

水库底泥重金属污染物静态释放规律

张伟, 宫喜君, 王秀花, 刘宗来, 马亚男, 张凤君

吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室, 长春 130021

摘要 为了探求水库底泥中重金属污染物的释放情况, 分别对某水库表层底泥和底层底泥中重金属污染物进行静态释放模拟实验, 得到了 Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 5 种重金属的释放浓度曲线, 并分析了释放曲线的浓度变化趋势, 通过计算得出了重金属污染物的释放速率及年释放量。结果表明, 该水库底层底泥中重金属污染物的释放浓度比较低, 对上覆水水体水质影响较小; 而表层底泥中重金属污染物的释放浓度相对较高, 对上覆水水体水质影响较大; 5 种重金属污染物 Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 在表层底泥中其释放速率和年释放量都要比底层底泥中约高 1 个数量级。

关键词 底泥; 重金属; 静态释放

中图分类号 X523

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.16.006

Static Release of Heavy Metals from Sediments of Reservoir

ZHANG Wei, GONG Xijun, WANG Xiuhua, LIU Zonglai, MA Yanan, ZHANG Fengjun

Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130021, China

Abstract The sediment is an important part of aquatic ecosystems, as the accumulation of various nutrients and pollutants among other ingredients in reservoirs. This paper studies the release of heavy metal pollutants from sediments of a reservoir, through simulation experiments with heavy metals, Cr, Pb, Ni, Zn and Cu, focusing on the static release of heavy metal pollutants in surface sediments and bottom sediments of a reservoir. The release concentration curves of 5 kinds of heavy metals Cr, Pb, Ni, Zn and Cu are obtained, and the concentration change trend of the release curve are analyzed. In addition, the pollutant release rate and the release amount of the heavy metals are calculated. It is shown that the release concentrations of heavy metals in the bottom sediment of the reservoir are relatively lower than those in the surface sediment and have relatively smaller impact on the overlying water quality too. The release rate and the release amount of the heavy metals in the surface sediment are higher than those in the bottom sediment by about one order of magnitude.

Keywords sediment; heavy metals; static release

0 引言

底泥是水体生态系统的重要组成部分, 是进入水库的各种营养物、污染物的主要蓄积场所^[1-3]。通过各种途径进入水体的重金属比较容易被水体悬浮物或者沉积物吸附或共沉淀, 在水库底泥中富集^[4]。水体重金属的富集对水生态系统威胁很大^[6-8]。作为水体污染的主要蓄积库, 底泥不仅可以直接反映水体的污染历史, 在一定条件下还可以向上覆水体中释放各种污染物, 造成对水体的二次污染^[9-11]。若不对底泥进行处置, 单纯地通过净化上覆水的方式根本无法达到治理水库污染的目的^[13,14]。底

泥污染问题已经引起了学界的广泛关注^[15]。

为更好地了解某水库底泥中污染物的释放对水体的影响, 本文主要针对底泥中重金属污染物的释放问题进行研究, 通过静态释放实验来分析底泥重金属污染物的释放对库区水体水质的影响。

1 材料与方法

1.1 实验装置

本实验选取某水库同一断面的表层底泥和底层底泥进

收稿日期: 2012-11-12; 修回日期: 2013-03-18

基金项目: 环保公益性行业科研专项经费重大项目 (201009009)

作者简介: 张伟, 博士研究生, 研究方向为水处理技术, 电子信箱: 13944087192@126.com; 张凤君 (通信作者), 教授, 研究方向为水处理技术, 电子信箱: zhangfengjun@jlu.edu.cn

行研究。将从该水库取回的新鲜表层底泥和底层底泥分别适量平铺放入相同体积的 1 号和 2 号有机玻璃槽内(槽长×宽×高 100cm×30cm×40cm 的形状体积均相等的长方体),底泥厚度大约为 4cm,尽量使泥面平整。按体积比 1:4,加入 16cm 深的覆盖水,加水过程中要防止底泥的搅动而影响测定结果。

