

大辽河主要污染源重金属特征及污染评价^{*}

常旭^{1,2} 马迎群^{1,2#} 杨晨晨^{1,2} 刘志超^{1,2} 曹伟^{1,2}

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012;

2. 中国环境科学研究院环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012)

摘要 为了解大辽河水环境中重金属污染源及其污染程度, 对大辽河上游来水以及主要排污口的表层水体和表层沉积物主要重金属(Cr、Co、Cd、Mn、Zn、Ni、Cu、Pb、As)浓度进行了研究, 并分别采用综合污染指数评价法和地累积指数评价法对表层水体和表层沉积物污染程度进行了评价。结果表明, 大辽河上游来水中 Cr、Cd、Zn、Cu、As、Pb 元素浓度均低于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) I 类标准规定的限值; 太子河中 Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb 元素浓度较高, 海城河 Mn、As 元素浓度较高; 主要排污口水体中 Cr、Cu、As、Cd、Pb 元素浓度均低于 GB 3838—2002 的 I 类标准规定的限值, 其中纱厂潮沟、港监潮沟排污口水体重金属浓度较高。大辽河沉积物重金属浓度表现出自上游向下游递减的特征, 西潮沟、港监潮沟排污口沉积物重金属浓度高于其他排污口。综合污染指数评价法表明, 大辽河水质情况较好, 太子河存在较高的潜在污染风险; 而地累积指数评价法表明, 大辽河主要汇入河流和主要污染源沉积物重金属污染程度大多为清洁, 只有西潮沟排污口沉积物中 As 处于轻度污染, 需要引起注意。

关键词 大辽河 重金属 污染源 污染评价

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2015.05.007

Characteristic and pollution assessment of heavy metals pollution in the primary pollution source of the Daliao River CHANG Xu^{1,2}, MA Yingqun^{1,2}, YANG Chenchen^{1,2}, LIU Zhichao^{1,2}, CAO Wei^{1,2}. (1. National Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Estuarine and Coastal Environment, Water Research Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012)

Abstract: The aim of this article is to explore the source and level of heavy metals pollution in the water environment of the Daliao River. Concentrations of Cr, Co, Cd, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb and As in overlying water and sediments from sewage outfalls and upstream rivers were analyzed. The complex pollution indices method and geological accumulation index method were used to evaluate the water quality. The results showed that the contents of Cr, Cd, Zn, Cu, As, Pb in upstream water were below "Environmental quality standards for surface water" (GB 3838-2002, grade I); the contents of Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb were higher in the Taizi River, and Mn, As were higher in the Haicheng River; concentrations of Cr, Cu, As, Cd, Pb in the water of outfalls were also below GB 3838-2002, grade I, but the sewage outfalls of Shachang and Gangjian were higher than the others; Concentrations of heavy metals in sediments of the Daliao River decreased from upstream to downstream, and heavy metals in sediments of sewage outfalls of Xi and Gangjian were higher than the other outfalls. The complex pollution indices method showed that the potential pollution risk in the Daliao River was low and a higher potential pollution risk in Taizi River was detected; the geological accumulation index method showed that only As in the sediment of Xi sewage outfall showed slightly polluted, while others were at the unpolluted level.

Keywords: Daliao River; heavy metals; pollution source; pollution assessment

重金属是一种重要的持久性污染物, 不易被微生物降解, 具有累积性效应^[1]。近年来由于城市河流两岸的大量生活废弃物和工业“三废”的排放, 导致自然水体中重金属污染越来越严重^[2]。2009年,

湘江重金属污染轰动一时, 从而掀起了我国治理重金属污染的热潮。近几年, 我国山西的汾河^[3]、洪泽湖^[4]等均出现了较严重的重金属污染。一些发达国家, 例如日本由于20世纪的水俣病、痛痛病等事件,

第一作者: 常旭, 男, 1984年生, 硕士, 工程师, 研究方向为流域水环境管理。# 通讯作者。

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(No.2012ZX07503-002)。

因此对重金属的治理较早。

目前国内外关于水体沉积物重金属研究较多,主要集中在重金属分布规律、污染特征和污染程度评价及来源分析等方面^[5-6]。许多学者认为,沉积物可反映水体状况,是水环境重金属污染的指示剂^[7-10]。重金属通过水-沉积物的交换反应在固液相间形成动态的迁移富集平衡,在一定条件下会重新释放至液相,成为新的污染源^[11]。

