

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第2期

Vol.33 No.2

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于人体健康风险的水污染事件污染物安全阈值研究 郑丙辉, 罗锦洪, 付青, 秦延文, 胡林林 (337)

基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究 罗锦洪, 郑丙辉, 付青, 黄民生 (342)

湿地水环境健康评价方法及案例分析 李玉凤, 刘红玉, 郝敬锋, 郑因, 曹晓 (346)

北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价 单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 张洪 (352)

漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别 徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 于伟东, 程燕平 (359)

黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用 安乐生, 赵全升, 叶思源, 刘贯群, 丁喜桂 (370)

沉积物扰动持续时间对悬浮物中磷形态数量分布的影响 李大鹏, 黄勇, 李勇, 潘杨 (379)

沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响 王立志, 王国祥, 俞振飞, 周贝贝, 陈秋敏, 李振国 (385)

长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价 卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 黄国忠, 胡文 (393)

洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究 张文斌, 余辉 (399)

降雨对农家堆肥氮磷流失的影响及其面源污染风险分析 彭莉, 王莉玮, 杨志敏, 陈玉成, 乔俊婧, 赵中金 (407)

浅水湖泊水动力过程对藻型湖区水体生物光学特性的影响 刘笑菡, 冯龙庆, 张运林, 赵林林, 朱梦圆, 时志强, 殷燕, 丁艳青 (412)

基于半分析模型的太湖春季水体漫衰减系数 K_d (490) 估算及其遥感反演 刘忠华, 李云梅, 李瑞云, 吕恒, 檀静, 郭宇龙 (421)

基于 QAA 算法的巢湖悬浮物浓度反演研究 张红, 黄家柱, 李云梅, 徐伟凡, 刘忠华, 徐昕 (429)

好氧/厌氧潜流湿地结构工艺优化 李锋民, 单时, 李媛媛, 李扬, 王震宇 (436)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻活性氧自由基的影响 别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 王震宇 (442)

Rac-及 S-异丙甲草胺对 2 种微藻毒性特征影响研究 蔡卫丹, 刘惠君, 方治国 (448)

羟基自由基致死船舶压载水海洋有害生物研究 白敏冬, 张拿慧, 张芝涛, 陈操, 孟祥盈 (454)

天然菱铁矿改性及强化除砷研究 赵凯, 郭华明, 李媛, 任燕 (459)

零价铁降解 4-氯硝基苯动力学研究 廖娣劫, 杨琦, 李俊琦 (469)

水体中氧氟沙星的光化学降解研究 邵萌, 杨桂朋, 张洪海 (476)

阿替洛尔在硝酸根溶液中的光降解研究 季跃飞, 曾超, 孟翠, 杨曦, 高士祥 (481)

吡啶在紫外光辐射下的生物降解 方苗苗, 阎宁, 张永明 (488)

蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化 朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军 (495)

ϵ -聚赖氨酸生产废菌体对六价铬吸附影响的研究 曹玉娟, 张扬, 夏军, 徐虹, 冯小海 (499)

丝状菌污泥致密过程的强化条件研究 李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌 (505)

亚硝化颗粒污泥对温度变化的响应特性研究 罗远玲, 杨朝晖, 徐峥勇, 周玲君, 黄毓, 肖勇, 曾光明, 汪理科 (511)

我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究 李东玲, 吴焯, 周昱, 杜让, 傅立新 (518)

北京市 PM_{10} 自动监测网络优化研究 齐玲, 赵越, 谢绍东 (525)

道路绿化带对街道峡谷内污染物扩散的影响研究 徐伟嘉, 幸鸿, 余志 (532)

Fe^{II} (EDTA) 络合协同 RDB 去除 NO 废气效能及过程分析 陈浚, 杨宣, 於建明, 蒋轶锋, 陈建孟 (539)

UV-B 辐射对亚热带森林凋落叶氮、磷元素释放的影响 宋新章, 张慧玲, 江洪, 余树全 (545)

干热河谷林地燥红土固碳特征及“新固定”碳表观稳定性 唐国勇, 李昆, 孙永玉, 张春华 (551)

九龙江河口表层水体及沉积物中甲烷的分布和环境控制因素研究 郭莹莹, 陈坚, 尹希杰, 孙治雷, 邵长伟 (558)

秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 CH_4 通量特征及影响因素研究 姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广 (565)

我国典型非木浆造纸二噁英排放研究 王志芳, 丁琼, 王开祥, 吴昌敏, 曲云欢, 赵晓冬 (574)

典型电器工业区河涌沉积物中的多溴联苯醚空间和垂直分布 邱孟德, 邓代永, 余乐洹, 孙国萍, 麦碧娴, 许玫英 (580)

电子废物拆解区农业土壤中多氯联苯的污染特征 王学彤, 李元成, 张媛, 缪绎, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (587)

北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险 彭驰, 王美娥, 欧阳志云, 焦文涛, 陈卫平 (592)

上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价 柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 庄腾飞, 施振香, 卢小遮 (599)

海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价 尚林源, 孙然好, 王赵明, 汲玉河, 陈利顶 (606)