1.2 水样采集

实验开始后 1,2,4,6,10,15d 对 2 个槽的覆盖水进行取样。由于底泥在释放过程中存在一定的浓度梯度,因此每个槽分别取表层和底层水样,测定后取均值。取样量为 50mL,经酸化后,用于重金属的测定。因夏季蒸发量较大,每次取样后,需对由于取样及蒸发所引起的覆盖水量的减少进行补充。

1.3 测试仪器

主要测试对象为 Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 5 种重金属,均委托测试单位进行 ICP-MS(Agilent 7500C)等离子体质谱仪测定(安捷伦科技有限公司)。

2 结果与讨论

2.1 水库原水水质情况

本研究首先对水库原水水质进行重金属质量浓度的分析,分析结果如表 1 所示。

表 1 水库原水水质分析结果(单位:mg/L)
Table 1 The analysis of the raw water (unit: mg/L)

重金属	Cr	Pb	Ni	Zn	Cu
原水水样	—	0.0035	—	—	0.0009
III 类标准 ^[19]	0.05	0.05	—	1.0	1.0

由表 1 分析可知,上述重金属指标均未超过国家地表水 III 类水质标准,其中 Cr、Ni、Zn 均未达到最低检出限。因此使用水库的原水作为实验研究的上覆水。

2.2 水库底泥中重金属质量浓度

为更好地了解底泥污染状况,对所取断面的表层底泥和底层底泥进行了同期提取重金属(SEM)质量浓度的测定,得到结果如表 2 所示。

表 2 底泥中重金属质量浓度(单位:mg/L)
Table 2 Contents of heavy metals in sediments (unit: mg/L)

重金属	Cr	Pb	Ni	Zn	Cu
表层底泥	0.0235	0.0251	0.0396	0.2362	0.0636
底层底泥	0.0247	—	0.0381	0.1938	0.0636

从表 2 可以看出,底层底泥中 Pb 的质量浓度未检出,Zn 的质量浓度稍高。

2.3 重金属的释放曲线及释放速率

2.3.1 Cr 的释放曲线

图 1 所示为水库表层底泥和底层底泥中重金属 Cr 随时间的释放曲线。

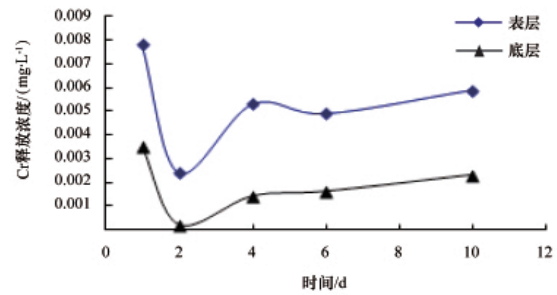


图 1 Cr 的释放曲线

Fig. 1 Cr release curve

由图 1 可知,两个样品的重金属 Cr 的释放浓度第 1 天的测定结果普遍较高,这可能是由于加水时搅动底泥样品所致。两种底泥样品的释放浓度趋势基本一致,除第 1 天的浓度外,运行过程中整体释放浓度较为稳定。计算得出表层底泥 Cr 的释放速率为 0.0472mg/(m²·d),底层底泥 Cr 的释放速率为 0.0059mg/(m²·d),表层底泥的 Cr 释放速率明显高于底层底泥中 Cr 的释放速率。

