

水体沉积物重金属污染风险评价研究进展

陈明, 蔡青云, 徐慧, 赵玲, 赵永红

江西理工大学江西省矿冶环境污染控制重点实验室, 江西 赣州 341000

摘要: 沉积物是水体中重金属的主要富集地, 对水体沉积物中重金属进行风险评价, 是了解水体中重金属污染状况的有效手段, 可以为管理部门提供决策依据。文章分析了中国水体沉积物重金属风险评价的研究对象及评价标准, 综述了国内外目前常用的水体沉积物重金属污染风险评价方法。中国目前水体沉积物风险评价涉及的水体主要为湖泊、河流、水库及海洋, 且对湖泊及河流的重金属污染风险评价研究多于水库及海洋。水体沉积物重金属风险评价涉及的重金属有 Hg、Cd、Cr、Pb、Mn、Cu、Zn、Ni、Co、As 等, 其中在 90% 以上的水体沉积物重金属风险评价中涉及到 Pb、Cu、Zn, 说明这 3 种重金属污染最广, 其次为 Cd、Cr、As, 重金属 W 在水体中的风险性未得到重视。水体沉积物重金属污染风险评价所涉及的评价指标有重金属含量、重金属的形态分布和空间分布特征等, 主要以重金属的含量作为风险评价的指标, 其次是分析重金属的空间分布特征, 对重金属形态分布分析较少。中国水体沉积物重金属风险评价标准还不完善, 标准的选择较为多样, 需根据评价目地、水体情况选择合适的评价标准。国内外目前常用的水体沉积物重金属污染风险评价方法主要包括地累积指数法、沉积物富集系数法、沉积物质量基准法、潜在生态风险指数法、污染负荷指数法、尼梅罗综合指数法、次生相与原生相比值法等, 并分析了各评价方法的优缺点, 其中地累积指数法、沉积物富集系数法、污染负荷指数法、尼梅罗综合指数法未引入生物有效性, 潜在生态风险指数法考虑了生物毒理学和生态学内容, 但也存在不足之处。指出针对水体沉积物中重金属毒害的健康风险评价较少, 对于不同毒性数据的归一化方法和原理有待进一步研究。

关键词: 水体沉积物; 重金属; 评价对象; 评价标准; 评价方法

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.06.024

中图分类号: X824

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2015) 06-1069-06

引用格式: 陈明, 蔡青云, 徐慧, 赵玲, 赵永红. 水体沉积物重金属污染风险评价研究进展[J]. 生态环境学报, 2015, 24(6): 1069-1074.

CHEN Ming, CAI Qingyun, XU Hui, ZHAO Ling, ZHAO Yonghong. Research Progress of Risk Assessment of Heavy Metals Pollution in Water Body Sediments [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(6): 1069-1074.

重金属是自然界中危害较重的一类污染物, 其具有危害持久性、较强的生物毒性及食物链的富集放大效应等特点(EDGAR 等, 2010; 张杰等, 2014)。重金属污染物会通过水文循环过程进入水体系统, 经过一段时间的絮凝沉淀, 最后在接纳水体底部沉积物中累积, 沉积物中重金属的浓度一般会比水体中高几个数量级(贾振邦等, 2000), 且不会因为自然退化过程而发生迁移和降解, 而是有可能在沉积物中长期积累储存下来, 成为水体污染的内源, 通过一系列物理、化学、生物等作用, 持续危害水体生态环境, 通过食物链危害人类健康(KAUSHIK 等, 2009; 尚林源等, 2012)。由于水体中重金属主要富集于沉积物中, 所以对水体沉积物中重金属含量、分布及风险评价等研究, 是了解水体中重金属污染状况的有效手段, 可以反映人为活动对水体污染的程度, 为管理部门提供决策依据(牛燕霞等,

2014; 宋学兵等, 2014)。美国环保局(EPA)已将水体沉积物重金属检测作为评价水体环境的重要手段(EPA/600/R-12/11)。水体沉积物重金属污染评价已成为当前水环境研究的热点问题。

1 水体沉积物重金属污染风险评价研究对象

论文从 CNKI 中国期刊全文数据库和维普中文科技期刊全文数据库联合检索近 30 年以来的相关文献, 用 EXCEL 进行分析统计, 得到水体沉积物重金属污染风险评价所涉及的水体类型、重金属元素及相关评价指标分布如图 1~图 3 所示。

