMA3000 全谱等离子体直读光谱仪测定，蒲河水体底泥中部分重金属监测结果见表 3。

表 3 蒲河水体底泥重金属					mg/kg
采样位置	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd
断面 1	180	169	142	635	—
断面 2	217	135	165	737	—

2 蒲河水体底泥重金属污染现状以及模糊综合评价

2.1 评价标准

对于河流沉积物的评价标准，目前国家颁布的环境质量标准中尚无底泥类标准，通常情况下大部分监测部门以及科研院所都借用邻近区域的数值，或与评价区的环境条件相近似区域的数值^[1-3]，本文采用《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)中相应的数值作为评价标准。但对于底泥中重金属来说，其含量的高低不仅受所处水体污染状况的影响，而且也与该地区原有的本地背景值有很大关系。在正常情况下，底泥是其元素本底值与水系区域的沉积母质和土壤组成密切相关^[4-5]。

2.2 蒲河水体底泥重金属污染现状

通过现场调查以及监测结果来看，蒲河水质质量较差，污染情况严重，重金属含量比较高，尤其是 Cr 含量严重超标，样品中 Cd 含量低于仪器的检测限，说明 Cd 含量较低。

2.3 蒲河水体底泥重金属污染模糊综合评价

环境系统是一个广泛的信息系统，它既含有已知信息也含有未知或未确知的信息，即为灰色系统，各

种监测手段获得的环境信息只是全部信息中的一部分；环境质量关系复杂，具有明显的随机性和模糊性，运用精确数学方法研究难以达到目的。对蒲河水体中重金属污染使用模糊综合评价，能够客观地反映水质的实际状况，充分体现模糊模式识别评价的科学性、客观性^[6-7]。具体计算如下^[8]。

(1) 建立因子集。根据国家土壤质量中重金属的三级标准确定土壤影响因素共 5 项，即 Cd,Cu,Pb,Cr,Zn，而 Cd 不能测出，所以因子集为 $u=\{\text{Cu,Pb,Cr,Zn}\}$ 。

(2) 建立评价集。国家土壤质量中重金属的三级标准，其中Ⅱ级又分 3 个小子级

即评价集 $V=\{\text{I,Ⅱ}_1,\text{Ⅱ}_2,\text{Ⅱ}_3,\text{Ⅲ}\}$

(3) 建立隶属函数：

Cu—Ⅰ级：

$$U_I(x)=\begin{cases} 0 & x\geqslant 50 \\ -\frac{1}{15}(x-35) & 35< x < 50 \\ 1 & x\leqslant 35 \end{cases}$$

Cu—Ⅱ₁级：

$$U_{II_1}(x)=\begin{cases} 0 & x\leqslant 35,x\geqslant 100 \\ \frac{1}{15}(x-35) & 35< x \leqslant 50 \\ -\frac{1}{50}(x-100) & 50< x < 100 \end{cases}$$

Cu—Ⅱ_{2,3}级：

$$U_{II_{2,3}}(x)=\begin{cases} 0 & x\leqslant 50,x\geqslant 400 \\ \frac{1}{50}(x-50) & 50< x \leqslant 100 \\ -\frac{1}{300}(x-400) & 100< x < 400 \end{cases}$$

Cu—Ⅲ级：

$$U_{III}(x)=\begin{cases} 0 & x\leqslant 100 \\ \frac{1}{300}(x-100) & 100< x < 400 \\ 1 & x\geqslant 400 \end{cases}$$

Pb—Ⅰ级:

$$U_I(x)=\begin{cases}1 & x\leqslant 35 \\ -\frac{1}{215}(x-250) & 35<x<250 \\ 0 & 250\leqslant x\end{cases}$$

Pb—Ⅱ₁级:

$$U_{II_1}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 35,x\geqslant 300 \\ \frac{1}{215}(x-35) & 35<x\leqslant 250 \\ -\frac{1}{50}(x-300) & 250<x<300\end{cases}$$

Pb—Ⅱ₂级:

$$U_{II_2}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 250,x\geqslant 350 \\ \frac{1}{50}(x-250) & 250<x\leqslant 300 \\ -\frac{1}{50}(x-350) & 300<x<350\end{cases}$$

Pb—Ⅱ₃级:

$$U_{II_3}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 300,x\geqslant 500 \\ \frac{1}{50}(x-300) & 300<x\leqslant 350 \\ -\frac{1}{150}(x-500) & 350<x<500\end{cases}$$