2.3.2 Pb 的释放曲线

图 2 所示为水库表层底泥中重金属 Pb 的释放浓度随时间变化曲线,由于底层底泥样品中 Pb 的释放浓度均未检出,故结果以 0 来表示。

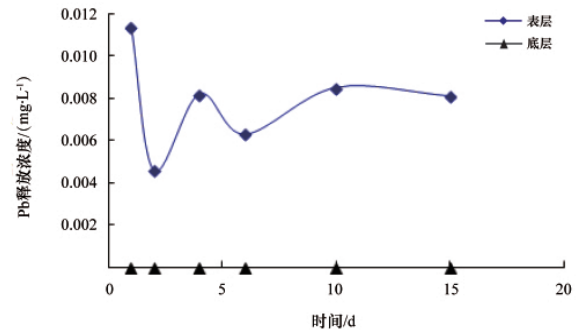


图 2 Pb 的释放曲线

Fig. 2 Pb release curve

由图 2 可知,表层底泥的 Pb 的释放浓度规律与其他重金属的释放规律基本相同,仍然是第 1 天释放浓度稍高一些,然后达到比较平稳状态,经计算得知其释放速率为 0.0768mg/(m²·d)。而底层底泥在实验监测过程中均未检出 Pb 的浓度,其释放速率视为 0;根据表 2 所示,该水库底泥中同期提取重金属的结果,底层底泥中 Pb 的质量浓度为 0,因此底层底泥中没有 Pb 的释放速率视为 0,也就好理解了。相比即可见表层底泥的疏挖,对于降低 Pb 对水体的污染有很大作用的。

2.3.3 Ni 的释放曲线

水库表层底泥和底层底泥中重金属 Ni 的释放浓度随时间变化曲线如图 3 所示。

由图 3 可知,底层底泥的 Ni 的释放浓度较稳定,维持在 0.003mg/L 左右;而相比之下表层底泥的释放浓度呈现先降低后升高的趋势,并且比底层底泥释放浓度高一些。经过计算

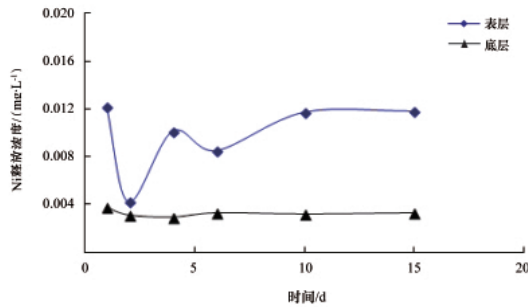


图 3 Ni 的释放曲线
Fig. 3 Ni release curve

得出表层底泥 Ni 的释放速率为 $0.109\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 底层底泥 Ni 的释放速率为 $0.0093\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 可见底层底泥中 Ni 的释放速率比表层底泥 Ni 的释放速率低一个数量级。

2.3.4 Zn 的释放曲线

图 4 所示为水库表层底泥中重金属 Zn 的释放浓度随时间变化曲线。

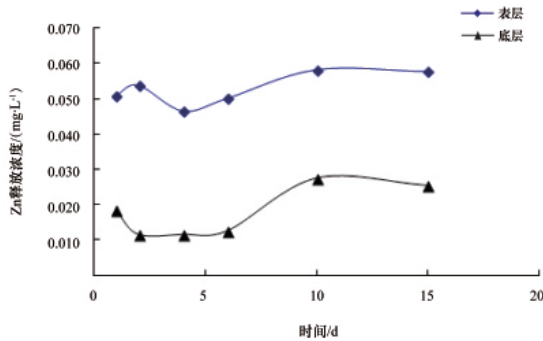


图 4 Zn 的释放曲线
Fig. 4 Zn release curve

由图 4 可知, 表层底泥和底层底泥的 Zn 的释放浓度均比较稳定, 其中表层底泥的释放浓度在 $0.05\sim 0.06\text{mg}/\text{L}$ 之间, 底层底泥的释放浓度基本在 $0.01\sim 0.02\text{mg}/\text{L}$ 。经过计算, 表层底泥 Zn 的释放速率为 $0.58\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 底层底泥 Zn 的释放速率为 $0.045\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 可见底层底泥中 Zn 的释放速率比表层底泥 Zn 的释放速率低一个数量级。

