

通州区河流沉积物重金属污染评价

伍娟丽^{1,2}, 王永刚^{1,2,3}, 王旭^{1,2}, 徐菲^{1,2}, 董婧^{1,2}

(1.北京市环境保护科学研究院, 北京 100037;

2.国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037;

3.天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 为了解通州区河流沉积物重金属污染现状, 保障区域水生态安全, 采集了 11 条主要河流 25 个沉积物样品, 测定了重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd 和 Cu 的含量, 采用地累积指数法、潜在生态风险指数法对重金属污染程度及潜在生态风险进行了评价。结果表明: (1) 全区沉积物重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 平均含量为 0.673、6.27、24.40、78.60、0.25、45.80 mg/kg, 总体高于中国水系沉积物平均值; (2) 全区重金属平均地累积指数为 Hg(1.53) > Cr(0.75) > Cu(0.38) > Cd(0.11) > Pb(-0.77) > As(-0.90), 沉积物主要受 Hg、Cr、Cu、Cd 污染; 北运河污染最为严重, 主要来源于工业废水及城市污水的排放; (3) 全区重金属平均潜在生态风险系数为 Hg(336) > Cd(63) > Cu(12) > As(9) > Cr(5) ≈ Pb(5), Hg 具有极强生态危害; 通州全区潜在生态风险指数 RI=430, 其中北京城市副中心 RI=633, 重金属生态危害更为严重。研究结果能够为通州区的河流底泥治理及生态修复提供科学依据。

关键词: 沉积物; 重金属; 地累积指数; 潜在生态风险指数; 通州区

中图分类号: X502 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2020)01-0071-08

随着城市的发展及工业化进程的加速, 工业和生活排水携带大量污染物进入水体并逐渐累积于河流沉积物中(Peng et al, 2009); 在适宜条件下, 沉积物中的污染物会通过扩散、解吸等方式重新释放进入上覆水体, 成为威胁水质的重要二次污染源(Dexter et al, 2004)。沉积物中污染物主要包括有机物、氮磷营养物质及重金属等, 其中重金属具有难降解、易在食物链中富集等特点(Radha et al, 1997), 对水生态系统威胁严重, 引起了国内外学者的高度重视。研究者对河流、湖泊、河口海湾等水体沉积物中的重金属污染及生态危害开展了大量研究, 常用的重金属评价方法主要有地累积指数法、潜在生态风险指数法等(Ouchir et al, 2016; Raknuzzaman et al, 2016; Yan et al, 2016)。地累积指数法可以在扣除环境背景值的基础上反映工业化以来人为排放的重金属在沉积物中的累积程度; 潜在生态风险指数法则同时考虑了重金属含量与其生态毒性, 不仅能反映单种重金属的生态危害, 还能

反映多种重金属的综合生态效应。

北京城市副中心承担着调整北京空间格局、疏解北京非首都功能、推动京津冀协同发展的重大使命, 其规划范围为原通州新城规划建设区, 总面积约 155 km², 外围控制区即通州全区约 906 km²。通州区委、区政府力求将通州建设成为“以水为魂、以绿为韵、水城共融”的生态城市, 水环境综合治理及水生态环境改善是北京城市副中心建设的重要内容之一。目前, 通州区正着力加强水环境综合整治, 大力推进水系景观建设, 对通州区河流沉积物中重金属元素污染现状进行调查与评价是水环境整治及改善的前提, 现有研究中对北京城市副中心河流沉积物重金属污染的研究报道较少, 尚不足以为通州区的水环境整治提供科学支撑。本研究旨在全面了解北京城市副中心(通州)河流沉积物中重金属的污染现状, 并采用地累积指数法及潜在生态风险指数法对重金属的污染程度及潜在生态风险进行评价, 以期能为北京城市副中心的水环境治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

通州区位于北京市东南部、永定河和潮白河冲洪积扇中下部, 境内地势平坦, 地处“九河下稍”, 是北京市主要的泄洪区和污水排放区, 境内有潮白河和北运河两大水系, 潮白河水系有潮白河、运潮减

收稿日期: 2017-12-20

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-001-01)。

作者简介: 伍娟丽, 1989年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为水污染防治技术。E-mail: fivewjl@126.com

