文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4740 /（中图刊号）：715GL012

新医东湖柱状沉积物中重金属的污染评价

黄文　黄鑫*
河南科技学院资源与环境学院
DOI:10.12238/eep.v8i3.2595

[摘　要] 本文以新乡医学院校内湖为研究对象,采集柱状沉积物,研究重金属的垂直分布、富集系数及源解析。结果表明：各元素垂直分布没有一致的趋势,Al、Fe、Mn、Zn、Ni元素随沉积深度增加而浓度增加。采用Fe作为参考元素,不同元素富集系数为Cd(478.51)>Zn(3.54)>Mn(3.19)>Cr(3.13)>Al(2.30)>Cu(2.17)>Ni(1.23)>Mg(1.34)>Na(0.43),可知Cd极严重富集,其他元素中度或轻度富集。通过主成分分析可知,沉积物中重金属可能来自于大气沉降、地表扬尘、交通运输导致的街道粉尘。
[关键词] 柱状沉积物；重金属；富集系数；相关性；源分析
中图分类号：P618.5　文献标识码：A

Pollution Assessment of Heavy Metals in Sediment Cores from Xinyi Donghu Lake

Wen Huang　Xin Huang*
School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology

[Abstract] This study focused on the campus lake of Xinyi Donghu Lake. Core sediment samples were collected to investigate the vertical distribution of heavy metals, enrichment factors, and source apportionment. Results: The vertical distribution patterns of elements showed no consistent trend. Concentrations of Al, Fe, Mn, Zn, and Ni increased with sediment depth. Using Fe as the reference element, the enrichment factors (EFs) of different elements were ranked as Cd (478.51) > Zn (3.54) > Mn (3.19) > Cr (3.13) > Al (2.30) > Cu (2.17) > Ni (1.23) > Mg (1.34) > Na (0.43). The results indicated that Cd exhibited extremely severe enrichment, while other elements showed moderate or slight enrichment. Principal component analysis (PCA) revealed that heavy metals in the sediments likely originated from atmospheric deposition, surface soil dust, and road dust from traffic activities.
[Key words] sediment core; heavy metals; enrichment factor; correlation; source analysis

湖泊沉积物作为环境物质输送的载体,汇集了土壤的侵蚀、水力输送、大气干湿沉降及工业废水与生活污水的排放流域等多种来源的环境物质。在无人为扰动时,湖泊沉积物可记录重建区域性或全球性近代环境污染历史[1]。因此研究沉积物中特定层位重金属的存在形式就可了解在特定时期中湖泊重金属污染物的主要来源,而对整个沉积物柱的研究则可重建在这一段历史时期中湖泊的重金属污染史。于瑞莲[2]测定了晋江河口柱状沉积物中重金属元素的质量分数,结合210Pb定年技术,探讨沉积物中重金属元素的垂向分布特征及污染史。何荣等[3]利用2007年4月采集于天鹅洲长江故道柱状沉积物沉积学特征结合沉积事件记录进行定年,重建了50年以来长江中游元素地球化学记录的演变过程。

人工湖是一种典型的城市湖泊,作为城市景观的重要组成部分,在改善人居环境、美化景观、发挥生态功能等方面具有非常积极的意义。通常人工湖形成过程中,土壤环境由旱地变淹水,人工湖沉积物中的污染物积累量会随时间增多,沉积物将变成污染物的“汇”[4]。同时人工湖无岩石风化、土壤侵蚀作用、工业废水与生活污水的排放等明显点源污染的影响,因此人工湖柱状沉积物能够更好示踪大气沉降对湖泊影响的年际变化。本文测定了新医人工湖柱状沉积物中的重金属的垂向分布特征和污染情况,结合蓄水时间、沉积速率,反映了不同年份重金属的污染水平,采用富集系数、相关性分析、主成分分析对重金属的生态风险进行评价,探讨其来源,旨在为新乡市重金属污染治理提供理论依据。

1 样品的采集

沉积物样品于2016年10月采集于新医人工湖,该人工湖于2009年清淤灌水后,无污水排放,生态系统保持恒定状态。采用自制柱状沉积物采样器进行采集,采集上来的样品以1cm为间隔分样,密封于洁净聚乙烯塑料封口袋内,带回实验室,其中0-9CM样品为黑色,10-12CM样品为黄色。样品风干恒重后,剔除砾石

