

辽河流域水环境沉积物质量风险评估

秦延文, 韩超南, 郑丙辉, 张雷, 曹伟

(中国环境科学研究院国家环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012)

[摘要] 采集辽河流域浑河、太子河干流及大伙房水库共56个站点的表层沉积物样品, 根据相平衡分配法的修正模型建立辽河流域沉积物重金属质量基准(Cu、Pb、Zn、Cd的SQC(基于CCC)分别为75.26 $\mu\text{g/g}$ 、25.72 $\mu\text{g/g}$ 、255.96 $\mu\text{g/g}$ 、2.52 $\mu\text{g/g}$), 依据重金属急、慢性生物毒性风险确定辽河流域沉积物重金属质量三级标准, 并创建沉积物质量风险评估方法——沉积物污染指数法(SPI), 对辽河流域水环境进行沉积物质量风险评估, 评估结果显示: 浑河干流中下游、太子河中上游及大伙房水库库中、库尾处的沉积物质量状况为中风险, 此沉积物重金属污染状况使长期生活在其中的底栖生物受到轻微重金属慢性毒性影响, 其中浑河中游红透山铜矿处和细河上游沈阳工业区的沉积物质量风险极高。

[关键词] 沉积物质量风险评估; 沉积物质量基准; 沉积物质量标准; 沉积物污染指数法; 重金属

[中图分类号] X8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)03-0019-07

1 前言

水体沉积物为重金属的赋存地^[1], 高富集含量的重金属不仅能破坏水底生态环境, 而且由于底质与上覆水体互相频繁的交换作用而成为河流、湖泊和海洋再污染的潜在来源, 所以评估水环境质量风险不但要考虑水质, 而且要考虑沉积物质量。目前国内外已经采用多种沉积物质量评价方法对水体沉积物质量进行评价, 如地累积指数法、沉积物富集系数法、潜在生态危害指数法、次生相与原生相分布比值法等, 因我国尚未制定河流、湖泊等淡水沉积物质量标准, 这些评价方法大多采用当地土壤重金属背景值作为评价的参考标准。如果能够将水体沉积物质量标准值引入到沉积物质量评价中进行评价, 则能大大提高沉积物质量评价结果的准确性。故亟需建立淡水沉积物重金属质量基准及相关标准, 以便更加科学地综合评估水环境质量风险。

沉积物质量基准是指沉积物中污染物对长期生活在其中的特定对象(人或其他生物)不产生不

良或有害影响的最大剂量(无作用剂量)或浓度。相平衡分配法作为数值型沉积物质量基准建立方法的典型代表, 1985年由美国环保局提出^[2,3], 此后荷兰^[4]和英国^[5]也分别利用该法建立沉积物重金属质量基准。相比其他方法, 相平衡分配法具有可靠的理论基础, 充分利用了基于广泛生物实验的水环境质量标准, 间接考虑了污染物的生物有效性, 因而有利于污染物-生物效应间关系的评估, 且不需要大量的生物效应数据, 具有很大的发展潜力^[6]。

该研究以建立的辽河流域沉积物重金属质量基准为依据, 考虑重金属生物毒性风险影响, 初步确定辽河流域水环境沉积物质量标准分级方案, 并创建沉积物污染指数法(SPI)对其沉积物质量风险进行评估, 从而能为辽河流域生态环境质量保护工作提供理论依据, 同时也为其他流域水环境质量风险评估提供参考方法。

2 材料与方法

2.1 样品采集与处理

辽河位于中国东北地区南部, 是中国七大江河

[收稿日期] 2012-12-13

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07528-002)

[作者简介] 秦延文(1973—), 女, 山东青岛市人, 博士, 研究员, 主要研究方向为环境化学; E-mail: qinyw@craes.org.cn

之一,流域总面积达 $2.196 \times 10^5 \text{ km}^2$,河长1 390 km,是中国北方缺水性河流的代表,流经众多城市群,传统重工业相对发达、人口稠密,水体污染问题比较严重。该研究选择辽河流域浑河、太子河及大伙房水库作为研究区域,共设采样站点56个,其中浑河干流26个,太子河13个,大伙房水库17个,采样布点主要分布在流速交换干流、干支流交汇处及排