通信作者: 王永刚, 1978年生, 男, 副研究员, 研究方向为水污染防治技术与规划。E-mail: edward8848@163.com

河,北运河水系主要有北运河、凉水河、通惠河、萧太后河、凤港减河、温榆河等。

1.2 沉积物样品采集

2016年9-10月对通州区的11条主要河流表层沉积物进行采样,考虑河流长度、采样间距以及采样便捷性等因素,共设置采样点25个(采样点位置见图1,其中虚线内的为城市副中心规划范围内的采样点,共10个)。用不锈钢抓泥斗采集河流表层沉积物样品,密封并低温保存,使用前经拣选、风干、研磨、过筛等处理后备用。

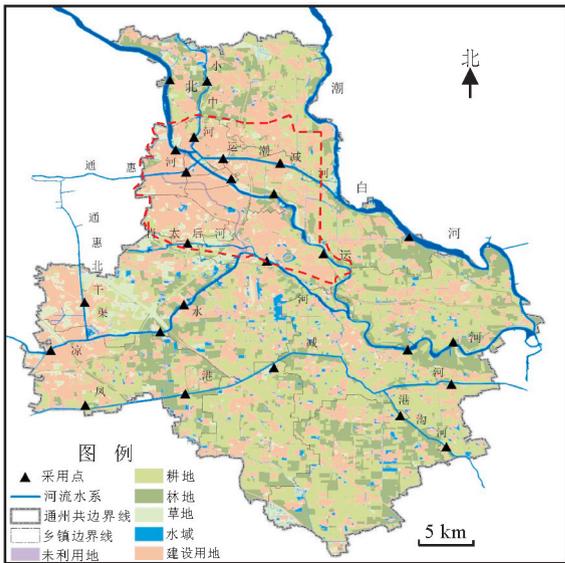


图1 通州区河流沉积物采样点位置

Fig.1 Sampling sites for river sediments in Tongzhou district

1.3 样品分析

主要监测项目为 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 共6种重金属,同时还测定了沉积物中有机质、铵态氮、硝态氮、全氮、全磷及有效磷等的含量作为辅助分析。其中,Hg、As测定参照《土壤和沉积物汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解 原子荧光法》(HJ 680-2013),Pb、Cd测定参照《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141-1997),Cr测定参照《土壤 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法》(HJ 491-2009),Cu测定参照《土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法》(GB/T 17138-1997),有机质测定参照《土壤检测 土壤有机质的测定》(NY/T 1121.6-2006),全磷测定参照《土壤全磷测定法》(NY/T 88-1988),有效磷测定参照《森林土壤磷的测定》(LY/T 1232-2015)中的比色法,全氮测定参照《土壤全氮测定法(半微量开氏法)》(NY/T 53-1987),硝态氮测定参照《森林

土壤氮的测定》(LY/T 1228-2015)中的酚二磺酸比色法,铵态氮测定参照《森林土壤氮的测定》(LY/T 1228-2015)中的靛酚蓝比色法。

1.4 评价方法

1.4.1 地累积指数法 地累积指数(I_{geo})计算公式(Muller, 1969)如下:

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (K \times B_i)] \quad (1)$$

式中: C_i 是重金属实测值(mg/kg); K 是由于不同地区岩石地质差异而取的修正系数(一般为1.5); B_i 为重金属背景值(mg/kg),本研究参考陈同斌等(2004)对北京地区土壤重金属元素背景值的研究结果以及环境背景数值手册(李健等,1988)的数据,见表1。地累积指数分级标准见表2。

表1 土壤重金属元素背景值(C_i)及其毒性系数(T_i)

Tab.1 Background values (C_i) and toxicity coefficients (T_i) of heavy metals in Beijing area soils

项目	Hg	As	Pb	Cr	Cd	Cu
背景值	0.08	7.09	24.60	29.80	0.119	18.70
毒性系数	40	10	5	2	30	5

表2 地累积指数(I_{geo})分级标准

Tab.2 Rankings for the geoaccumulation index (I_{geo})

分级标准	级别	污染程度
$I_{geo} \leq 0$	0	无污染
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	轻度-中度污染
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	中度污染
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	中度-强污染
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	强污染
$4 < I_{geo} \leq 5$	5	强-极强污染
$I_{geo} > 5$	6	极强污染

1.4.2 潜在生态风险指数法 潜在生态风险指数(RI)计算公式(Hakanson, 1980)如下:

$$E_i = T_i \times C_i / B_i \quad (2)$$

$$RI = \sum E_i \quad (3)$$

式中: E_i 为重金属潜在生态风险系数; T_i 为重金属毒性系数(Forstner, 1989),见表2;RI为采样点位的潜在生态风险指数,反应多种重金属的综合生态危害。 E_i 和RI的分级标准见表3。