三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价 王业春, 雷波, 杨三明, 张晟 (612)

超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中细菌群落结构分析 叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝健, 蔡明山, 许燕滨, 占星星 (618)

大庆聚驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究 赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 高梦黎, 李国强, 朱旭东, 马挺 (625)

不同碳源刺激对老化污染土壤中 PAHs 降解研究 尹春芹, 蒋新, 王芳, 王聪颖 (633)

应用电致化学发光分子探针技术对微小原甲藻的检测 朱霞, 甄毓, 米铁柱, 于志刚, 池振明, 路兴岚 (640)

软骨藻酸直接竞争 ELISA 方法的建立及优化 王茜, 程金平, 高利利, 董宇, 席磊 (647)

固相萃取-高效液相色谱法同时测定水体中的 10 种磺胺类抗生素 洪蕾洁, 石璐, 张亚雷, 周雪飞, 朱洪光, 林双双 (652)

五氟酚对 HeLa 细胞毒性及 DNA 损伤的研究 金帮明, 王辅明, 熊力, 张晓峰, 刘堰 (658)

建筑陶瓷碳计量与优化模型研究 彭军霞, 赵宇波, 焦丽华, 曾路, 郑为民 (665)

《环境科学》征订启事 (447) 《环境科学》征稿简则 (475) 信息 (524, 586, 605, 624)

海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价

尚林源^{1,2}, 孙然好^{1*}, 王赵明^{1,2}, 汲玉河¹, 陈利顶¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以海河流域北部地区主要河流为研究对象,采用 Håkanson 潜在生态风险指数法,根据 39 个采样点评价了河流沉积物重金属的潜在生态风险程度.结果表明,以中国大陆沉积物重金属背景值作为参考值,研究区内除 Pb 含量接近背景值外,Cu、Zn、Cd 和 Cr 含量均超出了背景参考值.基于单项重金属的潜在生态风险指数,研究区内采样点 Cu、Pb、Zn 和 Cr 的风险等级属于“轻微”,Cd 则有不同程度的污染,各重金属污染等级排列顺序为 Cd > Pb > Cu > Cr > Zn.基于多种重金属的潜在风险指数,32 个采样点属于“轻微”等级,5 个采样点属于“中等”等级,2 个采样点属于“很强”等级.风险较高的河流为北京汤河、大石河和保定拒马河,表明这些河流是需要加强控制的重点地区.

关键词:重金属;沉积物;生态风险;海河流域;河流

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)02-0606-06

Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China

SHANG Lin-yuan^{1,2}, SUN Ran-hao¹, WANG Zhao-ming^{1,2}, JI Yu-he¹, CHEN Li-ding¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Using Håkanson potential ecological risk index, the paper assesses heavy metal risk levels in northern parts of Haihe River basin based on 39 sampling sites. The results indicate that, the concentrations of Cu, Zn, Cd, and Cr in Haihe River basin are higher than the background values of heavy metals in China mainland, while the concentration of Pb is close to the background value in China mainland. Based on the potential ecological risk index for single heavy metal, the risk of Cu, Pb, Zn and Cr belongs to the “slight” level, while Cd has various risk levels at different sampling sites. Generally, the risk order of the heavy metals is Cd > Pb > Cu > Cr > Zn. According to Håkanson potential ecological risk index, 32 monitoring sites belong to “slight” level, 5 sampling sites belong to “middle” level, and 2 monitoring sites belong to “very strong” level. The most polluted sites are Tang River and Dashi River of Beijing, Juma River in Baoding. Therefore, these rivers should be taken more considerations in the river management.

Key words: heavy metals; sediment; ecological risk; Haihe River basin; river

重金属是自然界中危害较重的一类污染物,由于其危害持久性、较强的生物毒性及生物链的富集放大效应等多种危害而备受关注^[1].重金属污染主要源于自然过程和人类活动,部分重金属会通过水文循环过程进入水体系统,在沉积物中富集,通常含量高于上覆水^[2].因此,河流沉积物通常是重金属的重要汇^[3].在特定条件下造成水体环境因子的扰动后,沉积物中的重金属会重新释放到上覆水中,由“汇”向“源”转化,危害水生生态系统^[1].因此,国内外学者对沉积物中重金属的研究颇为关注^[4-6].

随着人口的快速增长和经济社会的快速发展,海河水资源和环境问题日益突出^[7,8].由于海河流域的重要战略区位因素及污染现状,很多研究集中在海河流域水生生态问题,如水质方面的研究^[9,10],沉积物中有机污染物^[11]、重金属^[12,13]的研究.目前,海河流域内沉积物重金属的研究还是相对较少,

并且研究工作主要集中在天津市内的海河干流,缺少大尺度的沉积物重金属的调查和空间对比分析.因此,本研究选取海河流域北部地区作为重点研究区,初步分析了河流沉积物中几种重金属的特征,并利用潜在生态危害指数评价了该区域河流沉积物重金属的生态风险程度,以为海河流域水生态系统评价和管理提供基础资料.