污口等,具体采样站位如图1所示。

该研究采用抓斗式重力采泥器采集深度0~5 cm的表层沉积物样品,采得样品现场用聚乙烯袋密封,并置于冷冻箱中,然后带回实验室在 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下冷冻干燥保存。待使用沉积物样品时,研磨、自然风干降温,经100目尼龙筛筛滤后进行实验测定分析。

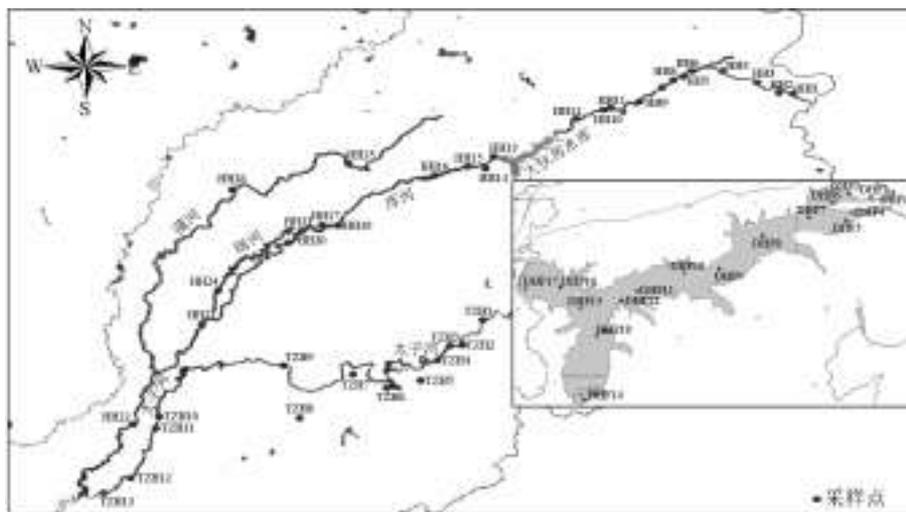


图1 辽河流域采样站位

Fig.1 Locations of sampling in Liaohe River basin

2.2 分析测试方法

沉积物重金属总量测定方法:取0.1 g干燥过筛后的沉积物样品置于微波消解管中,加入3 mL HCl、4.5 mL HNO_3 与1.5 mL HF,利用CEM MARS微波消解仪微波消解,消解完全后将溶液移至聚四氟坩埚,加入1 mL HClO_4 ,于电热板 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 进行多次赶酸,加入2 mL HNO_3 转移至100 mL容量瓶定容,使用ICP-MS(Agilent 7500cx型)进行重金属元素总量测定。

孔隙水重金属总量测定方法:采用5 000 r/min,30 min离心分离新鲜沉积物样品,再经 $0.45 \text{ }\mu\text{m}$ 滤膜过滤得到沉积物孔隙水,然后使用ICP-MS进行重金属元素总量测定。

沉积物重金属形态分析方法:采用改进BCR顺序提取法^[7,8],按加入提取剂种类及提取顺序的不同将沉积物中重金属形态分为4种:醋酸可提取态、可还原态、可氧化态和残渣态。该法稳定性及重现性好,提取精度高,不同研究结果之间可比性强^[9,10]。

酸可挥发性硫化物(AVS)含量测定方法:AVS是指能被1 mol/L酸度的冷盐酸所提取的硫化物,称取1~2 g湿沉积物样品于三口烧瓶中,加入20 mL

1 mol/L的HCl,通入流量为 $40 \text{ cm}^3/\text{min}$ 的 N_2 ,通过测定反应产生挥发性 H_2S 气体的含量来确定AVS含量, H_2S 气体含量测定通过向吸收瓶中加入5 mL对氨基二甲基苯胺二盐酸盐溶液和1 mL硫酸铁铵溶液,定容至100 mL,静置10 min,使用岛津公司UV-1700紫外分光光度计于650 nm处测定吸光值。