2.3.5 Cu 的释放曲线

图 5 所示为水库表层底泥中重金属 Cu 的释放浓度随时间变化曲线。

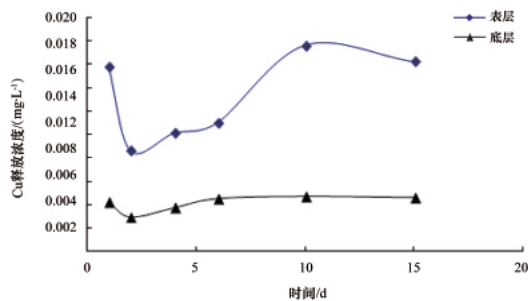


图 5 Cu 的释放曲线
Fig. 5 Cu release curve

由图 5 可见, 水库表层底泥 Cu 的释放浓度和其他金属具有相同的规律, 即第 1 天测定值较大, 其他测定结果则随时间呈逐渐升高后又趋于平稳; 底层底泥 Cu 的释放浓度比较稳定, 维持在 $0.002\sim 0.004\text{mg}/\text{L}$ 。经过计算, 得出表层底泥 Cu 的释放速率为 $0.160\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 底层底泥 Cu 的释放速率为 $0.0174\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 可见底层底泥中 Cu 的释放速率比表层底泥 Cu 的释放速率低一个数量级。

从水库表层底泥和底层底泥中重金属 Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 的质量浓度 (表 2) 以及这 5 种重金属的释放曲线分析得出, 表层底泥释放速率均要比底层底泥中重金属的释放速率高一个数量级, 这表明底层底泥中重金属的存在形式比较稳定, 不易释放, 因此表层底泥的环境疏浚可明显降低底泥中重金属释放对水体的污染程度。底泥重金属的释放虽然未造成上覆水体中重金属质量浓度超过 III 类水质标准规定限值, 但长此以往仍会造成一定的生态环境问题。

2.4 重金属污染物年释放总量

根据实验所得重金属释放浓度曲线及释放速率, 在不考虑水流扰动影响的条件下, 计算出各重金属的年释放量如表 3 所示。

表 3 各重金属年释放量
Table 3 The release rates of heavy metals

计算项目	1 号样(表层底泥)		2 号样(底层底泥)	
	释放速率/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	年释放量/ t	释放速率/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	年释放量/ t
Cr	0.0472	0.0965	0.0059	0.012
Pb	0.0768	0.1570	0.0000	0.0000
Ni	0.1090	0.2230	0.0093	0.0190
Zn	0.5800	1.1860	0.0450	0.0920
Cu	0.1600	0.3300	0.0174	0.0360

由表 3 可见, 表层底泥中每种重金属污染物的释放浓度和年释放量都要比相应的底层底泥高出一个数量级。由此得出, 在静态释放模拟实验研究中, 表层底泥重金属污染物的释放对于上覆水体的水质影响较大, 而底层底泥重金属污染物的释放速率及年释放量都相对较小, 对水质影响较小。

3 结论

通过对水库某一断面的表层底泥和底层底泥中重金属污染物 Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 的静态释放浓度及释放速率的研究, 主要得出以下结论。

(1) 对于静态模拟实验中所研究的 5 种重金属污染物 Cr、Pb、Ni、Zn 和 Cu 在表层底泥中其释放速率和年释放量都要比底层底泥中高一个数量级。

(2) 表层底泥中污染物的释放对水体水质影响较大, 底层底泥中污染物的释放对水体水质影响较小, 故在上覆水体得到较好治理后, 需要考虑对表层底泥的处置, 以确保不会对上覆水体产生二次污染。

参考文献 (References)