表3 潜在生态风险系数(E_i)和潜在生态风险指数(RI)分级标准

Tab.3 Ranking criteria for the potential ecological risk coefficient (E_i) and the potential ecological risk index (RI)

生态风险系数	生态风险程度	生态风险指数	生态风险程度
$E_i < 40$	轻度	$RI < 150$	轻度
$40 \leq E_i < 80$	中等	$150 \leq RI < 300$	中等
$80 \leq E_i < 160$	较强	$300 \leq RI < 600$	较强
$160 \leq E_i < 320$	很强	$RI \geq 600$	很强
$E_i \geq 320$	极强		

2 结果与分析

2.1 重金属含量

通过采样分析得出北京市通州区河流沉积物中不同采样点的重金属含量范围值, Hg: 0.040 ~ 2.860 mg/kg, As: 2.49 ~ 13.50 mg/kg, Pb: 2.8 ~ 55.9 mg/kg, Cr: 39.2 ~ 146.0 mg/kg, Cd: 0.049 ~

1.030 mg/kg, Cu: 14.1 ~ 206.0 mg/kg。通州区重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 平均含量分别为 0.673、6.27、24.40、78.60、0.25、45.80 mg/kg, 其重金属变异系数分别为 118%、44%、43%、31%、84%、86%, 其中 Hg、Cd、Cu 变异系数较大, 表明其受人类活动影响较大。通州区不同采样点河流沉积物重金属含量见表 4。

表 4 通州河流沉积物重金属含量

Tab.4 Heavy metal content of river sediments in the Tongzhou district

序号	河流	采样点位置	重金属含量/mg · kg ⁻¹					
			Hg	As	Pb	Cr	Cd	Cu
1	北运河	宋梁路桥	2.860	12.00	55.9	146.0	0.580	206.0
2	北运河	玉带河东街	2.600	13.50	34.4	67.1	1.030	67.3
3	北运河	武窑桥	0.181	4.09	20.9	70.3	0.188	14.1
4	北运河	觅西路	1.190	6.96	25.8	87.0	0.302	67.8
5	北运河	胡郎路	0.724	6.91	27.6	102.0	0.314	55.9
6	潮白河	武兴路(候谭线)	0.073	2.85	25.6	72.5	0.103	17.3
7	凤港减河	张凤路	0.079	6.31	5.9	60.2	0.134	33.5
8	凤港减河	觅西路	0.516	6.41	20.8	76.8	0.087	30.6
9	凤港减河	马朱路	1.380	4.79	27.5	104.0	0.413	93.8
10	凤港减河	九德路	0.163	3.84	19.1	123.0	0.181	36.8
11	港沟河	德觅路(罗庄桥)	0.226	4.28	21.7	93.4	0.120	25.0
12	港沟河	永觅路(老槐庄桥)	0.615	5.21	2.8	45.8	0.308	58.2
13	凉水河	张凤路	0.411	8.47	22.4	81.0	0.113	24.7
14	凉水河	九德路	0.175	3.09	20.8	68.3	0.117	21.6
15	凉水河	激马路(辛房路)	0.985	7.37	42.7	94.3	0.464	65.3
16	凉水河	六环九德路西边	0.040	2.49	15.3	39.2	0.090	14.7
17	通惠灌	六环高古庄西侧	0.077	7.00	22.8	47.7	0.148	35.9
18	通惠河	新华南路	0.097	2.88	25.8	46.1	0.067	14.6
19	温榆河	徐尹路	0.098	9.06	21.2	75.0	0.049	23.5
20	温榆河	朝阳北路	0.514	5.56	30.6	76.4	0.326	40.0
21	萧太后河	九德路(萧太后桥)	0.972	7.72	26.7	76.5	0.331	42.1
22	小中河	徐尹路	0.195	7.64	25.1	70.9	0.107	30.4
23	小中河	朝阳北路	0.402	5.95	19.0	75.1	0.235	34.2
24	运潮减河	宋梁路	0.185	3.75	18.7	75.7	0.225	22.4
25	运潮减河	芙蓉东路	2.060	8.51	30.9	91.2	0.209	69.0