每批样品在进行重金属总量及形态分析实验过程中同时做全程空白实验,所有样品均做3次平行实验,各重金属元素总量的相对标准偏差(RSD)均小于5%,各赋存形态含量的标准偏差均小于8%。实验同步分析了由地球物理地球化学勘查研究所生产的水系沉积物成分分析标准物质(GBW07309)和国家地质实验测试中心及中国计量科学研究院生产的湖底沉积物顺序提取微量元素标准物质(GBW07436),Cu、Pb、Zn、Cd的总量和各提取形态的回收率均在80%~120%。

3 沉积物质量风险评估技术体系研究

3.1 沉积物质量基准建立

相平衡分配法基于3个前提假设^[11,12],主要观点

认为当与沉积物处于平衡的孔隙水相中的化学物质浓度达到水质基准时,此时沉积物中化学物质的浓度可视为该物质的沉积物质量基准^[13,14]。

对于重金属污染物,沉积物原生矿物(即残渣态)的重金属非常稳定,一般认为不具有生物有效性^[15,16],不参与沉积相-水相平衡分配过程。该研究将沉积物中醋酸可提取态、可还原态及可氧化态重金属含量之和作为具有直接或潜在生物有效性的重金属质量浓度(ρ_s),参与沉积相-水相平衡分配过程。当沉积物中 AVS 含量较高时,二价重金属 Me^{2+} 易与 S^{2-} 结合形成硫化物沉淀,此部分重金属也不参与沉积物-水相平衡分配过程^[17],故推算沉积物-水相平衡分配系数(K_p)时应当去掉此部分重金属含量。因此,研究认为可将沉积物重金属质量基准计算公式修正如下:

$$K_p = (\rho_s - [M]_{AVS}) / \rho_w \quad (1)$$

$$SQC = K_p \times WQC + [M]_r + [M]_{AVS} \quad (2)$$

式(1)为沉积物-水相平衡分配系数的修正公式。式中: K_p 为重金属的沉积物-水相平衡分配系数,L/g; ρ_w 为孔隙水中重金属质量浓度, $\mu\text{g/L}$; ρ_s 为沉积物中具有直接或潜在生物有效性的重金属质量浓度,即醋酸可提取态、可还原态及可氧化态重金属含量之和, $\mu\text{g/g}$; $[M]_{AVS}$ 为沉积物中与 AVS 结合的重金属含量, $\mu\text{g/g}$ 。式(2)为建立沉积物重金属质量基准的修正公式。式中: SQC 为沉积物重金属质量基准, $\mu\text{g/g}$; $[M]_r$ 为沉积物中残渣态重金属含量, $\mu\text{g/g}$; WQC 为重金属的水质基准, $\mu\text{g/L}$ 。

3.2 沉积物质量标准分级

美国国家环境保护局颁布的《清洁水法》304(a)保护水生生物和人体健康的水质基准中的基准连续浓度(CCC)^[18]是指对长期暴露于该水体浓度下的水生生物不产生不良影响的最大浓度值,亦即不对水生生物产生慢性毒性的最高浓度值;基准最大浓度(CMC)^[18]是指短期暴露于该水体浓度下的水生生物不产生不良影响的最大浓度值,亦即不对水生生物产生急性毒性的最高浓度值。根据相平衡分

配法的基本原理,基于美国 CCC、美国 CMC 分别作为 WQC 可以推算出两种沉积物重金属质量基准,即 SQC (基于 CCC)和 SQC (基于 CMC)。

SQC (基于 CCC)是指长期暴露于该沉积物浓度下的底栖生物不产生不良影响的最大浓度值,其对应的毒理学意义是保护底栖生物不受沉积物重金属慢性毒性风险的影响。该研究选择 SQC 既作为沉积物重金属质量基准值,又作为沉积物重金属质量一级标准。

SQC (基于 CMC)是指短期暴露于该沉积物浓度下的底栖生物不产生不良影响的最大浓度值,其对应的毒理学意义是保护底栖生物不受沉积物重金属急性毒性风险的影响。该研究选择 SQC 作为沉积物重金属质量三级标准。