1 研究区概况

海河流域包括海河、滦河和徒骇马颊河三大水

收稿日期: 2011-04-01; 修订日期: 2011-06-17

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002); 国家杰出青年基金项目(40925003); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2008-1)

作者简介: 尚林源(1985~),男,硕士研究生,主要研究方向为景观生态学, E-mail: tripus2010@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: rhsun@cees.ac.cn

系,地跨北京、天津、河北等 8 个省(自治区、直辖市),流域总面积 31.8 万 km²,是我国七大流域之一,同时也是我国政治文化中心所在地,在我国国民经济中占

有举足轻重的地位.所选取的研究区为海河流域北部地区,主要包括滦河流域和桑干河流域,在行政区划上,主要有北京、天津、河北和山西,如图 1.

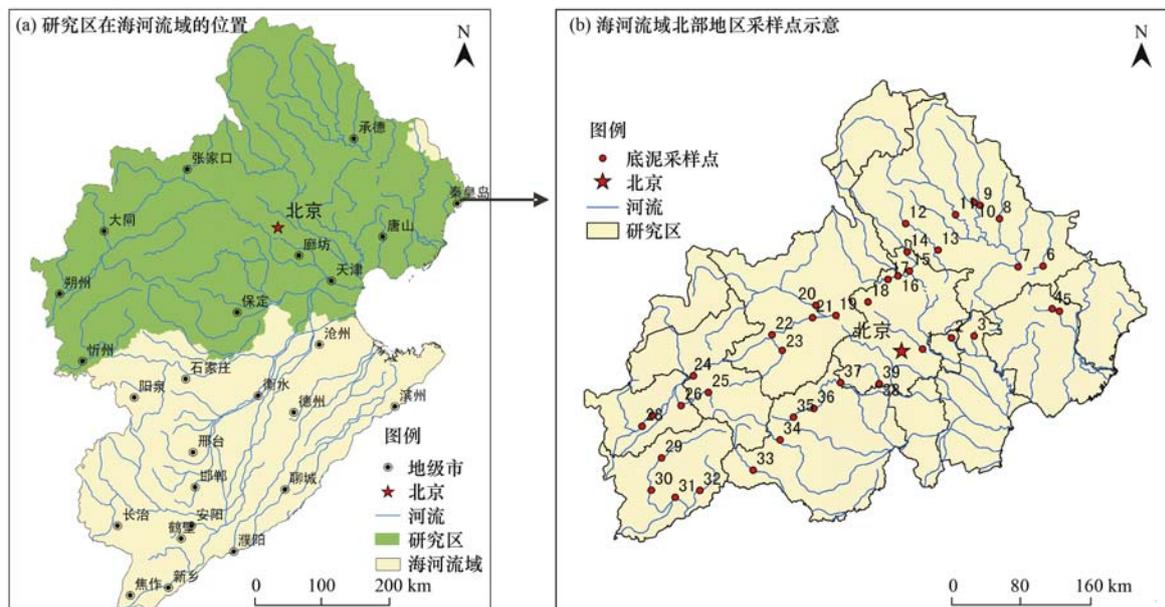


图 1 研究区采样点布设示意

Fig. 1 Location of sampling sites in Haihe River basin

2 样品采集分析及评价方法

2.1 样品采集

在研究区共设 39 个采集点,采用 GPS 定位(如图 1).在 2010 年 6 月,采用抓斗式底泥采样器抓取表层底泥后,混合泥样装入自封袋内,贴上标签带回实验室分析.

2.2 样品分析及测定

将采集的样品置于阴凉通风处自然风干,剔除砾石等,碾磨过 100 目筛备用. Cu、Pb、Zn、Cr 采用浓硝酸、氢氟酸和高氯酸消解,采用 ICP-OES 测定; Cd 用浓硝酸、氢氟酸和高氯酸消解,采用 ICP-MS 测定. 样品测定由中国科学院地理科学与资源研究所完成.

2.3 评价方法

采用 Hakanson^[14] 1980 年提出的潜在生态风险评价方法定量计算重金属的潜在生态风险指数,根据表 1 评判重金属的风险等级. 评价公式为:

单个重金属污染系数 C_f^i :

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i \quad (1)$$

单个重金属的潜在生态风险系数, E_f^i :

$$E_f^i = T_s^i \times C_f^i \quad (2)$$

沉积物多种重金属潜在生态风险指数, RI:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_f^i \quad (3)$$

式中, C_f^i :第 i 种重金属的污染系数; C_s^i :第 i 种重金属的实测含量; C_n^i :第 i 种重金属的参照值; T_s^i :第 i 种重金属的毒性响应系数; E_f^i :第 i 种重金属的潜在生态风险系数; RI:综合潜在生态风险指数.

表 1 单个重金属潜在生态风险系数及生态风险指数的危害等级

Table 1 Pollution grade for the single heavy metal E_f^i

and potential ecological risk index RI		
E_f^i	RI	生态风险程度
< 40	< 150	轻微
40 ~ 80	150 ~ 300	中等
80 ~ 160	300 ~ 600	强
160 ~ 320	≥ 600	很强
≥ 320		极强

由于采样点分布范围较大,因此选取中国大陆沉积物背景值作为标准,具体各元素的平均含量如表 2 所示^[15],然后计算每个采样点的重金属污染等级.