Pb—Ⅲ级:

$$U_{III}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 350 \\ \frac{1}{150}(x-350) & 350<x<500 \\ 1 & x\geqslant 500\end{cases}$$

Cr—Ⅰ级:

$$U_I(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 90 \\ -\frac{1}{160}(x-250) & 90<x<250 \\ 0 & x\geqslant 250\end{cases}$$

Cr—Ⅱ₁级:

$$U_{II_1}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 90,x\geqslant 300 \\ \frac{1}{160}(x-90) & 90<x\leqslant 250 \\ \frac{1}{50}(x-300) & 250<x<300\end{cases}$$

Cr—Ⅱ₂级:

$$U_{II_2}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 250,x\geqslant 350 \\ \frac{1}{50}(x-250) & 250<x\leqslant 300 \\ -\frac{1}{50}(x-350) & 300<x<350\end{cases}$$

Cr—Ⅱ₃级:

$$U_{II_3}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 300,x\geqslant 400 \\ \frac{1}{50}(x-300) & 300<x\leqslant 350 \\ -\frac{1}{50}(x-400) & 350<x<400\end{cases}$$

Cr—Ⅲ级:

$$U_{III}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 350 \\ \frac{1}{50}(x-350) & 350<x\leqslant 400 \\ 1 & x\geqslant 400\end{cases}$$

Zn—Ⅰ级:

$$U_I(x)=\begin{cases}1 & x\leqslant 100 \\ -\frac{1}{100}(x-200) & 100<x<200 \\ 0 & x\geqslant 200\end{cases}$$

Zn—Ⅱ₁级:

$$U_{II_1}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 100,x\geqslant 250 \\ \frac{1}{100}(x-100) & 100<x\leqslant 200 \\ -\frac{1}{50}(x-250) & 200<x<250\end{cases}$$

Zn—Ⅱ₂级:

$$U_{II_2}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 200,x\geqslant 300 \\ \frac{1}{50}(x-200) & 200<x\leqslant 250 \\ -\frac{1}{50}(x-300) & 250<x<300\end{cases}$$

Zn—Ⅱ₃级:

$$U_{II_3}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 250,x\geqslant 500 \\ \frac{1}{50}(x-250) & 250<x\leqslant 300 \\ -\frac{1}{200}(x-500) & 300<x<500\end{cases}$$

Zn—Ⅲ级:

$$U_{III}(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 300 \\ \frac{1}{200}(x-300) & 300<x<500 \\ 1 & x\geqslant 500\end{cases}$$

(4)单因子模糊评价。将实测值代入相应的隶属函数,计算其隶属函数为:

断面 1(以下用角标 in 表示):

Cu:	$U_I(180)=0$	$U_{II_1}(180)=0$
	$U_{II_{2,3}}(180)=0.733$	$U_{III}(180)=0.267$
Pb:	$U_I(169)=0.377$	$U_{II_1}(169)=0.263$
	$U_{II_2}(169)=0$	$U_{II_3}(169)=0$
	$U_{III}(169)=0$	
Cr:	$U_I(635)=0$	$U_{II_1}(635)=0$
	$U_{II_2}(635)=0$	$U_{II_3}(635)=0$
	$U_{III}(635)=1$	
Zn:	$U_I(142)=0.580$	$U_{II_1}(142)=0.420$
	$U_{II_2}(142)=0$	$U_{II_3}(142)=0$
	$U_{III}(142)=0$	

断面 2(以下用角标 out 表示):

Cu: $U_I(217)=0$
 $U_{II_{2,3}}(217)=0.61$
Pb: $U_I(135)=0.535$
 $U_{II_2}(135)=0$
 $U_{III}(135)=0$
Cr: $U_I(737)=0$
 $U_{II_2}(737)=0$
 $U_{III}(635)=1$
Zn: $U_I(165)=0.35$
 $U_{II_2}(165)=0$
 $U_{III}(165)=0$

$U_{II_1}(217)=0$
 $U_{III}(217)=0.39$
 $U_{II_1}(135)=0.465$
 $U_{II_3}(135)=0$
 $U_{II_1}(737)=0$
 $U_{II_3}(737)=0$
 $U_{II_1}(165)=0.650$
 $U_{II_3}(165)=0$