大辽河是由太子河和浑河经三岔河汇集后注入,上游流经沈阳、抚顺、本溪、鞍山等城市,下游汇集劳动河经营口入海,全长 94 km,流域面积 1 926 km²。大辽河是渤海辽东湾海域入海量最大的河流,也是目前辽东湾携带污染物最多的河流,其废水和废物的携带量居辽宁省之最,是辽宁省最重要的河流之一。随着近年来经济社会的快速发展,大辽河水质迅速降低。研究表明,大辽河口水体呈富营养和中等营养水平,在远离海岸的海域呈贫营养状态^[12]。LIU 等^[13]发现大辽河 N、P 污染物浓度超过《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅴ类标准规定的限值。WU 等^[14-15]研究发现,大辽河表层沉积物主要重金属如 Cd、Cr、Mn、Ni、Co、Cu、Pb、Zn 总体均表现为无污染。简慧敏等^[16]研究表明,大辽河口 As 污染在我国河口中处于较高水平,2010 年大辽河口的 As 质量浓度介于 1.19~44.10 μg/L,显著高于长江口、珠江口及胶州湾。邵坚等^[17]研究表明,大辽河上游太子河本溪段沉积物重金属污染较严重;胡成等^[18]研究表明,浑河营养盐污染较严重;这两条河流于三岔河汇入大辽河,从而可能大辽河水质产生影响。范英宏等^[19]认为,大辽河水体重金属除了上游悬浮颗粒物携带输入以外,航运和营口市工业、生活污水也可能为主要来源。据调查,大辽河流经的营口市分布着纱厂潮沟、港监潮沟等主要排污口,为大辽河水体的主要点源污染源,然而这些排污口的污染物排放是否对大辽河水质产生影响,笔者目前还未见有相关报道。本研究以大辽河的上游来水和主要排污口为研究对象,分别对大辽河上游来水和主要排污口的表层水体以及表层沉积物的重金属污染状况进行研究,并与我国其他不同水系表层沉积物重金属浓度对比,采用综合污染指数评价法和地累积指数评价法对其表层水体和表层沉积物重金属的污染程度进行评价,为大辽河的科学管理及污染治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与采样点设置

大辽河上游主要汇入河流为浑河、太子河以及太子河支流海城河。浑河多年平均天然径流量为 $31.36 \times 10^8 \text{ m}^3$,太子河多年平均天然径流量为 $44.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[20],海城河近年来平均天然径流量为 $19.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[21]。

选取大辽河上游来水以及周边重要排污口等点源污染源进行针对性采样。采样主要分 2 个部分,第 1 部分在上游主要支流监测断面,分别是浑河、太子河、海城河。其中浑河点位设置在家房镇的浑河大桥(HH)、太子河点位设置在唐马寨镇的唐马桥(TZ),海城河点位设置在牛庄的牛庄大桥(HC)。第 2 部分为污染源监测,在大辽河营口市市区段主要排污口设置采样点。因劳动河位于营口市市区内,可能接纳了沿程污水汇入,故将其作为大辽河的污染源。分别在西部污水处理厂污水排放口(WSTP)、西潮沟排污口(XC)、纱厂潮沟排污口(SC)、港监潮沟排污口(GJ)、营口三征有机化工厂的上游和下游(HGS 和 HGX)以及劳动河感潮河段水闸(LD)设置 7 个采样点。同时为方便比较,分别在大辽河干流的三岔河(DL)、辽河公园(LG)和田庄台(TZT)河段设置采样点。采样时,分别在涨潮、落潮两个时间段进行采样。具体采样点如图 1 所示。

1.2 样品的采集与处理

1.2.1 水样的采集与处理

采用采水器进行表层水样的采集,采集时用河水冲洗 3 遍,每个监测断面分左、中、右 3 点采取多点采集,然后将水样混合,之后用 0.45 μm 滤膜过滤,加浓硝酸酸化至 pH<2,置于 4 ℃冰柜储存待测。

1.2.2 沉积物样品的采集与处理

用重力式抓斗采泥器采集 0~10 cm 的表层沉积物,完全混合均匀后放置于聚乙烯塑料袋,冷冻密封保存。经冷冻干燥机处理后,用研钵磨碎过 100 目筛备用。

1.3 测试方法

1.3.1 水样重金属测定

利用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS,美国 Agilent7500cx 型)测定水样中 Cr、Co、Cd、Mn、Zn、Ni、Cu、Pb、As 等重金属浓度。