3 结果与讨论

3.1 重金属含量分析

所有采样点重金属含量值如表 3 所示. Cu、Pb、

Zn、Cd、Cr 的含量范围分别为 10.51 ~ 362.1、9.44 ~ 177、22.88 ~ 2594.86、0.09 ~ 2.88、16.69 ~ 305.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；平均值分别为 47.83、25.00、176.78、0.42、107.81 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。对比中国大陆沉积物重金属背景值,研究区内 Pb 含量接近背景值,其它的重金属较背景值都有不同程度的升高;Cu 的含量约是背景值的 2 倍;Zn 的含量约是背景值的 3 倍;Cd 的含量约是背景值的 4 倍;Cr 的含量约是背景值的 1.5 倍。

各种重金属含量的峰值主要有:Cu 含量较高

的分别为采样点 4 和采样点 36;Pb 只有在采样点 36 达到峰值;Zn 有多个峰值,有采样点 1、8、14、15、19、20、24、25、35、36、38、39。这些采样点的共同特征是靠近城镇,如采样点 20 附近有电厂及化工厂。

表 2 重金属元素的背景参考值及毒性响应系数

重金属元素	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
背景含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	20	25	66	0.1	70
毒性响应系数 T_r^i	2	5	1	30	2

表 3 研究区采样点的重金属含量

Table 3 Heavy metal concentrations of the sampling sites in the study area

序号	地市	河流名称	重金属含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$				
			Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
1	北京	温榆河	59.30	28.81	177.72	0.35	89.67
2	廊坊	洵河	46.81	11.28	47.90	0.12	131.50
3	天津	蓟运河	30.41	20.02	53.61	0.26	142.00
4	唐山	滦河	165.40	26.27	99.88	0.32	209.90
5	唐山	滦河	61.77	20.33	52.58	0.15	60.56
6	承德	瀑河	24.68	20.33	47.04	0.16	95.28
7	承德	柳河	28.07	13.09	42.28	0.37	54.74
8	承德	武烈河	69.69	18.75	125.83	0.24	190.10
9	承德	伊逊河	34.54	25.10	91.25	0.38	106.80
10	承德	蚂蚁吐河	15.86	18.52	50.20	0.40	43.67
11	承德	滦河	10.51	12.85	26.94	0.12	27.08
12	承德	潮河	10.72	15.21	22.88	0.09	16.69
13	承德	潮河	65.61	20.18	105.58	0.28	117.50
14	北京	汤河	22.75	28.81	133.97	0.53	86.52
15	北京	汤河	25.73	28.80	134.80	0.70	70.20
16	北京	黑河	24.05	20.84	74.56	0.19	62.32
17	北京	白河	25.51	26.58	62.43	0.29	83.93
18	北京	妫水河	25.07	21.56	76.24	0.34	67.26
19	张家口	永定河	41.13	57.34	145.38	0.59	112.70
20	张家口	洋河	33.04	23.75	125.14	0.41	85.75
21	张家口	桑干河	18.46	12.92	41.25	0.23	76.49
22	张家口	桑干河	16.67	11.31	43.24	0.47	60.78
23	张家口	壶流河	24.70	14.07	62.67	0.24	82.42
24	大同	桑干河	51.46	27.40	213.75	0.36	95.87
25	大同	浑河	26.87	17.14	150.74	0.22	87.19
26	朔州	浑河	45.61	16.98	98.53	0.23	95.10
27	朔州	桑干河	23.18	12.41	43.76	0.24	76.82
28	朔州	桑干河	15.45	9.44	36.14	0.15	58.45
29	忻州	滹沱河	31.25	11.58	39.76	0.18	178.20
30	忻州	滹沱河	52.51	12.45	49.06	0.23	174.00
31	忻州	滹沱河	30.96	26.77	56.61	0.23	126.50
32	忻州	清水河	61.78	11.75	42.03	0.18	156.40
33	保定	大沙河	25.25	12.00	64.97	0.22	110.20
34	保定	唐河	37.75	26.88	69.80	0.37	147.10
35	保定	拒马河	75.02	19.99	239.28	0.67	60.76
36	保定	拒马河	362.10	177.00	447.98	2.39	76.60
37	北京	拒马河	17.34	20.50	72.06	0.29	132.90
38	北京	大石河	60.78	34.61	831.79	0.44	305.40
39	北京	大石河	67.73	41.36	2594.86	2.88	249.30

Cd 含量较高的有采样点 1、9、10、15、19、35、36、39。同样, 这些点也都处于城镇附近: 如采样点 10 在蓝旗镇附近, 采样点 19 处于怀来县附近; Cr 含量较高的有采样点 4、8、39。其中采样点 4 在迁西县, 该县矿产较丰富; 采样点 8、39 则是在城镇附近。