由图 1 可知, 中国水体沉积物重金属风险评价所涉及的水体主要有河流、湖泊、海洋及水库, 对湖泊及河流的重金属污染风险评价研究多于水库及海洋, 这主要是因为中国的湖泊及河流比较多, 所涉及的人类居住区较广泛, 受人类活动的影响较大有关。

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAC11B07); 国家自然科学基金项目(51064007); 江西省对外科技合作计划(20133BDH80027)

作者简介: 陈明(1976年生), 男, 副教授, 博士, 研究方向为水处理技术。E-mail: 261984014@qq.com

收稿日期: 2015-04-23

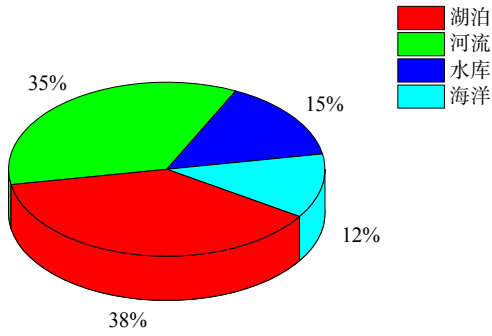


图 1 风险评价中各类水体所占比例

Fig. 1 Proportion of various water bodies in risk assessment

水体沉积物重金属污染风险评价所涉及的主要重金属如图 2 所示,有危害较大的 Hg、Cd、Cr、Pb 及危害较小的 Mn、Cu、Zn、Ni、Co, As 由于化合价可变,性质与金属类似,也被列为评价对象。由图 2 可知,水体沉积物重金属污染风险评价中 90% 以上的沉积物中均涉及到 Pb、Cu、Zn,这说明这 3 种重金属污染最广,其次是 Cd、Cr、As 在评价对象中所占的比例较高。

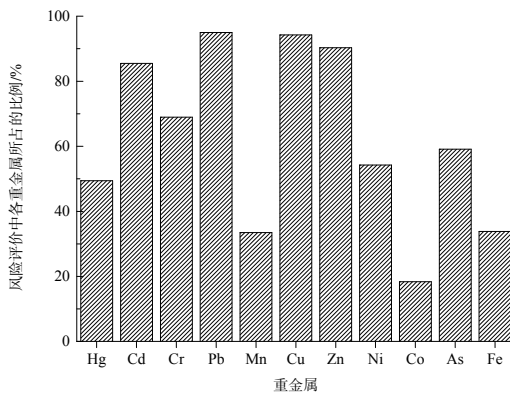


图 2 风险评价中各种重金属所占比例

Fig. 2 Proportion of various heavy metals in risk assessment

值得一提的是,由于钨是一种水不溶性金属且呈化学惰性,相当长的时期内被认为无显著的生态毒性及环境效应,其生态环境安全性基本被忽视。21 世纪以来,由于发达国家发生的钨污染事件,如美国内华达州法隆市 (Fallon, Nevada) 等地区发生的因环境钨污染可能导致儿童白血病高发的的事件 (2005),使钨的生态安全性逐渐受到广泛关注和重视。美国环保署 (USEPA) 于 2008 年正式将钨列为新兴环境污染物,并决定对钨的生态环境安全性进行全面审查和重新评估。俄罗斯则已经将钨列为一种高度危险的水体污染物 (STRIGUL, 2010)。

目前对水体沉积物重金属的风险评价中涉及

到钨的研究鲜见报道。中国是世界钨资源和产钨大国,在相关区域开展对水体沉积物重金属 W 的风险评价对重金属污染防治将具有重要意义。

水体沉积物重金属污染风险评价所涉及的评价指标主要有重金属含量、重金属的形态分布和空间分布特征等,所占比例如图 3 所示。由图 3 可知,评价中主要以重金属的含量作为风险评价的指标,其次是分析重金属污染风险的空间分布特征。在沉积物中重金属以多种化学形态存在,重金属的赋存形态是影响其生物毒性和生态效应的主要因素之一,不同赋存形态在化学反应、迁移性、生物可利用性和潜在毒性方面,展现出不同的物理和化学行为,因此应该将重金属形态作为影响生态风险大小的重要因素 (WANG 等, 2007; 廖天鹏等, 2014; 王爽等, 2012),目前对重金属形态分布污染风险分析较少。