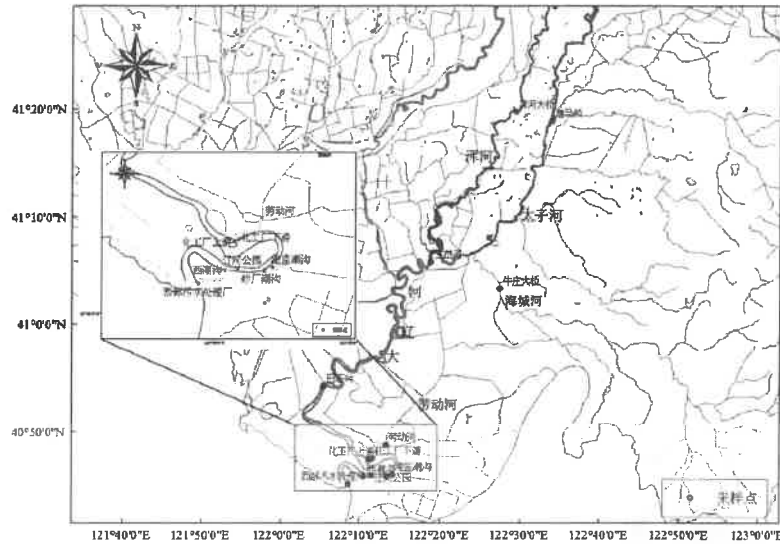


图 1 大辽河采样点布置
 Fig.1 Sampling profile in the Daliao River

表 1 大辽河主要上游来水中重金属质量浓度
 Table 1 Concentrations of heavy metals in upstream water of Daliao River

重金属	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
TZ	1.10	85.09	0.34	2.50	6.34	37.34	0.39	0.47	5.11
HH	0.49	11.43	0.24	2.19	2.43	9.75	1.29	0.33	2.95
HC	0.38	179.90	0.30	1.15	2.56	7.71	4.88	0.03	1.62
DL	0.29	99.18	0.25	1.47	1.39	33.06	0.37	0.04	1.41
GB 3838—2002 的 I 类标准	10	100			10	50	50	1	10

1.3.2 沉积物样品重金属测定

称取 0.100 0 g 沉积物样品置于微波消解管中微波消解。消解完全后,自然冷却至室温,将试液移至 100 mL 容量瓶,加 2 mL 浓硝酸定容,之后利用 ICP-MS 测定沉积物样品中 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 等重金属浓度。

2 结果与讨论

2.1 水体中重金属特征

2.1.1 上游来水特征

大辽河主要上游来水中重金属浓度见表 1。由表 1 可知,Cr 浓度表现如下:太子河>浑河>海城河>三岔河;Co 浓度相差不大,以太子河质量浓度最高,为 0.34 $\mu\text{g/L}$;Cd 浓度表现为:太子河>浑河>三岔河>海城河;海城河水体中 Mn 质量浓度最高,达 179.90 $\mu\text{g/L}$,其次是三岔河和太子河,浑河 Mn 浓度最低;Zn 浓度表现如下:太子河>三岔河>浑河>海城河;Ni、Cu 和 Pb 浓度同样以太子河最高;而海城河含有最高浓度的 As。总体来看,虽然大辽河主要上游来水中各种重金属元素浓度互

有高低,但大多低于 GB 3838—2002 中 I 类标准规定的限值,只有海城河的 Mn 浓度高于 GB 3838—2002 的 I 类标准规定的限值。

2.1.2 主要污染源特征

大辽河主要污染源重金属元素在高低潮水位时的污染特征如表 2 所示。由表 2 可知,Cr 在高低潮水位浓度变化较大,从平均值来看,表现为纱厂潮沟排污口>港监潮沟排污口>西潮沟排污口>西部污水处理厂污水排放口>营口三征有机化工厂的下游>劳动河感潮河段水闸>营口三征有机化工厂的下游。

Mn 浓度以纱厂潮沟排污口和港监潮沟排污口较高,营口三征有机化工厂的下游较低。

Cu 平均质量浓度介于 0.85~3.39 $\mu\text{g/L}$,以营口三征有机化工厂的下游较高。从高低潮水位时间段来看,港监潮沟排污口和西潮沟排污口在高潮水位时的 Cu 浓度较低潮水位时高,而纱厂潮沟排污口则在低潮水位时浓度较高。