2.2 重金属污染地累积指数评价

通州区河流沉积物中重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 的地累积指数平均值分别为 1.53、-0.90、-0.77、0.75、0.11、0.38, 大小排序为 Hg > Cr > Cu > Cd > Pb > As。从平均值来看, Hg 的污染最为严重, 处于 2 级(中等)污染水平; Cr、Cu 和 Cd 处于 1 级(轻度-中等)污染水平; As 和 Pb 基本无污染。

沉积物 Hg、Cr、Cu 和 Cd 污染的地累积指数空间分布见图 2, 污染最为严重的河流为北运河, 特别是在北运河城区段, 该段 Hg 的污染最强达到了 5 级(即强-极强污染水平), Cd 最强达到了 3 级(即中等-强污染水平); 全区污染较为严重的河流还有

凤港减河、运潮减河、凉水河及萧太后河。

2.3 重金属潜在生态风险评价

通州区 25 个河流沉积物样品中, 重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 的平均潜在生态风险系数 (E_r) 分别为 336、9、5、5、63、12; 其中 Hg 元素具有极强生态风险, Cd 具有中等生态风险, 其余重金属的生态风险均为轻度。通州全区潜在生态风险指数 $RI = 430$, 总体上具有较强生态危害。从监测的 11 条河流的潜在生态风险指数(表 5)来看, 北运河($RI = 925$)、运潮减河($RI = 648$)具有很强的生态危害, 萧太后河($RI = 601$)、凤港减河($RI = 349$)具有较强的生态危害。