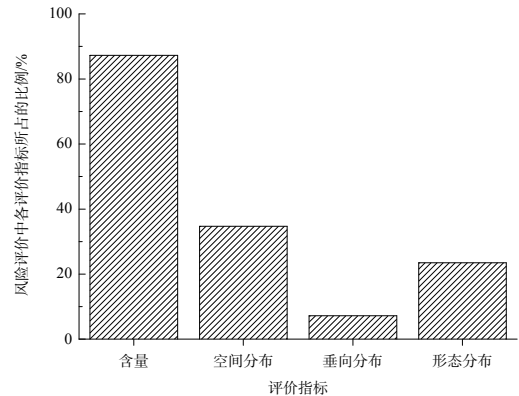


图 3 风险评价中各评价指标所占比例

Fig. 3 Proportion of various assessment indexes in risk assessment

2 水体沉积物重金属污染风险评价标准

评价标准直接关系到评价结果的科学性和有效性,所以评价标准的选择均至关重要。国外在 20 世纪 80 年代以前主要以背景值作为评价标准,80 年代后开始了基于环境基准的标准研究,1991 年美国公布了第一个水体沉积物地域性环境质量标准,即 Puget 湾沉积物质量管理标准。中国在水体沉积物重金属污染评价标准的研究上取得了一定的成果,2002 年出台了《海洋沉积物质量标准》,但在其它水体沉积物方面没有统一的评价标准,对于河流等水体沉积物的环境评价一般选用环境背景值及相关标准作为评价标准。采用环境背景值作为评价标准直观清晰、操作简单,但未考虑生态效应;采用相关标准作为评价标准只能粗略的评价沉积物是否符合环境功能要求,且缺乏针对性。

目前在对沉积物重金属污染的评价标准的选择上较为多样,在实际应用中,一般是根据评价的

目地、水体情况选择合适的评价标准。乔敏敏等(2013)以北京市土壤背景值为标准,对密云水库入库河流沉积物中重金属风险进行了评价;安立会等(2010)研究了渤海湾河口沉积物重金属对海洋近岩渔业产品质量的影响,采用的是国家无公害食品水产品中有毒有害物质限量 NY5073—2001 和鲜海水鱼质量标准 GB/T 18108—2008。李梁等(2010)采用底泥质量标准(SQGs)对滇池海底泥重金属污染进行了风险评价;胡国成等(2011)利用《土壤环境质量标准》(GB15618—1995) I 级标准对长潭水库沉积物中重金属的污染情况进行了评价;田海涛等(2014)对茅尾海表层沉积物中重金属潜在危害进行了评价,是以国际上常用的工业化以前沉积物中重金属全球最高背景值为标准的。

3 水体沉积物重金属污染风险评价方法

近年来,国内外众多学者从沉积学角度提出了多种水体沉积物重金属污染的评价方法(陈豪等,2014;杨辉等,2013),各具合理性和局限性。在评价中,评价方法的选择至关重要,应根据评价目的及各评价方法的特点来选择,也可采用几种评价方法相结合,取长补短,以得到更加准确、科学、全面的评价结果(邴海健等,2010; JARA-MARTIN 等,2008; LOSKA 和 WIECHULA, 2003; ACEVEDO-FIGUEROA 等,2006; 张海珍,2012)。

3.1 地累积指数法

德国海德堡大学沉积物研究所的科学家 Müller (1969) 在 1969 年提出了地累积指数法,它是利用一种重金属的总含量与其地球化学背景值的关系,定量评价沉积物中的重金属污染程度,其计算方法如式(1)。

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / k B_n] \quad (1)$$

式中, I_{geo} 为地累积指数; C_n 、 B_n 分别为沉积物中重金属元素 n 的实测含量及地球化学背景值; k 为修正系数,根据各地岩石差异引起的背景值的波动确定。