Zn 质量浓度以港监潮沟排污口最高,平均值达 60.64 $\mu\text{g/L}$,西部污水处理厂污水排放口浓度最低。

表 2 大辽河主要污染源重金属元素在高低潮水位时的污染特征¹⁾
Table 2 Concentrations of heavy metals in primary pollution source of the Daliao River during the high tide and low tide period

重金属	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
LD-low	0.21	156.80	0.33	2.69	2.91	16.43	7.28	0.01	0.55
LD-high	0.44	176.40	0.40	3.20	2.13	42.08	5.88	0.17	2.03
GJ-low	0.85	306.80	0.63	2.24	1.04	44.52	6.61	0.12	1.16
GJ-high	1.84	295.60	0.68	5.24	4.34	76.75	7.69	0.43	6.12
SC-low	2.36	338.20	0.64	3.63	3.36	26.41	3.96	0.20	6.47
SC-high	1.00	349.10	0.65	2.64	0.87	19.20	4.53	0.20	1.05
HGS-low	0.25	76.55	0.27	2.15	2.92	13.68	6.81	0.12	1.29
HGS-high	0.27	52.71	0.24	2.70	3.85	22.34	8.64	0.27	1.31
HGX-low	1.21	89.02	0.40	3.83	4.59	24.59	7.33	0.25	1.75
HGX-high	0.24	42.63	0.23	2.06	1.97	15.80	7.57	0.05	0.86
XC-low	1.15	215.20	0.49	3.85	2.72	3.91	4.32	0.03	0.79
XC-high	1.08	154.20	0.63	5.30	3.28	35.01	5.56	0	2.70
WSTP	0.95	328.00	0.74	18.21	0.85	17.86	1.80	0.16	2.78
GB 3838—2002 的 I 类标准	10	100			10	50	50	1	10

注: ¹⁾ high 表示高潮时段, low 表示低潮时段。

从高低潮水位时间段来看,劳动河感潮河段水闸、营口三征有机化工厂的上游、港监潮沟排污口和西潮沟排污口在高潮水位时的 Zn 浓度较低潮水位时高,营口三征有机化工厂的下游和纱厂潮沟排污口则相反。

各污染源 As 浓度表现为营口三征有机化工厂的上游>营口三征有机化工厂的下游>港监潮沟排污口>劳动河感潮河段水闸>西潮沟排污口>纱厂潮沟排污口>西部污水处理厂污水排放口。从高低潮水位时间段来看,除劳动河感潮河段水闸外,其余污染源 As 均是以高潮水位时浓度较高。

Cd 浓度在高低潮水位变化较大,从平均值来看,表现为港监潮沟排污口>纱厂潮沟排污口>营口三征有机化工厂的下游>西部污水处理厂污水排放口>营口三征有机化工厂的下游>劳动河感潮河段水闸>西潮沟排污口。从高低潮水位时间段来看,港监潮沟排污口、营口三征有机化工厂的下游和劳动河感潮河段水闸在高潮水位时的 Cd 浓度明显高于低潮水位时,营口三征有机化工厂的下游正好相反,而纱厂潮沟排污口在高低潮水位时 Cd 浓度基本持平。

Co 浓度在高低潮水位时变化不大,以西部污水处理厂污水排放口、港监潮沟排污口、纱厂潮沟排污口和西潮沟排污口浓度最高,劳动河感潮河段水闸和营口三征有机化工厂的下游浓度相对较低。

各排污口 Ni 浓度以西部污水处理厂污水排放口最高,西潮沟、港监潮沟和纱厂潮沟排污口次之。

纱厂潮沟、港监潮沟排污口的 Pb 质量浓度远高于其他排污口,平均值分别为 3.76、3.64 $\mu\text{g/L}$,且高低潮水位时差异明显。西部污水处理厂污水排放口质量浓度次之,平均值为 2.78 $\mu\text{g/L}$,其他各排污口差别不大,介于 1.29~1.75 $\mu\text{g/L}$ 。总体来看,大辽河各排污口中各重金属元素浓度基本低于 GB 3838—2002 的 I 类标准规定的限值,只有港监潮沟排污口高潮时的 Zn 和大部分排污口 Mn 浓度较高。与上游来水比较可以看出,上游来水中只有海城河的 Mn 浓度高于 GB 3838—2002 的 I 类标准规定的限值,而下游排污口的 Mn 浓度只有营口三征有机化工厂的下游浓度低于 GB 3838—2002 的 I 类标准规定的限值。太子河 Pb 浓度只比纱厂潮沟排污口低潮和港监潮沟排污口高潮略低,远远高于其他排污口,至于海城河、浑河以及三岔河的其他重金属浓度,除少数排污口外,总体低于下游各排污口。