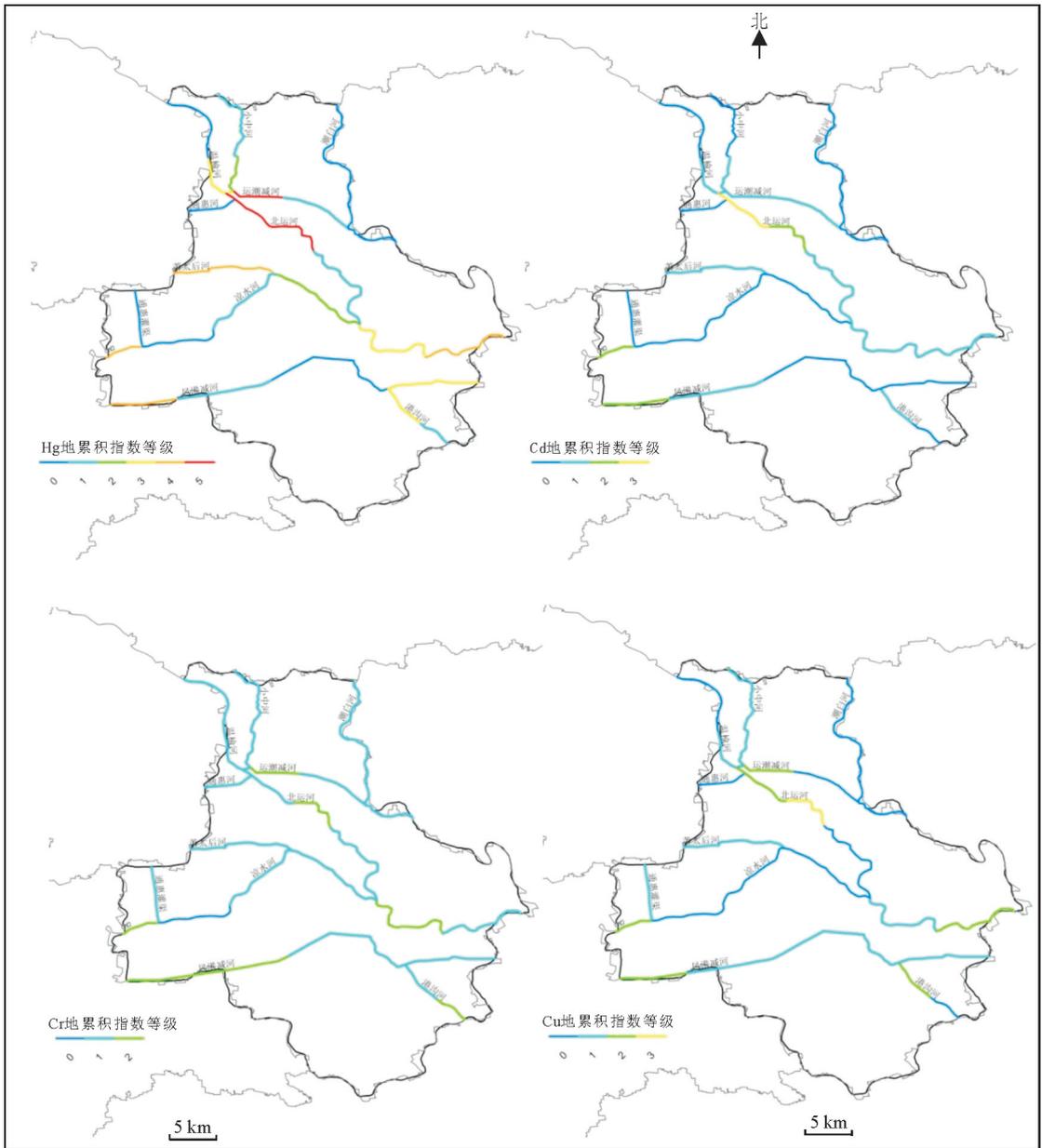


图2 通州河流沉积物重金属Hg、Cd、Cr和Cu的地累积指数等级

Fig.2 Pollution distribution of Hg, Cd, Cr and Cu in river sediments of Tongzhou district

表5 通州河流沉积物重金属潜在生态风险系数(E_i)

Tab.5 Potential ecological risk coefficients (E_i) of heavy metals in river sediments of Tongzhou district

河流	监测点 位数	重金属潜在生态风险系数(E_i)						RI	生态风险 等级
		Hg	As	Pb	Cr	Cd	Cu		
北运河	5	756	12	7	6	122	22	925	很强
潮白河	1	37	4	5	5	25	5	81	轻度
凤港减河	4	267	8	4	6	51	13	349	较强
港沟河	2	210	7	2	5	54	11	289	中等
凉水河	4	201	8	5	5	49	8	276	中等
通惠灌渠	1	39	10	5	3	38	10	105	轻度
通惠河	1	49	4	5	3	18	4	83	轻度
温榆河	2	153	10	5	5	48	9	230	中等
萧太后河	1	486	11	5	5	83	11	601	很强
小中河	2	149	10	4	5	44	9	221	中等
运潮减河	2	561	9	5	6	55	12	648	很强

3 讨论

3.1 不同地区沉积物重金属污染水平比较

为了更直观地了解通州区沉积物重金属污染水平,参考北京市土壤背景值、土壤环境质量标准以及其他研究成果进行对比分析(表 6)。北京市重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 的土壤背景值分别为 0.080、7.09、24.6、29.8、0.119、18.7 mg/kg,通州区河流沉积物中 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 的含量最大值分别为 2.860、13.50、55.9、146.0、1.030、206.0 mg/kg,最大超标倍数分别为 35.75、1.90、2.27、4.90、8.66、11.02,各种重金属均有不同程度的累积。

《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 的二级标准分别为 0.5、25、300、300、0.6、100 mg/kg,通州区河流沉积物中重金属 Hg、Cu 和 Cd 超标,其最大超标倍数分别为 5.72、1.72、2.06;超标率(所有监测数据中超标数占总监测数的百分比)分别为 44%、4%、4%。

根据鄢明才等(1995)的研究,全国水系沉积物中重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 平均含量分别为 0.042、9.1、25、58、0.14、21 mg/kg,通州区河流沉积

物中重金属 Hg、Cr、Cd、Cu 含量分别是中国水系沉积物平均值的 16.02、1.36、1.79、2.18 倍;参考朱青青等(2012)的研究结果,黄河水系沉积物中重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 平均含量分别为 0.2、12.94、21.42、51.34、0.31、21.81 mg/kg,长江水系沉积物中重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 平均含量分别为 0.098、8.1、27.72、74.6、0.3、40.47 mg/kg,通州区河流沉积物中 Hg、Cr、Cu 含量是黄河水系的 3.37、1.54、2.10 倍,是长江水系的 6.87、1.06、1.13 倍。

与北京市主要河流相比,通州区沉积物重金属含量总体水平与北京市中心城的含量(王永刚等,2017)相差不大,Cr、Cd 的含量小于海河流域北部平均值(尚林源等,2012),Pb 和 Cu 接近海河流域北部平均值。