为了进一步缩小保护底栖生物承受重金属生物毒性风险的影响,该研究依据 SQC (基于 CCC)和 SQC (基于 CMC)对应的毒理学意义,选择 $[SQC$ (基于 CCC)+ SQC (基于 CMC)] $\times 50\%$ 作为沉积物重金属质量二级标准,其对应的毒理学意义就是保护底栖生物不受沉积物重金属急性毒性但承受中等慢性毒性风险的影响。

3.3 沉积物质量风险评估方法

鉴于多种评价方法评价结果均以物理意义较为抽象的数值表示,不便于公众理解沉积物质量风险状况,该研究提出了一种新的沉积物质量评价方法,沉积物污染指数法(SPI),该法采用该研究建立的沉积物重金属质量标准作为参考标准,能准确评估沉积物质量风险水平,并以计分形式定量展示沉积物质量风险状况,直观方便。

沉积物污染指数法基于单因子评价法的评价原则,依据沉积物类别与 SPI 值对应表(见表1)和沉积物重金属质量三级标准的对应关系,用内插法计算得出单一站点沉积物各评价项目的 SPI,然后以评价时段内单个站点沉积物质量评价中最高 SPI 代表单个站点的沉积物质量等级。SPI 法的评价公式如下所述。

表1 沉积物类别与 SPI 值对应表

Table 1 The corresponding table of sediment type and SPI

沉积物类别	I类	II类	III类	IV类
SPI范围	$SPI=10$	$10 < SPI \leq 20$	$20 < SPI \leq 30$	$SPI > 30$

1)沉积物重金属含量未超过IV类沉积物限值时的SPI计算方法:

$$SPI(i) = SPI_L(i) + \frac{SPL(i) - SPL(i)}{\rho_h(i) - \rho_l(i)} \times (\rho(i) - \rho_l(i))$$

$$\rho_l(i) < \rho(i) \leq \rho_h(i)$$

式(3)是沉积物重金属含量未超过IV类沉积物限值时的SPI计算公式,式中: $\rho(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属质量浓度,μg/g; $\rho_l(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属所在类别标准的下限浓度值,μg/g; $\rho_h(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属所在类别标准的上限浓度值,μg/g; $SPL(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属所在类别标准下限浓度值所对应的SPI值; $SPL(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属所在类别标准上限浓度值所对应的SPI值; $SPI(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属所对应的SPI值。

2)沉积物重金属含量超过IV类沉积物限值时的SPI计算方法:

$$SPI(i) = 30 + \frac{\rho(i) - \rho_4(i)}{\rho_4(i)} \cdot 10$$

$$\rho(i) > \rho_4(i)$$

式(4)是沉积物重金属含量超过IV类沉积物限值时的SPI计算公式,式中: $\rho_4(i)$ 为沉积物中第*i*种重金属的IV类标准浓度限值,μg/g。

3)单个站点SPI确定:

$$SPI = \max(SPI(i))$$

式(5)是单个站点SPI计算公式,式中: $SPI(i)$ 为此站点沉积物中第*i*种重金属的沉积物污染指数。

4)单个站点沉积物质量风险定性定量评估。根据单个站点的SPI值,可对单个站点的沉积物质量风险进行定性定量评估。站点SPI值与沉积物类别、沉积物质量、风险状况及相应的颜色表征如表2所示。低风险沉积物表示底栖生物生活在此沉积物中不受重金属慢性生物毒性影响,中风险沉积物表示底栖生物生活在此沉积物中承受着轻微的重金属慢性生物毒性影响,高风险沉积物表示底栖生物生活在此沉积物中承受着严重的重金属慢性生物毒性影响,极高风险沉积物表示底栖生物生活在此沉积物中受到重金属急性生物毒性影响。