总体而言, 河流表层沉积物重金属的分布特征表现为: 在人类活动强烈的城镇地区污染较严重; 此外, 河边缺乏植被缓冲带并且有平行河流公路的采样点污染也较为严重, 由此说明公路交通带来的重金属经过降雨地表冲刷流入河流, 造成河流底泥

的污染^[16]。另外, 在乡村地段含量较高的采样点可能是点源污染造成的。其中需要特别注意的是, 采样点 36 的 Cu、Pb、Zn、Cd 浓度值都较高, 很可能是当地点源污染造成的。

3.2 基于单项潜在生态风险指数的评价

选取表 2 中国大陆沉积物重金属背景值作为参考值, 根据公式 (1) 和 (2) 计算出每个采样点 5 种重金属的潜在生态风险指数(表 4)。

可以看出, 尽管很多采样点的 Cu、Pb、Zn、Cr 含量超过大陆沉积物背景值, 但是这 4 种重金属的单项重金属生态风险系数都小于 40, 处于“轻微”等

表 4 采样点重金属潜在生态风险指数

Table 4 Potential ecological risk index of heavy metals in the sampling sites

序号	地市	河流名称	单个重金属污染系数					RI
			Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	
1	北京	温榆河	5.93	5.76	2.69	105.03	2.56	121.97
2	廊坊	洵河	4.68	2.26	0.73	35.03	3.76	46.45
3	天津	蓟运河	3.04	4.00	0.81	77.16	4.06	89.08
4	唐山	滦河	16.54	5.25	1.51	96.28	6.00	125.59
5	唐山	滦河	6.18	4.07	0.80	46.23	1.73	59.00
6	承德	瀑河	2.47	4.07	0.71	47.84	2.72	57.81
7	承德	柳河	2.81	2.62	0.64	111.28	1.56	118.90
8	承德	武烈河	6.97	3.75	1.91	72.37	5.43	90.43
9	承德	伊逊河	3.45	5.02	1.38	113.81	3.05	126.72
10	承德	蚂蚁吐河	1.59	3.70	0.76	121.33	1.25	128.63
11	承德	滦河	1.05	2.57	0.41	35.82	0.77	40.62
12	承德	潮河	1.07	3.04	0.35	27.53	0.48	32.47
13	承德	潮河	6.56	4.04	1.60	84.07	3.36	99.63
14	北京	汤河	2.28	5.76	2.03	158.29	2.47	170.83
15	北京	汤河	2.57	5.76	2.04	210.59	2.01	222.97
16	北京	黑河	2.41	4.17	1.13	58.44	1.78	67.93
17	北京	白河	2.55	5.32	0.95	86.50	2.40	97.71
18	北京	妫水河	2.51	4.31	1.16	102.20	1.92	112.10
19	张家口	永定河	4.11	11.47	2.20	176.19	3.22	197.19
20	张家口	洋河	3.30	4.75	1.90	124.31	2.45	136.71
21	张家口	桑干河	1.85	2.58	0.63	69.23	2.19	76.48
22	张家口	桑干河	1.67	2.26	0.66	139.78	1.74	146.11
23	张家口	壶流河	2.47	2.81	0.95	73.24	2.35	81.83
24	大同	桑干河	5.15	5.48	3.24	107.24	2.74	123.84
25	大同	浑河	2.69	3.43	2.28	66.46	2.49	77.35
26	朔州	浑河	4.56	3.40	1.49	68.92	2.72	81.08
27	朔州	桑干河	2.32	2.48	0.66	71.06	2.19	78.72
28	朔州	桑干河	1.55	1.89	0.55	46.18	1.67	51.83
29	忻州	滹沱河	3.13	2.32	0.60	52.97	5.09	64.10
30	忻州	滹沱河	5.25	2.49	0.74	69.79	4.97	83.25
31	忻州	滹沱河	3.10	5.35	0.86	67.56	3.61	80.48
32	忻州	清水河	6.18	2.35	0.64	53.33	4.47	66.96
33	保定	大沙河	2.53	2.40	0.98	65.44	3.15	74.50
34	保定	唐河	3.78	5.38	1.06	110.24	4.20	124.65
35	保定	拒马河	7.50	4.00	3.63	199.77	1.74	216.63
36	保定	拒马河	36.21	35.40	6.79	717.69	2.19	798.28
37	北京	拒马河	1.73	4.10	1.09	87.47	3.80	98.19
38	北京	大石河	6.08	6.92	12.60	131.61	8.73	165.94
39	北京	大石河	6.77	8.27	39.32	862.54	7.12	924.03

级. Cd 的生态风险系数范围从 27.53 ~ 862.54, 有 3 个采样点属于“轻微”等级; 16 个采样点属于“中等”等级; 15 个采样点属于“强”等级; 3 个采样点属于“很强”等级; 2 个采样点属于“极强”等级. 从地区空间分布看(图 2), 风险等级较高的点在人类活动较为剧烈的城镇附近.

总体而言, 研究区重金属污染的严重程度为 $Cd > Pb > Cu > Cr > Zn$.