该方法将重金属污染级别划分为 7 个等级,等级划分标准采用的是全球沉积页岩中重金属元素的平均含量。该方法可以直观地看出某元素在某采样点的超标情况,但需考虑自然成岩作用可能引起的背景值的变动所带来的影响,准确的选择 k 值较为困难,且仅侧重单一金属。

3.2 沉积物富集系数法

1974 年, Zoller 等为了研究南极上空大气颗粒物中的化学元素是源于地壳还是海洋首次提出了富集因子法,它选择表生过程中地球化学性质稳定的元素作为参比元素,来判断金属元素的富集程

度,以揭示人为污染状况。在此基础上, Buat-Menard 和 Chesselet (1979) 于 1979 年提出了沉积物富集系数法,用于评价沉积物重金属污染程度,其计算方法如式(2)。

$$EF = \frac{C_n / C_{ref}}{B_n / B_{ref}} \quad (2)$$

式中, C_n 、 C_{ref} 分别为沉积物中重金属含量及参比元素含量; B_n 、 B_{ref} 分别为未受污染沉积物中重金属含量及参比元素含量,即重金属背景值及参比元素背景值,参比元素一般选择在迁移过程中性质比较稳定的元素 Al、Li、Fe、Sc 等。根据富集系数值,将污染程度分为 5 个等级。

参比元素的引入可以消除沉积物粒度大小和矿物组成对元素含量变化的干扰(WU 等,2007)。能够更准确地判断人为污染状况,而且结合年代学,还可以揭示出重金属的富集过程以及确定重金属的来源,但参比元素的选择有待规范,且仅侧重单一金属,不能反映整体污染水平。

3.3 沉积物质量基准法

沉积物重金属质量基准(SQC)是指与沉积物接触的底栖生物或上覆水生物不受重金属危害的临界水平,反映了重金属元素与底栖生物或上覆水生物之间的剂量—效应关系。

目前国际上沉积物基准建立的方法较多,根据构建原理,可分为理论型基准和经验型基准,前者主要相平衡分配法,后者主要有生物效应数据库法(高博等,2013)。英国、荷兰、美国、加拿大、澳大利亚和中国香港等国家和地区已建立了沉积物重金属质量基准,中国在此领域还处于起步阶段。邓保乐等(2011)于 2011 年应用相平衡分配法对太湖及辽河沉积物中的 4 种重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 进行了研究,给出了这 4 种重金属的沉积物质量基准,并据此对两水体中沉积物重金属的生态风险进行了评估;张婷等(2012)针对淡水沉积物,利用生物效应数据库法建立了 5 种重金属元素 Cu、Zn、Cd、Pb、Ni 的质量基准。吴斌等(2011)提出了应采用聚合沉积物质量基准代替单一的沉积物质量基准,以提高评价的准确性(BAUDO,2008)。在建立沉积物质量基准时,多种方法相结合,综合运用沉积物化学分析、生物调查及毒理学试验等手段,将是今后研究的重点和方向。

3.4 潜在生态风险指数法

1980 年,瑞典学者 Lars Hakanson (1980) 提出了潜在生态风险指数法,目前该评价方法被广泛应用于水体沉积物中重金属污染风险分析。其计算方法如式(3)和(4)。

某区域单种重金属的潜在生态危害系数 E_f^i 为:

$$E_f^i = T_i \times \frac{C_i}{C_0^i} \quad (3)$$

式中, T_i , C_i , C_0^i 分别为第 i 种重金属的毒性响应参数、实测浓度、背景参照值。

某区域多个重金属的潜在生态危害指数 RI 为:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_f^i \quad (4)$$

式中, n 为重金属种类数。

Hakanson 根据 E_f^i 和 RI 的值, 将沉积物重金属的潜在生态危害由低到高分 5 个等级。该方法涉及到重金属毒性响应参数, Hakanson 利用沉积学原理, 根据“元素丰度原则”和“元素稀释度”, 认为某一重金属的潜在毒性与其丰度呈正比。该方法从重金属的生物毒性出发, 综合考虑了重金属的毒性、浓度及迁移转化规律及区域背景影响值的影响, 不仅反映了沉积物中单一重金属元素的环境影响, 也反映了多种重金属污染物的综合效应, 但忽略了多种金属复合污染时各金属之间的加权及拮抗作用, 毒性系数的确定也有待进一步研究。