表2 单个站点沉积物质量风险定性定量评估

Table 2 Sediment quality risk quantitative assessment of single site

沉积物SPI值	沉积物类别分级	沉积物质量评价	沉积物风险大小	表征颜色
$0 < SPI \leq 10$	I类	优	低风险	绿色
$10 < SPI \leq 20$	II类	中	中风险	黄色
$20 < SPI \leq 30$	III类	差	高风险	蓝色
$SPI > 30$	IV类	很差	极高风险	红色

4 结果与讨论

4.1 辽河流域沉积物重金属质量基准建立

根据美国《清洁水法》304(a)水生生物基准CCC、CMC的计算方法^[19,20],以及辽河流域浑河、太子河、大伙房水库的实测平均水质硬度(分别为122.80 μg/L、148.92 μg/L、122.80 μg/L),计算得到辽河流域Cu、Pb、Zn、Cd的CCC、CMC(见表3)。其中浑河、太子河、大伙房水库区域Zn的CCC分别为140.60 μg/L、165.55 μg/L、140.60 μg/L,远大于我国地表水环境质量标准(GB 3838—2002) I类水体Zn水质基准值为50 μg/L,故该研究将3个区域Zn的水质基准WQC值取50 μg/L,而Cu、Pb、Cd的WQC取美国CCC计算值。

江河沉积物大多数为氧化型沉积物,其中AVS含量很低,此时在相平衡分配法中可以不考虑AVS

的影响^[21]。辽河流域56个沉积物样品进行AVS含量分析,大多数站点沉积物AVS含量检测不出,原因可能是辽河流域水体流动性较好,其沉积物为氧化型沉积物,为了统一应用修正模型,该研究忽略辽河流域沉积物AVS含量。结合辽河流域浑河、太子河和大伙房水库沉积物重金属有效态实测浓度 ρ_s 和孔隙水重金属实测浓度 ρ_{pw} ,忽略酸可挥发性硫化物中重金属含量 $[M]_{AVS}$,由式(1)中计算辽河流域沉积物-水相平衡分配系数 K_p (见表3)。

将辽河流域 K_p 和WQC(CCC),以及实测的沉积物残渣态重金属含量 $[M]_r$,代入式(2)中计算得到辽河流域沉积物重金属质量基准,即SQC(基于CCC)(见表3)。考虑到沉积物重金属质量基准的定义,流域沉积物重金属质量基准值取浑河、太子河和大伙房水库沉积物重金属质量基准值的最小值,Cu、Pb、Zn、Cd的SQC(基于CCC)分别为75.26 μg/g、

25.72 μg/g、255.96 μg/g、2.52 μg/g。

对比该研究建立的辽河流域沉积物重金属质量基准与国内研究结果,我国不同流域沉积物重金属质量基准差异较大,该研究建立的辽河流域沉积物中Cu和Pb的*SQC*(基于*CCC*)略高于邓保乐^[22]建立的辽河沉积物Cu和Pb的*SQC*(基于*CCC*),Cd略低,但Zn的*SQC*(基于GB 3838—3002 I类水质标准)高于邓保乐^[22]建立的辽河沉积物Zn的*SQC*(基于*CCC*)和香港临时沉积物质量基准^[23]。由于特定区域沉积物污染程度差异、沉积物自身地球化学性质差异、沉积物中重金属生物有效性和毒性因素的复杂性等原因,该研究建立的辽河流域沉积物重金

属质量基准值可能并不是非常精确,但该基准值与国内研究结果在同一数量级内,具有一定的可比性,能为我国流域水环境质量基准、标准管理工作提供相对可靠的理论数据,具有较强的参考性。

4.2 辽河流域沉积物重金属质量标准分级

依据沉积物重金属质量基准*SQC*(基于*CCC*)的推算方法,基于辽河流域美国*CMC*的计算值,推算辽河流域沉积物重金属质量三级标准*SQC*(基于*CMC*),如表3所示。根据本研究确定的沉积物重金属质量标准分级方案,辽河流域沉积物重金属质量三级标准,如表4所示。