单因子评价矩阵为:(因为 Cu 的 II_2, II_3 标准等同,所以把隶属情况都归 II_2 里)

$$R(1)=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0.733 & 0 & 0.267 \\ 0.377 & 0.623 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.580 & 0.420 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0.733 & 0.267 \\ 0.377 & 0.623 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.580 & 0.420 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$R(2)=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0.610 & 0 & 0.390 \\ 0.535 & 0.465 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.350 & 0.65 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0.610 & 0.390 \\ 0.535 & 0.465 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.350 & 0.650 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(5) 建立权重集

$\alpha_{Cu}(in)=\frac{\alpha_{i(实)}}{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^n ij}=\frac{180}{\frac{1}{5}(35+50+100+100+400)}=1.314$

同理 $\alpha_{Cu}(out)=\frac{217}{137}=1.584$

$\alpha_{Pb}(in)=\frac{169}{287}=0.589$

$\alpha_{Pb}(out)=\frac{135}{287}=0.470$

$\alpha_{Cr}(in)=\frac{635}{278}=2.284$

$\alpha_{Cu}(out)=\frac{737}{278}=2.651$

$\alpha_{Zn}(in)=\frac{142}{270}=0.526$

$\alpha_{Zn}(out)=\frac{165}{270}=0.611$

归一化: $Q_{Zn}(in)=\frac{0.526}{4.713}=0.112$

$Q_{Zu}(out)=\frac{0.611}{5.316}=0.115$

$Q_{Cu}(in)=\frac{\alpha_{Cu}(in)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i(in)}=\frac{1.314}{1.314+0.589+2.284+0.526}=\frac{1.314}{4.713}=0.279$

$Q_{Cu}(out)=\frac{\alpha_{Cu}(out)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i(out)}=\frac{1.584}{1.584+0.470+2.65+0.611}=\frac{1.584}{5.316}=0.298$

同理:

$Q_{Pb}(in)=\frac{0.589}{4.713}=0.125$ $Q_{Pb}(out)=\frac{0.470}{5.316}=0.088$

$Q_{Cr}(in)=\frac{2.284}{4.213}=0.485$ $Q_{Cr}(out)=\frac{2.651}{5.316}=0.499$

$Q_{Zn}(in)=\frac{0.526}{4.713}=0.112$ $Q_{Zn}(out)=\frac{0.611}{5.316}=0.115$

所以 $A(in)=(0.279, 0.125, 0.485, 0.112)$

$A(out)=(0.298, 0.088, 0.499, 0.115)$

(6) 模糊综合评价集

因为 $B=A \times R$

所以 $B(in)=A(in) \times R(in)$
 $= (0.279, 0.125, 0.485, 0.112) \times$

$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0.733 & 0 & 0.267 \\ 0.377 & 0.623 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.580 & 0.420 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$= (0.125, 0.125, 0.279, 0, 0.485)$$

$B(out)=A(out) \times R(out)$

$$= (0.298, 0.088, 0.499, 0.115) \times$$
$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0.610 & 0 & 0.390 \\ 0.535 & 0.465 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.350 & 0.65 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$= (0.115, 0.115, 0.298, 0, 0.499)$$

通过对蒲河水体底泥中重金属污染采用模糊综合评价结果来看,三级标准的隶属度最大,可以断言蒲河水体中重金属污染严重。

3 结 论

蒲河水体底泥 pH 值在 7.5~7.65 之间,属于偏碱性环境,有机质含量不高。底泥中 Cr、Cu 的污染较普遍,且多为 2 种以上的复合污染,污染危害顺

中国沙漠,2007,27(1):99-104.

[3] 何永彬,卢培泽,朱彤. 横断山—云南高原干热河谷形成原因研究[J]. 资源科学,2000, 22(5):67-72.

[4] 何锦峰,杨忠,陈国阶. 金沙江干热河谷泥岩坡地植被恢复研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(2):319-322.

[5] 青翠,王龙,李靖. 金沙江干热河谷区生态修复技术体系初探[J]. 中国水土保持,2006(4):39-41.

[6] 杨忠,庄泽,秦定懿,等. 元谋干热河谷水保林营造技术研究[J]. 水土保持通报,1999,19(1):38-42.

[7] 纪中华,杨艳鲜,廖承飞,等. 元谋干热河谷退化坡地立体种养生态农业模式建设[J]. 西南农业大学学报,2005,18(3):1-4.