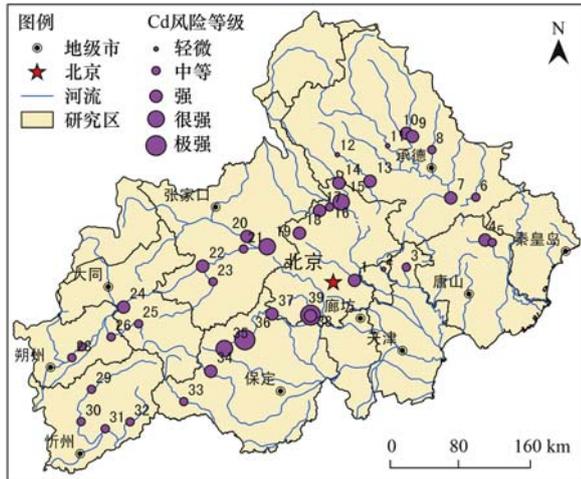


图 2 重金属 Cd 的潜在生态风险等级

Fig. 2 Grades of potential ecological risk for Cd

3.3 重金属潜在生态风险分析

采用瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态风险指数法, 计算得出各采样点的生态风险指数 RI (如表 4 及图 3), 采样点的 RI 值范围为 32.47 ~ 924.03. 其中, 属于 32 个采样点属于“轻微”等级; 5 个采样点属于“中等”等级; 2 个采样点属于“很强”等级.

从图 3 可以看出, 污染最严重等级的 2 个点分别为采样点 36 和采样点 39. 采样点 36 (拒马河) 附近主要为农田, 该处的污染很可能是当地点源污染造成的; 采样点 39 则在北京, 当地工业较多, 采样时样品黑臭, 可能是当地的工业污染造成的.

对于污染等级为“中等”的 5 个点, 其中采样点 35 在涞源县下游; 采样点 38 在北京大石河, 距采样点 39 很近, 可能是同一污染源造成的; 采样点 21 则在怀来县附近; 采样点 14 和 15 都在怀柔区, 做为北京重要的水源保护区, 当地的污染来源可能主要是交通及生活污水.

污染为“中等”及“很强”的 7 个点中: 4 个点在北京, 分别为北部的汤河和南部的大石河; 2 个点在保定, 都位于拒马河; 1 个点在张家口怀来县, 位

于永定河. 这几处河流是需要加强关注的.

另外, 虽然处于“轻微”等级的点有 32 个, 但是其中 10 个点的 RI 值在 100 ~ 150. 这些点所处河段也是需要加强监管的.

总体而言, 在研究区调查的监测点中, 重金属污染水平较轻微. 在一些经过城镇的河流中, 尤其是北京和保定这 2 个地区, 污染较为严重. 这 2 个地区也是需要加强监管的.

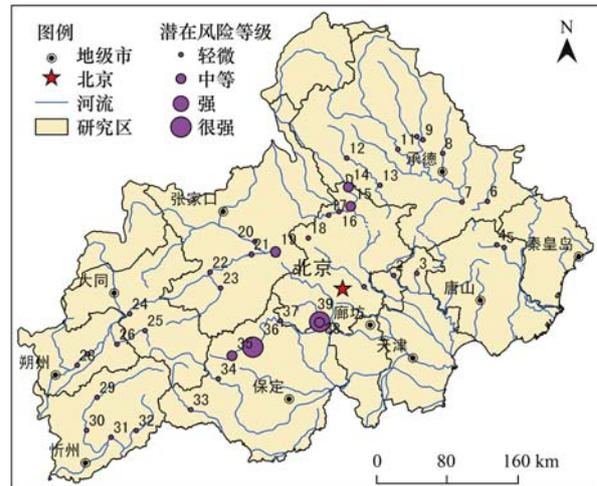


图 3 采样点潜在生态风险等级评价

Fig. 3 Map of potential ecological risk grades for the sampling sites

4 结论

(1) 以中国大陆沉积物背景值作为参考值, 通过 39 个采样点的数据分析表明, 海河流域北部河流沉积物中, 除了 Pb 含量接近背景值外, Cu、Zn、Cd 和 Cr 含量均超出背景参考值.

(2) 根据单项重金属的潜在生态风险指数, 所有采样点 Cu、Pb、Zn、Cr 单项重金属生态风险系数都小于 40, 处于“轻微”等级. 重金属 Cd 只有 3 个点属于“轻微”等级, 其它点都有较重程度的污染. 研究区内, 各重金属元素的污染程度为 $Cd > Pb > Cu > Cr > Zn$.

(3) 根据 5 种重金属的综合评价结果, 32 个采样点属于“轻微”等级, 5 个采样点属于“中等”等级, 2 个采样点属于“很强”等级. 污染较重的在北京汤河和大石河、保定拒马河, 因此, 这些地区的重金属污染需要重点关注和加强控制.

参考文献:

- [1] Hiller E, Jurkovič L, Šutriepka M. Metals in the surface sediments of selected water reservoirs, Slovakia [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2010, 84 (5): 635-640.