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

等杂物，用玛瑙研钵研磨后用160目尼龙筛进行筛分干燥储存待用。

2 样品处理与测定

称取0.1g上述样品，加HNO3-HF混酸使用微波消解仪消解，消解完全后采用等离子发射光谱仪ICP-OES(Optima8000DV)检测样品中Cu、Zn、Pb、Cr、Ni的含量，标准样由国家标准物质中心提供。所用数据为3个平行样品均值，相对标准偏差均保持在10%以内，分析结果均以沉积物干重计。数据采用Excel、IBM SPSS Statistics软件处理，包括数据统计、相关分析(显著P＜0.05，极显著P＜0.01)主成分分析。

3 结果

3.1重金属元素的垂向分布特征

10种重金属的浓度大小平均值(μg/g)顺序依次为Al(56573.28)、Fe(17305.37)、Mg(11042.76)、Na(2953.57)、Mn(457.12)、Cr(101.24)、Zn(97.72)、Cu(40.11)、Ni(32.32)、Cd(27.81)。张栋华等[5]研究发现胶州湾沉积物柱状样重金属浓度的平均值(μg/g)分别为Cd(0.72)、Cr(86.93)、Cu(37.00)、Ni(43.79)、Zn(65.10)。杨陈等[6]研究发现太湖沉积物中重金属Cd、Cu和Cr总量的均值分别为1.97、40.0、86.8μg/g。罗明科等[7]研究发现武汉东湖Zn、Cu和Ni平均含量分别为121、44.7、43.5μg/g.大量的学者对柱状沉积物的金属元素丰度进行了研究，通过比较发现，新医内湖除Cd外，柱状沉积物中金属元素的丰度大于胶州湾和太湖，小于武汉东湖。新医内湖Cd的丰度远超环境本底值，也远大于太湖和胶州湾。由此可以看出新乡市受此Cd重金属污染性较强，这与新乡市从事的镍镉(Ni-Cd)电池生产有关，这与周凯等[8]的研究结果一致，新乡后河头土壤Cd的质量分数达到33.78μg/g，超过土壤环境质量评价指标限值的111.6倍。除Mg、Na外，所有重金属越接近表层，都存在着不同的下降趋势。Fe、Al、Mn元素的浓度从9cm到6cm处有增大趋势，从6cm起到表层，浓度显著减小；Ni、Zn等元素自9cm起至表层，显著减小。这与我国的环保政策基本保持一致，自2011年起，为指导和推进全国环境保护法规和环境经济政策的制定与实施，国务院印发《“十二五”节能减排综合性工作方案》等多项政策以来，新乡市在环境保护方面付出巨大努力，生态环境得到明显改善。

3.2富集系数

通过计算重金属的富集系数来衡量各种金属非地壳来源的贡献程度，比较重金属的富集程度大小。本文采用Fe作为参考元素，应用富集系数法对重金属的富集情况进行评价，其计算式为：

$$EF_x=\{C_x/C_{Al}\}s/\{C_x/C_{Al}\}b$$

式中，EF为重金属在沉积物中的富集系数；Cx为元素x的浓度；C_{Fe}为Fe元素浓度；s和b为样品和背景。若EF＞1，说明该元素相对富集，受到人为活动的影响，若EF≈1，则该元素来源于地壳风化。由此可评价元素的富集程度[9]。

对湖中重金属富集系数平均值大小排序，得到Cd(478.51)＞Zn(3.54)＞Mn(3.19)＞Cr(3.13)＞Al(2.30)＞Cu(2.17)＞Ni(1.23)＞Mg(1.34)＞Na(0.43)。可以很容易得出Cd元素极严重富集，Zn、Cr、Mn中度富集，Al、Cu、Ni、Mg轻微富集，Na元素不富集。