与中国中部及南方地区的河流相比,通州区沉积物重金属含量总体低于湘江(彭利等,2009)、北江(许振成等,2009)等河流,主要是因为湘江以及粤北地区拥有较丰富的矿产资源,受采矿等工业活动的影响重金属污染较严重。通州区沉积物重金属含量与海口等城市相比处于较高水平,因为海口城市水体受工业活动的影响相对较小。

表 6 通州区河流沉积物重金属含量与其他研究的对比

Tab.6 Comparison of the heavy metal contents in sediments between Tongzhou district and other areas of China

序号	参考项目	重金属含量/mg·kg ⁻¹						参考文献	
		Hg	As	Pb	Cr	Cd	Cu		
1	参考	北京市土壤背景值	0.08	7.09	24.6	29.8	0.119	18.7	陈同斌等,2004;李健等,1988 《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)
2	标准	土壤二级质量标准	0.50	25	300	300	0.60	100	
3	主要水系	中国水系沉积物平均值	0.042	9.10	25.00	58.00	0.14	21.00	鄢明才等,1995
4		黄河水系	0.20	12.94	21.42	51.34	0.31	21.81	朱青青等,2012
5		长江水系	0.098	8.10	27.72	74.60	0.30	40.47	朱青青等,2012
6	北方	海河流域北部	-	-	25.00	25.00	0.42	47.83	尚林源等,2012
7		北京市中心城	0.670	6.01	31.1	31.1	0.29	45	王永刚等,2017
8		通州区	0.673	6.27	24.4	24.4	0.25	45.8	本文
10	中部	湘江长沙段	1.11	66.5	128.3	156.7	19.42	61.3	彭利等,2009
11		杭州	-	36.70	55.34	-	3.61	165.16	丁涛等,2015
12		北江中上游	0.92	99.0	267	131	23.5	205	许振成等,2009
13	南方	海口	0.16	3.26	51.7	87.3	0.17	26.3	杨奕等,2016

3.2 沉积物重金属污染来源与相关性分析

单保庆等(2011)研究认为北运河和凤港减河沉积物中重金属的累积与历史上的工业污染有关;通州区工业在 1997-2010 年期间经历了较大的发展,此期间萧太后河等河岸两侧分布着药厂、造纸厂等诸多工业企业,其废水直接排放进入河道;研究表明,北京南郊工业区以及西郊首钢厂矿的工业废水通过暗管排入凉水河并流入通州下游河段(王玉红,2008)。

沉积物中重金属的同源性可以通过其元素之间

的相关分析确定(李军,2008)。Pearson 相关性分析结果见表 7,Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 相互之间除 Cr-Cd 及 Cr-As 外,两两之间均存在显著相关,表明沉积物中重金属元素有着相同的来源。主成分分析可以进一步分析变量的来源信息(Aris et al, 2014),以 Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu 重金属含量为变量进行主成分分析,结果表明,大于 1 的特征根仅 1 个(4.092),其累积方差贡献率为 68.2%,各重金属元素均在第一主成分上有较大载荷量,也说明重金属的来源相同,主要来源于工业废水及城市污水。

表7 通州河流沉积物重金属元素之间的相关性分析

Tab.7 Correlation analysis between heavy metals in river sediments of Tongzhou district

指标	Hg	As	Pb	Cr	Cd	Cu
Hg	1					
As	0.745**	1				
Pb	0.695**	0.543**	1			
Cr	0.518**	0.334	0.629**	1		
Cd	0.812**	0.654**	0.540**	0.302	1	
Cu	0.834**	0.590**	0.689**	0.680**	0.603**	1
有机质	0.600**	0.443*	0.605**	0.555**	0.601**	0.761**
全磷	0.604**	0.530**	0.487*	0.310	0.774**	0.488*
有效磷	0.677**	0.626**	0.462*	0.399*	0.599**	0.629**
全氮	0.529**	0.493*	0.379	0.130	0.759**	0.304
铵态氮	0.145	0.188	0.030	-0.047	0.067	0.200
硝态氮	0.338	0.328	0.174	0.078	0.405*	0.234

注: **表示 $P < 0.01$ 显著水平(双尾); *表示 $P < 0.05$ 显著水平(双尾)。

Note: ** highly significant difference ($P < 0.01$, two-tailed); * significant difference ($P < 0.05$, two-tailed).