表3 辽河流域沉积物重金属质量基准

Table 3 Sediment quality criteria of heavy metal in Liaohe River basin

	研究区域	Cu	Pb	Zn	Cd
$K_p(L \cdot g^{-1})$	浑河	12.16	4.42	4.01	8.14
	太子河	4.88	13.88	6.89	9.74
	大伙房水库	13.03	21.59	4.90	16.65
$WQC(CCC)/(\mu g \cdot L^{-1})$	浑河	10.67	3.15	50	0.28
	太子河	12.59	3.87	50	0.32
	大伙房水库	10.67	3.15	50	0.28
$WQC(CMC)/(\mu g \cdot L^{-1})$	浑河	16.31	80.71	139.45	2.46
	太子河	19.56	99.35	164.21	2.97
	大伙房水库	16.31	80.71	139.45	2.46
$[M]_R/(\mu g \cdot g^{-1})$	浑河	16.25	11.81	55.44	0.21
	太子河	13.79	6.09	56.94	0.15
	大伙房水库	23.59	9.71	104.44	0.06
$SQC(\text{基于 } CCC)/(\mu g \cdot g^{-1})$	浑河	146.01	25.72	255.96	2.52
	太子河	75.26	59.82	401.48	3.30
	大伙房水库	162.72	77.61	349.21	4.79
$SQC(\text{基于 } CMC)/(\mu g \cdot g^{-1})$	浑河	214.51	368.65	614.72	20.22
	太子河	109.31	1 384.90	1 188.46	29.02
	大伙房水库	236.16	1 752.06	787.14	41.00
该研究建立的辽河流域 <i>SQC</i> (基于 <i>CCC</i>)/($\mu g \cdot g^{-1}$)		75.26	25.72	255.96	2.52
该研究建立的辽河流域 <i>SQC</i> (基于 <i>CMC</i>)/($\mu g \cdot g^{-1}$)		109.31	368.65	614.72	20.22
辽河 <i>SQC</i> (基于 <i>CCC</i>)/($\mu g \cdot g^{-1}$) ^[22]		52.8	18.9	177.7	5.42
嘉陵江 <i>SQC</i> (基于 <i>CCC</i>)/($\mu g \cdot g^{-1}$) ^[24]		196	405	494	68
香港临时沉积物质量基准 ISQG-low/($\mu g \cdot g^{-1}$) ^[23]		65	75	200	1.5

注:该研究取浑河、太子河、大伙房水库沉积物中Cu、Pb、Zn、Cd的*SQC*(基于*CCC*)和*SQC*(基于*CMC*)最小值(加粗字体数字)分别作为整个辽河流域沉积物4种重金属质量基准值*SQC*(基于*CCC*)和质量三级标准值*SQC*(基于*CMC*)

表4 辽河流域沉积物重金属质量标准

Table 4 Sediment quality standard of heavy metal in Liaohe River basin

沉积物重金属质量标准		一级	二级	三级
标准来源	$SQC(基于 CCC)$		$[SQC(基于 CCC)+SQC(基于 CMC)] \times 50\%$	$SQC(基于 CMC)$
Cu	75.26		92.29	109.31
Pb	25.72		197.18	368.65
Zn	255.96		435.34	614.72
Cd	2.52		11.37	20.22
毒理学依据	沉积物中重金属含量能够保护底栖生物不受慢性毒性风险的影响		沉积物中重金属含量能够使底栖生物不受急性毒性风险而承受慢性毒性风险的影响	沉积物中重金属含量能够保护底栖生物不受急性毒性风险的影响