- [2] Kaushik A, Kansal A, Santosh, *et al.* Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediments [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **164**(1): 265-270.
- [3] 杨雪贞, 樊曙先, 汤莉莉, 等. 外秦淮河表层底泥中 Pb, Cu 和 Zn 与 PAHs 的复合污染 [J]. *环境化学*, 2008, **27**(4): 520-522.
- [4] Rodríguez-Barroso M R, García-Morales J L, Oviedo M D C, *et al.* An assessment of heavy metal contamination in surface sediment using statistical analysis [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, **163**(1-4): 489-501.
- [5] Salati S, Moore F. Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, **164**(1-4): 677-689.
- [6] 单丽丽, 袁旭音, 茅昌平, 等. 长江下游不同源沉积物中重金属特征及生态风险 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(9): 2399-2404.
- [7] 杨艳霞. 海河流域生态修复需水量的思考 [J]. *水利规划与设计*, 2005, (2): 40-43, 84.
- [8] 水利部海河水利委员会. 海河流域水资源公告 [R]. 2009.
- [9] 张永勇, 王中根, 于磊, 等. Swat 水质模块的扩展及其在海河流域典型区的应用 [J]. *资源科学*, 2009, **31**(1): 94-100.
- [10] 邹志红, 云逸, 王惠文. 两阶段模糊法在海河水系水质评价中的应用 [J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(4): 799-803.
- [11] 干爱华, 刘军, 丁辉, 等. 海河干流表层沉积物中的有机氯农药残留 [J]. *农业环境科学学报*, 2006, **25**(1): 232-236.
- [12] 刘俐, 熊代群, 高新华, 等. 海河及邻近海域表层沉积物重金属污染及其分布特征 [J]. *海洋环境科学*, 2006, **25**(2): 40-44.
- [13] 张淑娜, 刘伟, 王德龙. 海河干流(市区段)表层沉积物重金属污染及变化趋势分析 [J]. *干旱环境监测*, 2008, **22**(3): 129-133.
- [14] Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, **14**(8): 975-1001.
- [15] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 356-357.
- [16] 李贺, 石峻青, 沈刚, 等. 高速公路雨水径流重金属出流特性 [J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2009, **39**(2): 345-349.