Al、Fe、Mn、Zn、Ni、Cd等元素随深度增加而浓度增加，但通过图1可以看出Mn、Ni元素的富集系数无明显一致变化，Mg、Cu、Cr、Zn等元素的富集系数随深度增加而减小。新医内湖无河流输入、无污染源输入，重金属主要来自于大气干湿沉降以及地表径流。出现这一背离的原因是代表自然来源的Al、Fe元素的逐年降低。Al、Fe、Mg三种重金属元素作为街道粉尘和干湿沉降的主要输入源，这些自然来源的减少可以看出新乡市在近些年对于扬尘污染源的控制取得较好的成果。Mg、Cu、Cr、Zn等元素越靠近表层浓度越低，但在3—5cm沉积物中富集系数变大，也反映了环境质量虽有所改善，但沉降物中重金属工业来源的比重不断变大。

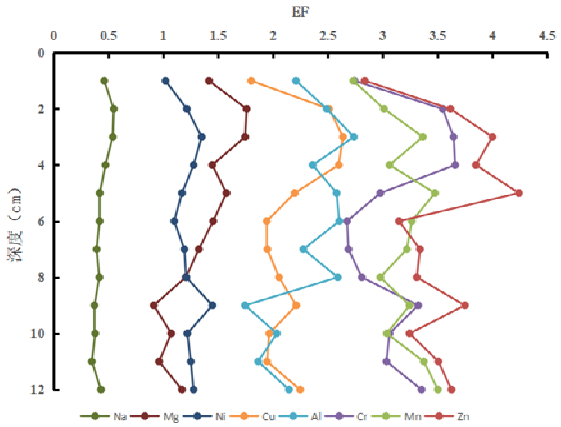

图1 重金属富集系数

3.3金属元素的相关性分析

表1 新乡医学院东湖样品沉积物中重金属相关性(N=12)

	Al	Cd	Cu	Cr	Mg	Fe	Mn	Na	Ni
Al	1								
Cd	-0.794**	1							
Cu	0.895**	-0.911**	1						
Cr	0.163	-0.434	0.476	1					
Mg	0.889**	-0.917**	0.895**	0.239	1				
Fe	0.817**	-0.545	0.725**	0.161	0.661*	1			
Mn	0.764**	-0.385	0.612*	-0.027	0.572	0.895**	1		
Na	0.846**	-0.849**	0.848**	0.277	0.929**	0.733**	0.51	1	
Ni	0.601*	-0.288	0.558	0.059	0.349	0.873**	0.839**	0.416	1
Zn	0.035	-0.115	0.148	-0.119	0.17	-0.278	-0.176	0.085	-0.2

*P<0.05显著相关，**P<0.01极显著相关

对颗粒物中的金属含量进行相关性分析，结果如表1所示，Al、Cd、Cu、Mg、Na之间存在极显著的相关性，Al、Fe、Mn、Ni之间存在显著的相关性，刘文新[8]等认为若同一水域底质中元素之间存在良好的相关性，表明这些元素可能有相同的来源天然地球化学来源或者人为污染来源，以上结果表明新乡医学院校内东湖可能存在两个或者更多的污染源。Cr、Zn与其他重金属元素之间不存在相关性，这表明Cr与Zn的来源与其他重金属无关。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

3.4源分析

为了判定新乡医学院校内东湖水体中的重金属来源，对该湖泊重金属数据进行最大方差旋转组成(PCA)分析。用特征值>1来辨别主成分因子，用共同度来描述单独因子的协同性，结果如图2所示。