3.5 污染负荷指数法

Tomlinson 等在从事重金属污染水平的分级研究中提出了污染负荷指数法, 根据计算出的污染负荷指数将污染分为 4 个等级。其计算方法如式 (5) ~ (7)。

某一点金属 i 的最高污染系数 F_i 为:

$$F_i = C_i / C_{0i} \quad (5)$$

式中, C_i 为金属 i 的实测含量; C_{0i} 为金属 i 的评价标准, 即背景值。

某一点的污染负荷指数 I_{PL} 为:

$$I_{PL} = \sqrt[m]{F_1 \times F_2 \times F_3 \times \dots \times F_m} \quad (6)$$

式中, m 为参加评价的重金属种类数目。

某一区域(流域)的污染负荷指数 I_{PLzone} 为:

$$I_{PLzone} = \sqrt[n]{I_{PL1} \times I_{PL2} \times I_{PL3} \times \dots \times I_{PLn}} \quad (7)$$

式中, n 为采样点个数。

该评价法既可以评价某一点的重金属污染状况, 也可评价某一区域(流域)的污染状况, 能直观地反映各种重金属对污染的贡献程度, 以及重金属在时空上的变化趋势。

3.6 尼梅罗综合指数法

尼梅罗综合指数法是在单因子污染指数评价的基础上对多因子综合评价的方法, 其计算如式 (8)。

$$P = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{n} \sum P_i \right)^2 + P_{\max}^2 \right] / 2} \quad (8)$$

式中, P 为内梅罗综合污染指数; n 为沉积物中重金属种类数; P_i 为沉积物中重金属 i 的污染指数; $P_i = C_i / S_i$, C_i 、 S_i 分别为沉积物中重金属 i 的实测浓度及评价标准。 P_{\max} 为沉积物中各重金属污染指数的最大值。

根据内梅罗综合污染指数将污染程度分为了 4 个等级。该评价法既可反映单因子重金属污染状况, 又可反映多因子重金属污染的综合状况, 同时综合考虑了重金属污染的平均值和最大浓度值对污染程度的影响, 但有时会夸大或减小某些重金属因子的影响。

3.7 次生相与原生相比值法

根据沉积物地质学, 将残渣态金属称为原生地球化学相, 其存在于原生的矿物晶格中几乎不发生迁移。可交换态、碳酸结合态、水合铁锰氧化物态和有机金属态称为次生地球化学相, 其在一定外界环境影响下, 可发生转化(赵胜男等, 2013)。重金属在次生相和原生相中的分配比例可在一定程度上反映沉积物中重金属的潜在生态危害程度, 次生相所占的比例越大, 对环境的潜在生态危害就越大。次生相与原生相比值 $P\%$ 按式 (9) 计算。

$$P\% = \frac{M_{\text{sec}}}{M_{\text{prim}}} \times 100 \quad (9)$$

式中, M_{sec} 为沉积物次生相中的重金属含量; M_{prim} 为沉积物原生相中的重金属含量。 $P\% < 100$ 为无污染, $100 < P\% < 200$ 为轻度污染, $200 < P\% < 300$ 为中度污染, $300 < P\%$ 为重度污染。

沉积物中重金属总量的高低并不能完全反映其迁移能力与污染风险, 次生相与原生相比值法弥补了这一不足, 该评价方法考虑了在重金属的生物地球化学循环中, 不同的存在形态会产生不同的生态风险和生物毒性, 侧重于评价重金属污染物释放的可能性。

上述 7 种评价方法是常用的沉积物重金属污染风险评价法, 其中地积累指数法、沉积物富集系数法、污染负荷指数法、尼梅罗综合指数法未引入生物有效性; 潜在生态风险指数法考虑了生物毒理学和生态学内容, 但也存在不足之处。诸评价法各有侧重点与优缺点, 为了准确的评价水体沉积物中重金属污染状况, 在实际应用中, 一般会将几种评价方法结合使用。Rafiei 等 (2012) 运用潜在生态风险指数法与地累积指数法相结合对伊朗北部 Anzali 泻湖沉积物中重金属污染风险进行了评价; Shah 等 (2013) 用地累积指数法及富集因子法对印度泰普提布河河口沉积物重金属的富集和污染程度进行了评价; 李莲芳等应用沉积物富集系数、沉积物质