研究表明,有机质的含量和成分是决定沉积物中重金属分布的重要因素之一(Borg et al, 1996)。由表7可知,沉积物中有机质与Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu均存在显著相关,这表明重金属元素可能易与有机质通过表面吸附生成重金属-有机络合物,从而从水体中移出并吸附与表层沉积物颗粒中(孙钦帮等,2017);沉积物中重金属与全磷和有效磷的相关性较大,而与氮元素(特别是无机氮)相关性极小,表明这些重金属可能与磷元素存在吸附、络合、沉淀等交互作用。研究表明,含磷材料还可以用于修复重金属污染,显著降低重金属溶出、转移及其生物可利用性(龙梅等,2006)。

3.3 城市副中心与通州区沉积物重金属污染对比

城市副中心规划范围内重金属Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu平均含量分别为1.03、7.24、28.5、80.5、0.330、53.4 mg/kg,各元素含量均高于通州全区。城市副中心重金属Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu地累积指数平均值分别为2.27、-0.71、-0.45、0.79、0.51、0.44,均高于通州全区;从地累积指数的空间分布情况来看,位于城市副中心规划范围内北运河城区段的重金属污染最为严重。城市副中心重金属Hg、As、Pb、Cr、Cd、Cu平均潜在生态风险系数(E_i)分别为514、10、6、5、84、14,均高于通州全区。城市副中心潜在生态风险指数 $RI=633$,总体上具有很强生态危害,高于通州全区。以上结果均表明,城市副中心河流沉积物重金属污染程度高于通州全区平均水平,生态危害相比通州其他区域更为严重。

城市副中心重金属造成的生态危害中,Hg的生态危害最为严重,其对潜在生态风险指数的贡献率为81.2%,这与王馨慧等(2016)的研究结果一致,该研究指出,凉水河沉积物中Hg的潜在生态风险程度处于很高水平;此外,Cd生态危害也较严重,其对潜在生态风险指数的贡献率为13.3%,这与王立硕等(2015)的研究也是相符的,该研究表明,凉水河沉积物中的Cd的富集系数较高(该文中未测量Hg)。通州正在着力建设“水城共融”的生态城市,城市副中心是其核心区域,该范围内的水生态危害应当引起足够的重视,特别是Hg、Cd元素的污染。

参考文献

- 陈同斌,郑袁明,陈煌,等,2004.北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J].环境科学,25(1):117-122.
- 单保庆,管宇翔,张洪,2011.北运河下游沉积物中重金属污染特征及评价[J].安全与环境学报,11(6):141-145.
- 丁涛,田英杰,刘进宝,等,2015.杭州市河道底泥重金属污染评价及环保疏浚深度研究[J].环境科学学报,35(3):911-917.
- 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:55.
- 李军,2008.湘江长株潭段底泥重金属污染分析与评价[D].长沙:湖南大学:93.
- 龙梅,胡锋,李辉信,等,2006.低成本含磷材料修复环境重金属污染的研究进展[J].环境污染治理技术与设备,7(7):1-10.
- 彭利,罗钰,朱奕,等,2009.湘江长沙段沉积物重金属污染状况及潜在生态风险评价[J].环境研究与监测,22(3):1-4.
- 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.
- 孙钦帮,张冲,乌立国,等,2017.广东红海湾表层沉积物重金属含量的空间分布特征与污染状况评价[J].生态环境学报,26(5):843-849.
- 王立硕,毕见霖,王馨慧,等,2015.非常规水源补给城市河流表层沉积物重金属污染及风险评价[J].环境科学学报,35(3):903-910.
- 王馨慧,单保庆,唐文忠,等,2016.典型城市河流表层沉积物中汞污染特征与生态风险[J].环境科学学报,36(4):1153-1159.
- 王永刚,伍娟丽,王旭,等,2017.北京市中心城河流表层沉积物重金属污染评价[J].南水北调与水利科技,15(6):74-80.
- 王玉红,2008.北京市凉水河污灌区土壤重金属污染研究[D].北京:北京林业大学:64.