[8] 杨艳鲜,纪中华,沙毓沧,等. 元谋干热区退化山地复合生态农业模式自然资源的利用研究[J]. 西南农业大学学报,2006,19(增刊):206-209.

[9] 杨艳鲜,廖承飞,沙毓沧,等. 元谋干热河谷旱坡地双链型罗望子、牧草生态农业模式高效配套技术研究[J]. 中国生态农业学报,2008,16(2):464-468.

[10] 穆军,李占斌,李鹏,等. 干热河谷干季土壤水分动态研究[J]. 长江科学院院报,2009,26(12):22-25.

[11] 蒋俊明,费世民,王鹏,等. 干热河谷阴坡和阳坡土壤水分动态研究[J]. 四川林业科技,2005,26(5):30-35.

[12] 杨艳鲜,方海东,潘志贤,等. 云南元谋干热河谷区旱坡地不同生态农业模式土壤水分差异性分析[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):248-252.

[13] 黄成敏,何毓蓉. 云南省元谋干热河谷土壤水分的动态变化[J]. 山地研究,1997,15(4):234-238.

[14] 刘淑珍,张建平,范建蓉,等. 云南元谋土壤退化特征及原因分析[J]. 中国沙漠,1996,16(1):1-2.

[15] 刘淑珍,黄成敏. 云南元谋土地荒漠化特征及原因分析[J]. 中国沙漠,1996,16(1):1-8.

[16] 张建平. 元谋干热河谷土地荒漠化的人为影响[J]. 山地研究,1997,15(1):53-56.

[17] 张建平,杨忠,庄泽. 元谋干热河谷区水土流失现状及治理对策[J]. 云南地理环境研究,2001,13(2):22-27.

[18] 周红艺,李辉霞,范建蓉. 元谋干热河谷土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持,2009(4):39-41.

[19] 庄建琦,葛永刚,王道杰,等. 干热河谷生态恢复区土壤水分变化研究[J]. 水土保持研究,2009,16(6):35-39.

[20] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,等. 云南干热河谷不同坡面整地方式对土壤水分环境的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(1):15-19.

[21] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,等. 云南干热河谷微地形改造对土壤水分动态的影响[J]. 浙江林学院学报,2005,22(3):259-265.

[22] 王克勤,沈有信,陈奇伯,等. 金沙江干热河谷人工植被土壤水环境[J]. 应用生态学报,2004,15(5):809-813.

[23] 何毓蓉,徐建忠,黄成敏. 金沙江干热河谷区变性土的特征及系统分类[J]. 土壤学报,1995. 32(增刊):102-103.

[24] 柴宗新,范建蓉. 金沙江干热河谷植被恢复的思考[J]. 山地学报,2001,19(4):381-384.

[25] 穆军,李占斌,李鹏,等. 干热河谷干季土壤水分动态研究[J]. 长江科学院院报,2009,26(12):22-25.

[26] 何毓蓉,黄成敏. 云南省元谋干热河谷的土壤系统分类[J]. 山地研究,1995,13(2):73-78.

.....

(上接第 124 页)

序为 Cr> Cu > Pb > Zn ,重金属综合污染指数平均值为 7.275,为重度污染,Cr 污染已相当严重,底泥受到重金属 Cu、Zn、Pb、Cr 的复合污染。使用模糊综合评价发现,底泥中重金属污染情况严重。由于底泥中的重金属主要来源于入河水体,因此控制上游污染源的排放和加快清淤是控制底泥中重金属含量的主要途径。对于重点厂家,除了要关注一些常规监测项目外,更应加强特征污染因子的监测和治理力度。

参考文献:

[1] 杨丽原,沈吉,张祖陆,等. 南四湖表层底泥重金属和营养元素的多元分析[J]. 中国环境科学,2003,23(2):206-209.

[2] 周根娣,吴静波. 运河(杭州段)底泥污染物含量分布调查[J]. 环境污染与防治,2001(1):36-39.

[3] 王宁,张刚,王爱. 湖泊内源污染的环保疏浚及其效果[J]. 环境科学研究,2004,17(2):34-37.

[4] 周维博,郭小砾. 塔里木河水质模糊模式识别评价[J]. 水资源保护,2007,23(4):33-36.

[5] 顾征帆,吴蔚. 太湖底泥中重金属污染现状调查及评价[J]. 甘肃科技,2005,21(12):21-23.

[6] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[7] GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,1995.

[8] 奚旦立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,2004.