4.3 辽河流域沉积物质量风险评估

利用辽河流域沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cd 重金属

的实测总量,采用创建的沉积物污染指数法,对辽河流域沉积物进行质量风险评估(见图2)。

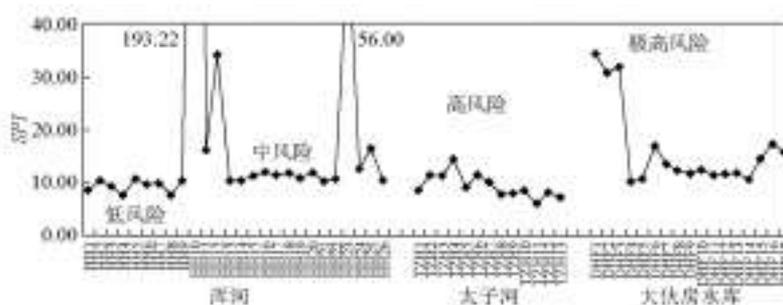


图2 辽河流域沉积物质量风险评估结果

Fig.2 Sediment quality risk assessment in sediments of Liaohe River basin

注:SPI为无量纲量

浑河干流上游沉积物质量状况为低风险,进入红透山铜矿区(HH10至HH12)急转为极高风险,经过大伙房水库的沉降使得浑河干流中下游沉积物质量变为中风险,受到细河上游沈阳冶炼厂(HH-23)的影响沉积物质量状况又突变为极高风险,这说明浑河干流中下游沉积物重金属污染状况使长期生活在其中的底栖生物受到轻微重金属慢性毒性影响。HH-10、HH-12(位于浑河中游)和HH-23(位于浑河中下游)站点沉积物质量风险极高,导致底栖生物严重受沉积物重金属急性毒性影响,这可能是因为HH-10、HH-12临近抚顺市红透山铜矿工业区,HH-23位于细河上游的沈阳铁西区的金属冶炼企业和重工业集中区,大量工业废水排入浑河是造成沉积物重金属超高含量富集,从而沉积物风险极高的主要原因。

太子河干流沉积物质量由中风险变为低风险,可以认为基本为低风险,说明太子河沉积物质量状况较好,但需密切关注中上游TZH-4附近的中风险沉积物站点。经调查,TZH-4为本溪冷轧钢厂所在,其工业废水的排放可能是造成该站点沉积物重金属含量较大,风险相对较高的主要原因。

大伙房水库位于浑河干流HH-12和HH-13之间,红透山铜矿的下游,由于受到浑河入库站点(DHF-1、DHF-2和DHF-3)高风险沉积物的影响,大伙房水库库中和库尾沉积物质量状况为中风险,说明生活在大伙房水库沉积物中的底栖生物正在承受轻微重金属慢性毒性影响。

5 结语

1)根据相平衡分配法修正模型,采用辽河流域

沉积物重金属含量实测值得到沉积物-水相平衡分配系数(K_p),选用美国基准连续浓度(CCC)和我国地表水环境质量标准(GB 3838—2002) I类水体水质标准最小值分别作为水质基准(WQC),建立辽河流域Cu、Pb、Zn、Cd的沉积物质量基准分别为75.26 $\mu\text{g/g}$ 、25.72 $\mu\text{g/g}$ 、255.96 $\mu\text{g/g}$ 、2.52 $\mu\text{g/g}$ 。

2)在辽河流域沉积物重金属质量基准建立的基础上,根据沉积物重金属的急、慢性生物毒性风险高低,进行辽河流域沉积物重金属质量标准分级:一级标准为SQC(基于CCC);二级标准为[SQC(基于CCC)+SQC(基于CMC)] $\times 50\%$;三级标准为SQC(基于CMC)。

3)该研究创建了沉积物污染指数法(SPI),联合沉积物质量基准建立方法、沉积物质量标准分级方案,形成一套完整的沉积物质量风险评估技术体系。该研究采用此体系对辽河流域进行沉积物质量风险评估,评估结果为:浑河干流中下游、太子河中上游及大伙房水库库中、库尾处的沉积物质量状况为中风险,此沉积物重金属污染状况使长期生活在其中的底栖生物受到轻微重金属慢性毒性影响,其中浑河中游红透山铜矿(HH-10、HH-12)和细河上游工业区(HH-23)废水导致其沉积物为极高风险沉积物,使得生活在其中的底栖生物承受重金属急性毒性影响。