量基准法及潜在生态风险指数法对北京市温榆河沉积物的重金属污染进行了风险评价,发现80%以上的取样点出现了重金属富集,高毒元素As、Cd的富集较为严重,根据SQR标准,重金属含量处于中度污染水平,以北京市土壤背景值为基础,得到各重金属呈现出强至极强的生态风险(李莲芳等,2007);贾英等(2013)应用地累积指数法及潜在生态风险指数法对上海河流沉积物重金属污染进行了风险评价,表明Hg、Cd在多数采样点分别为中度污染和偏重污染,Cd、Hg对潜在生态风险指数的贡献最大,所评价的7种金属具有极强生态风险;唐晓娇等(2012)将盲数理论与地累积指数评价法结合在一起,对洞庭湖水系沉积物重金属污染进行了评价,表明Pb、Cd是主要的污染因子,且定量计算出了各重金属隶属于各污染程度的可能性;徐亚岩等(2012)应用富集因子法及次生相与原生相比值法对渤海湾表层沉积物重金属风险进行了分析,综合评价得出,污染最严重的重金属是Pb、Cu和Zn有潜在污染,V、Cr和Co基本清洁。

沉积物重金属风险评价方法还有回归过量分析法(HILTON等,1985)、模糊集理论(樊梦佳等,2010)、脸谱图法(CHEMOFF,1973)等。但由于其存在的不足目前已较少应用,如模糊集理论法需建立大量函数,运算繁琐,最佳权重的确定也较为困难(金艳等,2007)。

4 研究展望

水体沉积物重金属风险评价是一项十分复杂的工作,它涉及重金属的含量、形态分布、生物可累积性和有效性等方面,中国对水体沉积物生态风险评价的理论和技术研究相对还比较薄弱。评价中评价标准的选择很关键,目前中国虽然在水体沉积物重金属污染评价标准的研究上取得了一定成果,但除了《海洋沉积物质量标准》外,没有其它水体的统一评价标准,中国水体沉积物环境标准还未形成。水体沉积物重金属污染风险评价方法主要集中在地累积指数法、沉积物富集系数法、潜在生态风险指数等,这些方法也各有缺点,根据评价目的,采用多种方法相结合的综合评价是得到全面、准确评价结果的有效方法。基于人体健康的风险评价符合人类的根本利益,目前针对水体沉积物中重金属毒害的健康风险评价较少,对于不同毒性数据的归一化方法和原理有待进一步研究。

此外,对钨这一新兴重金属在水体沉积物中的污染特征和风险评价也应该引起足够的关注,相关成果即可拓展重金属污染防治研究领域,又可为制定相关法律法规提供参考。

参考文献:

- ACEVEDO-FIGUEROA D, JINENEZ B D, RODRIGUEZ-SIERRA C J. 2006. Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico [J]. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 141(2): 336-342.
- BAUDO R. 2008. The bioassaybased approach in sediment quality assessment [J]. *Ann Ist Super Sanita*, 44(3): 233-238.
- BUAT-MENARD P, CHESSELET R. 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter [J]. *Earth Planet ScilLett*, 42: 398-411.
- CHEMOFF H. 1973. The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 68(342): 361-368.
- EDGAR HILLER, LUBOMÍR JURKOVIČ, MICHAL ŠUTRIEPA. 2010. Metals in the Surface Sediments of Selected Water Reservoirs, Slovakia [J]. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 84(5):635-640.
- HILTON J, DAVISON W, OCHSENBEIN U. 1985. A Mathematical model for analysis of sediment coke data: implications for enrichment factor calculations and trace metal transport mechanisms [J]. *Chemical Geology*, 48(2): 281-291.
- JARA-MARTIN ME, SOTO-JIMENEZ ME, PAEZ-OSUNA F. 2008. Bulk and bioavailable heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) in surface sediments from Mazatlan Harbor (SE Gulf of California) [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 80(2): 150-153.
- KAUSHIK A, KANSAL A, SANTOSH, et al. 2009. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediments [J]. *Journal of hazardous materials*, 164(1): 265-270.
- LARS HAKANSON. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. *Water research*. 14(8): 975-1001.
- LOSKA K, WIECHULA D. 2003. Application of principle component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir [J]. *Chemosphere*, 51(8): 723-733.
- MÜLLER G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. *Geojournal*, (2): 108-118.
- RAFIEI B, GHOMI F A, ARDEBILI L, et al. 2012. Distribution of Metals (Cu, Zn, Pb and Cd) in Sediments of the Anzali Lagoon, North Iran [J]. *Soil and Sediment Contamination*, 21(6): 768-787.
- SHAH B A, SHAH A V, CHIRAG B, et al. 2013. Assessment of heavy metals in sediments near Hazira industrial zone at Tapti River estuary, Surat, India [J]. *Environmental Earth Sciences*, 69(7): 2365-2376.
- STRIGUL N. 2010. Does speciation matter for tungsten ecotoxicology? [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(6): 1099-1113.
- WANG C, LI X C, ZOU L M, et al. 2007. Pb, Cu, Zn and Ni concentrations in vegetables in relation to their extractable fractions in soils in suburban areas of Nanjing, China [J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(2): 199-207.
- WU Y H, HOU XH, CHENG X Y, et al. 2007. Combining geochemical and statistical methods to distinguish anthropogenic source of metals in lacustrine sediment: a case study in Dongjiu Lake Taihu Lake catchment [J]. *China Environ Geol*, 52(8): 1467-1474.
- 安立会, 郑丙辉, 张雷, 等. 2010. 渤海湾河口沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. *中国环境科学*, 30(5): 666-670.
- 邴海健, 吴艳宏, 刘恩峰, 等. 2010. 长江中下游不同湖泊沉积物中重金属污染物的累积及其潜在生态风险评价[J]. *湖泊科学*, 22(5): 675-682.
- 陈豪, 左其亭, 窦明. 2014. 河流底泥重金属污染研究进展[J]. *人民黄河*, 36(5): 71-75.
- 邓保乐, 祝凌燕, 刘慢, 等. 2011. 太湖和辽河沉积物重金属质量基准及生态风险评估[J]. *环境科学研究*, 24(1): 33-42.

- 樊梦佳, 袁兴中, 祝慧娜, 等. 2010. 基于三角模糊数的河流沉积物中重金属污染评价模型[J]. 环境科学学报, 30(8): 1700-1706.
- 高博, 李强, 周怀东, 等. 2013. 水体沉积物重金属质量基准研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 11(2): 99-106.
- 胡国成, 许振成, 彭晓武, 等. 2011. 广东长潭水库表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评价研究[J]. 农业环境保护, 30(6): 1166-1171.
- 贾英, 方明, 吴友军, 等. 2013. 上海河流沉积物重金属的污染特征与潜在生态风险[J]. 中国环境科学, 33(1): 147-153.
- 贾振邦, 霍文毅, 赵智杰, 等. 2000. 应用次生相富集系数评价柴河沉积物重金属污染[J]. 北京大学学报(自然科学版), 36(6): 808-812.
- 金艳, 何德文, 柴立元, 等. 2007. 重金属污染评价研究进展[J]. 有色金属, 59(2): 100-104.
- 李莲芳, 曾希柏, 李国学, 等. 2007. 北京市温榆河沉积物的重金属污染风险评价[J]. 环境科学学报, 27(2): 289-297.
- 李梁, 胡小贞, 刘婷婷, 等. 2010. 滇池外海底泥重金属污染分布特征及风险评价[J]. 中国环境科学, 30(21): 46-51.
- 廖天鹏, 祝星, 祁先进, 等. 2014. 铜污泥中重金属形态分布及浸出毒性分析[J]. 化工进展, 33(3): 762-768.
- 牛燕霞, 杨柳, 张洪, 等. 2014. 子牙河干沉积物重金属分布特征和风险评价[J]. 安全与环境学报, 14(1): 253-257.
- 乔敏敏, 季宏兵, 朱先芳, 等. 2013. 密云水库入库河流沉积物中重金属形态分析及风险评价[J]. 环境科学学报, 33(12): 3324-3333.
- 尚林源, 孙然好, 王赵明, 等. 2012. 海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价[J]. 环境科学, 33(2): 606-611.
- 宋学兵, 施泽明, 阚泽忠, 等. 2014. 邛海湖泊表层沉积物重金属来源解析及环境风险评价[J]. 地球与环境, 42(4): 532-539.
- 唐晓娇, 黄瑾辉, 李飞, 等. 2012. 基于盲数理论的水体沉积物重金属污染评价模型[J]. 环境科学学报, 32(5): 1104-1112.
- 田海涛, 胡希声, 张少峰, 等. 2014. 茅尾海表层沉积物中重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 33(2): 187-191.
- 王爽, 李畅游, 史小红, 等. 2012. 乌梁素海沉积物中重金属形态分布特征及污染状况评价[J]. 环境化学, 31(10): 1555-1561.
- 吴斌, 宋金明, 李学刚, 等. 2011. 一致性沉积物质量基准(CBSQGs)及其在近海沉积物环境质量评价中的应用[J]. 环境化学, 30(11): 1949-1956.
- 徐亚岩, 宋金明, 李学刚, 等. 2012. 渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价[J]. 环境科学, 33(3): 732-740.
- 杨辉, 陈国光, 刘红樱, 等. 2013. 长江下游主要湖泊沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 地球与环境, 41(2): 160-165.
- 张海珍. 2012. 应用潜在生态风险指数法评价滇池沉积物中的重金属污染[J]. 地下水, 34(3): 99-101.
- 张杰, 陈熙, 刘倩纯, 等. 2014. 鄱阳湖主要入湖口重金属的分布及潜在风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 23(1): 95-100.
- 张婷, 钟文钰, 曾毅, 等. 2012. 应用生物效应数据库法建立淡水水体沉积物重金属质量基准[J]. 应用生态学报, 23(9): 2587-2594.
- 赵胜男, 李畅游, 史小红, 等. 2013. 乌梁素海沉积物重金属生物活性及环境污染评估[J]. 生态环境学报, 22(3): 481-489.