2.1.3 沉积物重金属特征

由表 3 可看出,大辽河水系主要河道(上游至下游依次选取太子河、海城河、三岔河、田庄台、辽河公园 5 个采样点)沉积物重金属浓度总体呈现自上游向下游递减的趋势,其中除海城河的 Cr 和 Ni 浓度高于太子河外,其他重金属浓度均为太子河最高,这种下降趋势可能是由于太子河自上游至下游堆积造成。除 Cd 外,上游太子河各种重金属浓度均比下游辽河公园高近 1 倍,其中 As 浓度更是高出 1.3 倍,总体来看大辽河下游沉积物重金属浓度远低于大辽河上游。各采样点 Zn 浓度以太子河最高,三

表 3 大辽河沉积物重金属质量浓度
Table 3 Concentrations of heavy metals in sediments of Daliao River

项目	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
TZ	36.99	361.29	7.32	16.72	15.11	54.43	6.76	0.87	28.18
HC	44.18	261.08	7.01	21.42	12.60	46.10	5.42	0.82	17.41
DL	30.88	253.48	6.01	11.45	9.40	50.32	2.01	0.95	18.53
TZT	25.31	198.82	5.09	9.11	8.13	37.84	3.86	0.71	17.46
LG	22.67	166.28	4.64	8.27	7.78	37.20	2.93	0.71	17.00
HGS	36.66	283.97	6.59	14.60	12.72	51.19	7.38	1.02	22.69
HGX	26.21	269.80	5.17	8.37	8.01	43.24	4.92	1.11	18.58
GJ	37.85	237.91	7.11	17.61	16.06	79.59	11.96	0.88	30.87
XC	40.90	342.85	7.46	18.46	15.63	72.23	18.48	0.94	31.08
平均值	33.51	263.94	6.27	14.00	11.71	52.46	7.08	0.89	22.42

表 4 中国不同水系表层沉积物重金属质量浓度对比
Table 4 Comparison of the concentrations of heavy metals in surface sediment among different watershed in China

项目	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	文献
松花江	33.00				21.00	119.00		0.26	5.50	[22]
珠江	56.40				39.02	110.85	5.24	0.34	59.43	[23]
长江	73.33	752.78	14.21	33.93	38.50	111.65	11.68		28.41	[24]
大辽河 2007	112.90			28.90	50.90		14.60	0.72	42.20	[25]
大辽河 2013	33.51	263.94	6.27	14.00	11.71	52.46	7.08	0.89	22.42	本研究

岔河次之,之后是海城河,田庄台和辽河公园最低。各采样点 As 质量浓度以太子河和海城河最高,分别为 6.76、5.42 mg/kg,其次为田庄台,As 为 3.86 mg/kg,高于三岔河和辽河公园。Cd 浓度变化如下:三岔河>太子河>海城河>田庄台≈辽河公园,介于 0.71~0.95 mg/kg。

从主要排污口来看,在营口三征有机化工厂的上、下游和港监潮沟排污口、西潮沟排污口中,营口三征有机化工厂的下游沉积物重金属浓度略低,其他 3 个污染源的沉积物重金属浓度均远高于辽河公园,其中西潮沟排污口的 As 质量浓度更是高达 18.48 mg/kg,高出辽河公园 5.3 倍。由此可看出,虽然近几年大辽河下游重金属治理情况较良好,但是要更进一步提高大辽河的水质,有效减少污染物的排放是至关重要的。

将本研究的平均值与我国其他水系及 2007 年大辽河表层沉积物中重金属浓度相比较(见表 4)。由表 4 可知,本研究的大辽河沉积物中 Cr 浓度与 2007 年相比低了 0.70 倍,与松花江持平,远低于其他河流;Mn 质量浓度为 263.94 mg/kg,比长江低了 0.65 倍;Co 质量浓度为 6.27 mg/kg,比长江低了 0.56 倍;Ni 质量浓度为 14.00 mg/kg,比 2007 年低了 0.52 倍并且远低于其他水系;Cu 质量浓度为 11.71 mg/kg,比 2007 年低了 0.77 倍,并且远低于