参考文献

- [1] 黄延林. 沉积物中重金属释放动力学及试验研究[J]. 环境科学学报, 1995, 15(4): 440-446.
- [2] Adams W J, Kimerle R A, Barnett J W. Sediment quality and aquatic life assessment[J]. Environmental Science Technology, 1992, 26(10): 1865-1875.
- [3] 陈静生, 王飞跃. 关于水体沉积物质量基准问题[J]. 环境化学, 1992, 11(3): 60-70.
- [4] Vanderkooij L A, Vandement D, Vanleeuwen C J, et al. Deriving quality criteria for water and sediment from the results of aquatic toxicity tests and product standards: application of the equilibrium partitioning method[J]. Water Research, 1991, 25(6): 697-705.
- [5] Webster J, Ridgway I. The application of the equilibrium partitioning approach for establishing sediment quality criteria at two UK sea disposal and outfall sites[J]. Marine Pollution Bulletin, 1994, 28(11): 653-661.
- [6] 陈云增, 杨浩, 张振克, 等. 水体沉积物环境质量基准建立方法研究进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(1): 53-61.
- [7] Rauret G F, Lopez-Sanchez J, Sahuquillo A, et al. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials [J]. Journal of Environmental Monitoring, 1999, 1(1): 57-61.
- [8] Davidson C M, Thomas R P, McVey S E, et al. Evaluation of a sequential extraction procedure for the speciation of heavy metals in sediments[J]. Analytical Chemical Acta, 1994, 291(3): 277-286.
- [9] Quevauviller P, Rauret G, López-Sánchez J F, et al. Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure[J]. Science of the Total Environment, 1997, 205(2-3): 223-234.
- [10] Umoren I, Udoh A, Udousoro I, et al. Concentration and chemical speciation for the determination of Cu, Zn, Ni, Pb and Cd from refuse dump soils using the optimized BCR sequential extraction procedure[J]. The Environmentalist, 2007, 27(2): 241-252.
- [11] United States Environmental Protection Agency. Briefing report to the EPA Science Advisory Board on the equilibrium partitioning approach to generating sediment quality criteria[R]. Washington D. C.: EPA2440252892002, 1989.
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration. The utility of AVS/EqP in hazardous waste site evaluations[R]. Washington D. C.: NOSORCA 87, Seattle, 1995.
- [13] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水环境质量基准、标准与流域水污染物总量控制策略[J]. 环境科学研究, 2006, 19(3): 1-6.
- [14] United States Environmental Protection Agency. Office of Water of Science and Technology, Draft implementation framework for the use of equilibrium partitioning sediment quality guideline[R]. Washington D. C.: 2000, 4217.
- [15] Burton G A, Jr. Sediment sampling and analysis plan- West Branch Grand Calumet River 1993 sediment toxicity test data summaries [R]. USA: United States Environmental Protection Agency, 1993.
- [16] Chapman P M, Wang F, Adams W J, et al. Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids[J]. Environmental Science and Technology, 1999, 33(22): 3937-3941.
- [17] Hansen D J, Berry W J, Mahony J D, et al. Predicting the toxicity of metal contaminated field sediments using interstitial concentrations of metals and acid-volatile sulfide normalizations[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1996, 15(12): 2080-2094.
- [18] United States Environmental Protection Agency. National recommended water quality criteria correction[R]. Washington D. C.: United States Environmental Protection Agency, 1999.
- [19] United States Environmental Protection Agency. National recommended water quality criteria[R]. EPA 822-R-02-047, 2002.
- [20] 夏青, 陈艳卿, 刘宪兵. 水质基准与水质标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [21] 方涛, 徐小清. 应用平衡分配法建立长江水系沉积物金属相对质量基准[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(4): 525-531.
- [22] 邓保乐, 祝凌燕, 刘慢, 等. 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, 2011, 24(1): 33-42.
- [23] Chapman P M, Allard P J, Vigers G A. Development of sediment quality values for Hong Kong special administrative region: A possible model for other jurisdictions[J]. Marine Pollution Bulletin, 1997, 38(3): 161-169.
- [24] 霍文毅, 陈静生. 我国部分河流重金属水-固分配系数及在河流质量基准研究中的应用[J]. 环境科学, 1997, 4: 10-13.

(下转43页)