- 许振成,杨晓云,温勇,等,2009. 北江中上游底泥重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. 环境科学,30(11):3262-3268.
- 鄢明才,迟清华,顾铁新,等,1995. 中国各类沉积物化学元素平均含量[J]. 物探与化探,19(6):468-472.
- 杨奕,马荣林,张固成,等,2016. 海口城市水体底泥重金属含量分布、形态特征及环境质量评价[J]. 生态科学,35(1):179-188.
- 朱青青,王中良,2012. 中国主要水系沉积物中重金属分布特征及来源分析[J]. 地球与环境,40(3):305-313.
- Aris A Z, Puad N H A, Shafie N A, et al, 2014. The chemometric approach as a useful tool in the identification of metal pollution sources of Riverine-Mangrove sediment of Kota Marudu, Sabah, Malaysia[J]. Environment Asia,7(2):70-78.
- Borg H, Jonsson P, 1996. Large-scale metal distribution in Baltic Sea sediments[J]. Marine Pollution Bulletin, 32(1):8-21.
- Dexter K S, Ward N J, 2004. Mobility of heavy metals within freshwater sediments affected by motorway storm water [J]. Science of the Total Environment, 334 /335:271-277.
- Forstner U, 1989. Lecture notes in earth sciences (contaminated sediments)[M]. Berlin: Springer Verlag:107-109.
- Hakanson L, 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Research, 14(8):975-1001.
- Muller G, 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geo Journal, 2(3):108-118.
- Ouchir N, Aissa L B, Boughdiri M, et al, 2016. Assessment of heavy metal contamination status in sediments and identification of pollution source in Ichkeul Lake and rivers ecosystem, northern Tunisia[J]. Arabian Journal of Geosciences, 9:539-550.
- Peng J F, Song Y G, Yuan P, 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment[J]. Journal of Hazardous Materials, 161(4):633-640.
- Radha R, Tripathi R M, Vinod K A, et al, 1997. Assessment of Pb, Cd, Cu and Zn exposures of 6-to 10-year-old children in Mumbai[J]. Environmental Research, 80:215-221.
- Raknuzzaman M, Ahmed M K, Islam M S, et al, 2016. Assessment of trace metals in surface water and sediment collected from polluted coastal areas of Bangladesh[J]. Journal of Water and Environment Technology, 14(4):247-259.
- Yan N, Liu W B, Xie H T, et al, 2016. Distribution and assessment of heavy metals in the surface sediment of Yellow River, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 39:45-51.

(责任编辑 万月华)

Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediment of Rivers in Tongzhou District

WU Juan-li^{1,2}, WANG Yong-gang^{1,2,3}, WANG Xu^{1,2}, XU Fei^{1,2}, DONG Jing^{1,2}

(1.Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037,P.R.China;

2.Chinese National Engineering Research Center for Urban Environmental
Pollution Control, Beijing 100037,P.R.China;

3.School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072,P.R.China)

Abstract: Tongzhou district serves as a sub-center of Beijing and is the primary flood and domestic water discharge district of Beijing. There are two river systems (Chaobai and Beiyun) in the district and comprehensive treatment and improvement of the water environment and local ecology is an important issue for the district. In this study, we evaluated the pollution status and ecological risk of heavy metals in the surface sediments of rivers in Tongzhou district using the geoaccumulation index and potential ecological risk index. The objectives were to provide a scientific basis for improving water quality in the area. In September and October of 2016, samples of surface sediments were collected at 25 locations in 11 primary rivers in Tongzhou district and the sediments were analyzed for Hg, As, Pb, Cr, Cd and Cu. The average content of Hg, As, Pb, Cr, Cd and Cu in surface sediments were, respectively, 0.673 mg/kg, 6.27 mg/kg, 24.40 mg/kg, 78.60 mg/kg, 0.25 mg/kg and 45.80 mg/kg, higher than the national average in China. The average geoaccumulation index of each heavy metal followed the order: Hg(1.53) > Cr(0.75) > Cu(0.38) > Cd(0.11) > Pb(-0.77) > As(-0.90), indicating that Cr, Cu and Cd pollution is light and Hg pollution is moderate. The Beiyun River is seriously polluted due to discharge of industrial waste water and municipal sewage to the river. The average potential ecological risk index of each heavy metal followed the order: Hg(336) > Cd(63) > Cu(12) > As(9) > Cr(5) \approx Pb(5), indicating that Cd, Cu, As, Cr and Pb pose only a slight ecological risk while Hg poses a high ecological risk. The average potential ecological risk index of heavy metals for the whole of Tongzhou district was 430, but the risk index was 633 for the core sub-center area, suggesting that the pollution and ecological risk are concentrated in the core sub-center area of Beijing. This study provides scientific evidence for controlling pollution and remediating sediments in rivers of Tongzhou district.

Key words: sediment; heavy metal; geoaccumulation index; potential ecological risk index; Tongzhou district