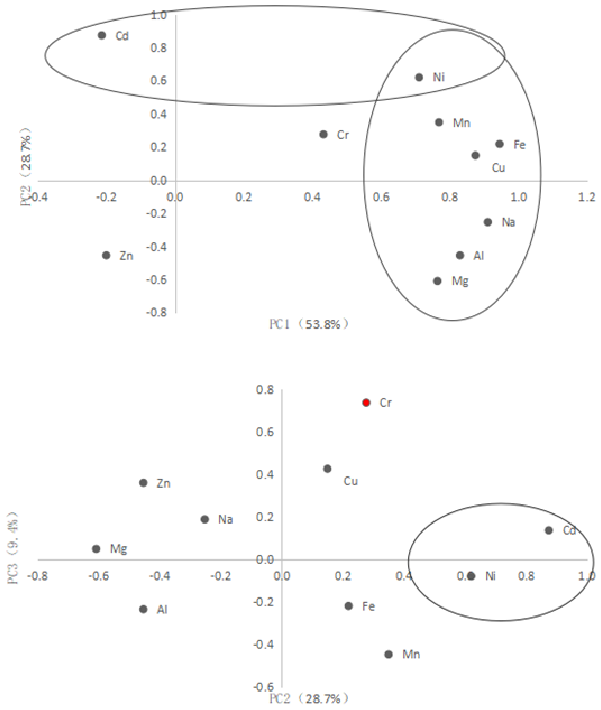

图2 重金属源分析图

为了评价各个源对金属污染物的贡献，对湖泊重金属采用正交矩阵分析法，用三个或者四个主成分因子来进一步的讨论。图2描述了每一种重金属元素的源分配的信息，对于湖泊重金属而言，第一个主成分因子可以解释53.8%的变量，说明PC1是解释大部分重金属元素的主要因素，图中显示Ni、Mn、Fe、Cu、Na、Al、Mg在PC1上有较高的正得分。Al、Fe、Mn作为自然来源的标志，湖泊颗粒物中的Al、Fe、Mn属于自然来源，Ni、Cu、Mg、Na一般来自有色金属冶炼或者垃圾焚烧。大气沉降贡献的重金属往往来自于地壳粉尘，有色金属生产等。因此，第一个主要成分贡献于大气粉尘的再沉降，湖泊中的Cd和Ni来源与街道粉尘贡献有关。第二个主成分可以解释28.7%的变量，说明PC2可以解释部分重金属元素的主要因素，图2显示Cd和Ni在PC2上有较高的正得分。第三个主成分因子仅解释9.4%的变量，代表的元素是Cr，这与工业生产的排放有关，由于胶体有机质和藻类对Cr较强的富集，也导致Cr作为一个独立的来源出现。

4 结论

本研究以新医内湖柱状沉积物中重金属的元素丰度为研究对象，并基于富集系数法、相关性分析、主组成分析等方法，对其污染状况进行评价，可得到如下结论：

(1)Ni、Zn等元素自9cm起至表层，显著减小。Fe、Al、Mn元素的浓度从9cm到6cm处有增大趋势，从6cm起到表层，浓度显著减小。这体现了新乡市在生态环境保护方面取得巨大成就。(2)Cd元素极严重富集，Zn、Cr、Mn中度富集，Al、Cu、Ni、Mg轻微富集，Na元素不富集。Cd污染仍持续超标，亟需强化系统性管控与治理措施。(3)通过主成分分析可知，沉积物中重金属可能来自于大气沉降、地表扬尘、交通运输导致的街道粉尘。

[基金项目]

河南省科技攻关项目(222102320367)。

[参考文献]

[1]陈敬安,万国江,黄荣贵.洱海沉积物重金属地球化学相及其污染历史研究[J].地质地球化学,1998,(02):1-8.

[2]何荣,邓兵,杜金洲,等.长江中游天鹅洲沉积物重金属元素记录对流域人类活动的响应[J].华东师范大学学报(自然科学版),2012,(04):173-180.

[3]于瑞莲,张伟芳,胡恭任,等.晋江河口沉积物重金属污染历史与来源[J].环境科学研究,2015,28(06):907-914.

[4]顾晓丽,乔启成.人工湖早期浮游藻类群落特征及其影响因子研究[J].环境监控与预警,2024,16(5):115-123+130.

[5]张栋华,吕钊臻,邵主峰,等.胶州湾沉积物柱状样重金属垂向分布特征及其控制因素[J].海洋环境科学,2020,39(05):664-669+675.

[6]罗明科,田学达,余辉,等.长江中游湖泊柱状沉积物的垂直污染特征[J].农业环境科学学报,2016,35(05):955-962.

[7]马宏瑞,张茜,季俊峰,吴昀昭.长江南京段近岸沉积物中重金属富集特征与形态分析[J].生态环境学报,2009,18(6):2061-2065.

[8]ACEVEDO-FIGUEROAD,JIMÉNEZBD,RODRÍGUEZ-SIERRACJ.Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico[J].Environmental Pollution,2006,141(2):336-342.

[9]李健,郑春江.环境背景值数据手册[M].北京:中国环境科学出版社,1989,343.

作者简介：

黄鑫(1996--),男,河南新乡人,本科生,主要从事空气污染与防治研究。

***通讯作者：**

黄文(1986--),男,河南新乡人,博士,讲师,主要从事空气污染与防治研究。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.