- [1] 汤红亮. 里运河底泥重金属释放实验研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
Tang Hongliang. Experiment study on heavy metals release from sediment of Liyun River[D]. Nanjing: Hohai University, 2006.
- [2] 宁建凤, 邹献中, 杨少海, 等. 广东大中型水库底泥重金属含量特征及潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6059-6067.
Ning Jianfeng, Zou Xianzhong, Yang Shaohai, et al. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6059-6067.
- [3] Wakida F T, Lara-Ruiz D, Temores-Pen A J, et al. Heavy metals in sediments of the Tecate River Mexico [J]. Environmental Geology, 2008, 54(3): 637-642.
- [4] 张中文, 李光德, 张世远, 等. 泮河底泥中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(11): 134-153.
Zhang Zhongwen, Li Guangde, Zhang Shiyuan, et al. Environmental Science & Technology, 2008, 31(11): 134-153.
- [5] Huang J M, Huang Q Q, Jiao J J, et al. Speciation and mobility of heavy metals in mud in coastal reclamation areas in Shenzhen, China[J]. Environmental Geology, 2007, 53(1): 221-228.
- [6] 董浩平. 城市湖泊底泥污染释放规律及在水质模型中的应用 [D]. 南京: 河海大学, 2002.
Dong Haoping. Principle of contaminant release from sediment in urban lakes and its application in water quality model [D]. Nanjing: Hohai University, 2002.
- [7] 周小飞. 官厅水库底泥污染分析、评价与控制研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2002.
Zhou Xiaofei. The research on the analysis, assessment, and control of sediments contamination in Guanting Reservoir [D]. Danzhou: Tropical Agricultural University of South China, 2002.
- [8] 刘总堂, 李春海, 章钢娅. 运用主成分分析法研究云南湖库水体中重金属分布[J]. 环境科学研究, 2010, 23(4): 459-466.
Liu Zongtang, Li Chunhai, Zhang Gangya. Research of Environmental Sciences, 2010, 23(4): 459-466.
- [9] 回进, 张凤君, 李亚东, 等. 水库底泥污染物释放模拟研究 [J]. 辽宁科技大学学报, 2011, 34(5): 486-489.
Hui Jin, Zhang Fengjun, Li Yadong, et al. Journal of University of Science and Technology Liaoning, 2011, 34(5): 486-489.
- [10] 刘培斌, 张凤君, 孟庆义, 等. 官厅水库底泥污染物的分布与释放预测研究[J]. 云南地理环境研究, 2002, 14(2): 61-64.
Liu Peibin, Zhang Fengjun, Meng Qingyi, et al. Yunnan Geographic Environment Research, 2002, 14(2): 61-64.
- [11] 苏德纯, 胡育峰, 宋崇渭, 等. 官厅水库坝前疏浚底泥的理化特征和土地利用研究[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1321-1323.
Su Dechun, Hu Yufeng, Song Chongwei, et al. Environment Science, 2007, 28(6): 1321-1323.
- [12] Renner R M. Statistical comparisons of heavy metal pollutants between seven regions of the Polish exclusive economic zone [J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 67(4): 987-997.
- [13] Kim L H, Choi E, Stenstrom M K. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments[J]. Chemosphere, 2003, 50(1): 53-61.
- [14] LeDuc D L, Terry N. Phytoremediation of toxic trace elements in soil and water [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2005, 32(11-12): 514-520.
- [15] 王永华, 刘振宇, 刘伟, 等. 巢湖合肥区底泥污染物分布评价与相关特征研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2003, 39(4): 501-506.
Wang Yonghua, Liu Zhenyu, Liu Wei, et al. Acta Scientiarum Naturalium, Universitatis Pekinensis, 2003, 39(4): 501-506.
- [16] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准 GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. Environmental quality standards for surface water GB 3838—2002 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.

(责任编辑 岳臣)

· 学术动态 ·



第十五届中国科协年会举办“国际科学大师论坛”

2013年5月25日,第十五届中国科协年会举办“国际科学大师论坛”,近千名科技工作者、青年学生聆听大师智慧,漫步科学前沿,感悟科技之光。

中共中央政治局委员、国家副主席李源潮出席论坛。十一届全国人大常委会副委员长桑国卫,中国科协党组书记、书记处第一书记申维辰,省委书记、省人大常委会主任赵克志,省委副书记、省长陈敏尔等参加。2000年图灵奖获得者、清华大学理论计算机科学研究中心主任姚期智教授主持。

1987年诺贝尔物理学奖获得者、IBM苏黎世研究实验室荣誉研究员格奥尔格·贝德诺尔茨教授,2004年诺贝尔化学奖获得者、以色列理工学院阿龙·切哈诺沃教授,2010年巴尔扎恩奖得主、巴西科学院院长、第三世界科学院院长雅各布·帕里斯教授,1957年诺贝尔物理学奖获得者杨振宁教授,2009年诺贝尔化学奖获得者、以色列魏茨曼科学研究所阿达·约纳特教授,分别以“高温超导——项目渐成熟的技术”、“个性化医疗的革命——我们要治愈所有疾病?”、“动力系统重要进展综述”、“美与物理学”、“从基础科学到先进医学”为主题发表演讲。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/14738453.html>。