CONTENTS

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	ZHENG Bing-hui, LUO Jin-hong, FU Qing, <i>et al.</i> (337)
Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	LUO Jin-hong, ZHENG Bing-hui, FU Qing, <i>et al.</i> (342)
A Quantitative Method and Case Analysis for Assessing Water Health	LI Yu-feng, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (346)
Temporal and Spatial Variation of Nitrogen and Phosphorus and Eutrophication Assessment in Downstream River Network Areas of North Canal River Watershed	SHAN Bao-qing, JIAN Yu-xiang, TANG Wen-zhong, <i>et al.</i> (352)
Spatiotemporal Variation Analysis and Identification of Water Pollution Sources in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, TANG Fang-fang, <i>et al.</i> (359)
Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta	AN Le-sheng, ZHAO Quan-sheng, YE Si-yuan, <i>et al.</i> (370)
Impacts of Sediment Disturbance Time on the Distribution of Phosphorus Forms in Suspended Solids	LI Da-peng, HUANG Yong, LI Yong, <i>et al.</i> (379)
Influence of Submerged Macrophytes on Phosphorus Transference Between Sediment and Overlying Water in the Growth Period	WANG Li-zhi, WANG Guo-xiang, YU Zhen-fei, <i>et al.</i> (385)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China	LU Shao-yong, XU Meng-shuang, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (393)
Vertical Distribution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Lake Hongze	ZHANG Wen-bin, YU Hui (399)
Effects of Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Loss from Courtyard Compost and Its Risk of Nonpoint Source Pollution	PENG Li, WANG Li-wei, YANG Zhi-min, <i>et al.</i> (407)
Effects of Hydrodynamic Process on Bio-optical Properties in Algal-Dominated Lake Region of Shallow Lake	LIU Xiao-han, FENG Long-qing, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> (412)
Estimation and Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient $K_d(490)$ in Lake Taihu in Spring Based on Semi-analytical Model	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, LI Rui-yun, <i>et al.</i> (421)
Monitoring the Total Suspended Matter of Lake Chaohu Based on Quasi-Analytical Algorithm	ZHANG Hong, HUANG Jia-zhu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (429)
Optimization of Aerobic/Anaerobic Subsurface Flow Constructed Wetlands	LI Feng-min, SHAN Shi, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (436)
Effects of Allelochemical Dibutyl Phthalate on <i>Gymnodinium breve</i> Reactive Oxygen Species	BIE Cong-cong, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (442)
Toxicity Effects of <i>Rac</i> - and <i>S</i> -Metolachlor on Two Algae	CAI Wei-dan, LIU Hui-jun, FANG Zhi-guo (448)
Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals	BAI Min-dong, ZHANG Na-hui, ZHANG Zhi-tao, <i>et al.</i> (454)
Modification of Natural Siderite and Enhanced Adsorption of Arsenic	ZHAO Kai, GUO Hua-ming, LI Yuan, <i>et al.</i> (459)
Kinetic Study of 4-Chloronitrobenzene Degradation by Zero-Valent Iron	LIAO Di-jie, YANG Qi, LEE Chun-chi (469)
Photochemical Degradation of Ofloxacin in Aqueous Solution	SHAO Meng, YANG Gui-peng, ZHANG Hong-hai (476)
Photodegradation of Atenolol in Aqueous Nitrate Solution	JI Yue-fei, ZENG Chao, MENG Cui, <i>et al.</i> (481)
Biodegradation of Pyridine Under UV Irradiation	FANG Miao-miao, YAN Ning, ZHANG Yong-ming (488)
Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, <i>et al.</i> (495)
Biosorption of Chromium (VI) by Waste Biomass of ϵ -Poly-L-lysine Fermentation	CAO Yu-juan, ZHANG Yang, XIA Jun, <i>et al.</i> (499)
Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge	LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, <i>et al.</i> (505)
Effect of Temperature on the Response Characteristics of Shortcut Nitrification Granular Sludge	LUO Yuan-ling, YANG Zhao-hui, XU Zheng-yong, <i>et al.</i> (511)
Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China	LI Dong-ling, WU Ye, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (518)
Optimization of PM ₁₀ Monitoring Network in Beijing	QI Ling, ZHAO Yue, XIE Shao-dong (525)
Effect of Greenbelt on Pollutant Dispersion in Street Canyon	XU Wei-jia, XING Hong, YU Zhi (532)
Investigation of Effect and Process of Nitric Oxide Removal in Rotating Drum Biofilter Coupled with Absorption by Fe ^{II} (EDTA)	CHEN Jun, YANG Xuan, YU Jian-ming, <i>et al.</i> (539)
Effect of UV-B Radiation on Release of Nitrogen and Phosphorus from Leaf Litter in Subtropical Region in China	SONG Xin-zhang, ZHANG Hui-ling, JIANG Hong, <i>et al.</i> (545)
Characteristics of Carbon Sequestration and Apparent Stability of New Sequestered Carbon in Forested Torrid Red Soil at Dry-Hot Valley	TANG Guo-yong, LI Kun, SUN Yong-yu, <i>et al.</i> (551)
Spatial Distribution of Methane in Surface Water and Sediment of Jiulongjiang Estuary and the Effect Environment factors of It	GUO Ying-ying, CHEN Jian, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> (558)
Methane Fluxes and Controlling Factors in the Intertidal Zone of the Yellow River Estuary in Autumn	JIANG Huan-huan, SUN Zhi-gao, WANG Ling-ling, <i>et al.</i> (565)
Study on Dioxin Emission for Typical Non-Wood Pulp Making in China	WANG Zhi-fang, DING Qiong, WANG Kai-xiang, <i>et al.</i> (574)
Horizontal and Vertical Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediment from a Typical Electrical Equipment Industrial Area	QIU Meng-de, DENG Dai-yong, YU Le-huan, <i>et al.</i> (580)
Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (587)
Characterization and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Green Space Soils of Educational Areas in Beijing	PENG Chi, WANG Mei-e, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (592)
Spatial Variability and Evaluation of Soil Heavy Metal Contamination in the Urban-transect of Shanghai	LIU Yun-long, ZHANG Li-jia, HAN Xiao-fei, <i>et al.</i> (599)
Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China	SHANG Lin-yuan, SUN Ran-hao, WANG Zhao-ming, <i>et al.</i> (606)
Concentrations and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals at Different Water-level Altitudes in the Draw-down Areas of the Three Gorges Reservoir	WANG Ye-chun, LEI Bo, YANG San-ming, <i>et al.</i> (612)
Analysis of Community Structure on Sludge Aerobic/anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (618)
Research on Population Structure and Distribution Characteristic of Indigenous Microorganism in Post-polymer-Flooding Oil Reservoir	ZHAO Ling-xia, GAO Pei-ke, CAO Mei-na, <i>et al.</i> (625)
Study on Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with Different Additional Carbon Sources in Aged Contaminated Soil	YIN Chun-qin, JIANG Xin, WANG Fang, <i>et al.</i> (633)
Detection of <i>Proocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller with the Electrochemiluminescence-Molecular Probe	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (640)
Development of Direct Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Domoic Acid	WANG Qian, CHENG Jin-ping, GAO Li-li, <i>et al.</i> (647)
Simultaneous Determination of 10 Sulfonamide Antibiotics in Water by Solid-phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography	HONG Lei-jie, SHI Lu, ZHANG YA-lei, <i>et al.</i> (652)
Effects of Pentachlorophenol on DNA Damage and Cytotoxicity of HeLa Cells	JIN Bang-ming, WANG Fu-ming, XIONG Li, <i>et al.</i> (658)
Modeling of Carbon Dioxide Measurement and Optimization on Building Ceramic Industry	PENG Jun-xia, ZHAO Yu-bo, JIAO Li-hua, <i>et al.</i> (665)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年2月15日 33卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 2 Feb. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@reeces. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@reeces. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行