Research Progress of Risk Assessment of Heavy Metals Pollution in Water Body Sediments

CHEN Ming, CAI Qingyun, XU Hui, ZHAO Ling, ZHAO Yonghong

Jiangxi Key Laboratory of Mining and Metallurgy Environmental Pollution Control, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China

Abstract: Sediments are the main enrichment of heavy metals in water. Risk assessment of heavy metals in sediments is an effective means to understand the pollution status of heavy metals in water. Moreover, it provides a decision making basis for water management departments. This paper analyzes the study object and the assessment criterion of risk assessment of heavy metals in water body sediments. It also summarizes several assessment methods commonly adopted at home and abroad. The risk assessment is conducted mainly in lakes, rivers, reservoirs, and seas. The risk of heavy metal pollution is found more in lakes and rivers than in reservoirs and seas. Heavy metals for risk assessment are Hg, Cd, Cr, Pb, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, and As. More than 90% of the water body sediments in the risk assessment of heavy metals comprised Cu, Zn, and Pb. These heavy metal pollutants are the most extensive, followed by Cd, As, and Cr. The risk of heavy metal W is not taken seriously. The assessment indexes of risk assessment include content, fraction distribution, and spatial distribution. The content of heavy metals is the main assessment index, followed by the spatial distribution characteristics of heavy metals. Analysis on speciation distribution of heavy metals is minimal. The assessment criteria in China are not perfect, and choices of criteria are diverse. The appropriate assessment criteria should be selected according to the assessment purpose and water body condition. Several assessment methods commonly adopted at home and abroad are geoaccumulation index method, enrichment factor method, sediment quality standard method, potential ecological risk index method, pollution load index method, Nemerow index method, and the ratio of secondary and primary phases. The advantages and disadvantages each of these methods are analyzed. Biological effectiveness is not considered in geoaccumulation index method, enrichment factor method, pollution load index method, and Nemerow index method. The potential ecological risk index method takes into account biological toxicology and ecology; however, shortcomings are also found. This paper emphasizes that research on the health risk assessment of toxicity of heavy metals in sediments is minimal. The normalization method and principle of different toxicity data need to be further researched.

Key words: water body sediments; heavy metals; assessment object; assessment criterion; assessment method