其他水系;Zn 质量浓度为 52.46 mg/kg,比松花江、珠江、长江均低了 0.5 倍以上;As 质量浓度为 7.08 mg/kg,比 2007 年低了 0.52 倍,低于长江,比珠江略高;Cd 质量浓度为 0.89 mg/kg,比 2007 年大辽河略高,远高于其他水系;Pb 质量浓度为 22.42 mg/kg,比 2007 年大辽河低了近 0.5 倍,比松花江高了 3 倍以上,远低于其他河流。

2.2 大辽河水质和沉积物综合评价

2.2.1 大辽河主要上游来水重金属污染评价

利用综合污染指数评价法^[26-29]对大辽河上游水体重金属污染状况进行评价,其计算公式为:

$$A_i = c_i / c_{si} \quad (1)$$

$$WQI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (2)$$

式中: A_i 为重金属元素*i*的污染指数; c_i 为重金属元素*i*的实测质量浓度,μg/L; c_{si} 为重金属元素*i*的评价标准(取 GB 3838—2002 的 I 类标准),μg/L; WQI 为水质综合污染指数; n 为重金属元素总个数。

当 $WQI \leq 1$ 时,表明该水域无重金属污染;当 $1 < WQI \leq 2$ 时,表明该水域重金属为轻度污染;当 $2 < WQI \leq 3$ 时,表明该水域重金属为中度污染;当 $WQI > 3$ 时,表明该水域重金属为重度污染。

大辽河上游来水重金属污染评价结果见表 5。

由表 5 可知,各条河流的 WQI 在 0.12~0.41,均小于 1,说明大辽河及其主要汇入河流无重金属污染,但需要注意的是,太子河的 WQI 最高,其潜在污染风险也最高,应予以重视。

表 5 大辽河上游来水重金属污染评价结果
Table 5 Complex pollution indices of heavy metals in upstream water of Daliao River

河流	TZ	HH	HC	DL
WQI	0.41	0.19	0.12	0.12

表 6 大辽河主要污染源重金属污染评价结果
Table 6 Complex Pollution Indices of heavy metals in primary pollution source of Daliao River

主要污染源	LD	HGS	HGX	GJ	SC	XC	WSTP
WQI	0.203	0.201	0.206	0.400	0.249	0.182	0.169

表 7 重金属污染程度与 I_{geo} 的关系
Table 7 Classification of I_{geo} and heavy metals contamination levels

I_{geo}	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} > 5$
污染程度	清洁	轻度污染	偏中度污染	中度污染	偏重污染	重污染	严重污染

表 8 大辽河沉积物的 I_{geo}
Table 8 I_{geo} of heavy metals pollution in sediment of Daliao River

项目	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
TZ	-1.40	-1.28	-1.04	-1.17	-1.95	-2.24	-1.00	-0.92	-1.44
HC	-1.14	-1.74	-1.10	-0.81	-2.22	-2.48	-1.32	-1.01	-2.14
DL	-1.66	-1.79	-1.32	-1.71	-2.64	-2.36	-2.75	-0.80	-2.05
TZT	-1.95	-2.14	-1.56	-2.04	-2.85	-2.77	-1.81	-1.22	-2.13
LG	-2.10	-2.39	-1.69	-2.18	-2.91	-2.79	-2.20	-1.22	-2.17
HGS	-1.41	-1.62	-1.19	-1.36	-2.20	-2.33	-0.87	-0.69	-1.75
HGX	-1.90	-1.70	-1.54	-2.16	-2.87	-2.58	-1.46	-0.57	-2.04
GJ	-1.37	-1.88	-1.08	-1.09	-1.86	-1.70	-0.17	-0.91	-1.31
XC	-1.25	-1.35	-1.01	-1.02	-1.90	-1.84	0.45	-0.81	-1.30

较轻。与上游来水比较,可以看出各排污口的 WQI 均小于太子河,且均远大于海城河和三岔河,只有西潮沟排污口和西部污水处理厂污水排放口比浑河略小。总体来看,太子河是大辽河重金属污染的重要来源之一。

2.2.3 沉积物重金属污染评价

地累积指数评价法是德国科学家 MÜLLER^[30] 1979 年提出的,被较多的学者所采纳^[31-33],是目前沉积物重金属污染评价中使用最广泛的方法。计算公式如下:

$$I_{geo} = \log_2(c_j/kB_j) \quad (3)$$

式中: I_{geo} 为地累积指数; c_j 为实测重金属质量浓度, mg/kg; k 为考虑到造岩运动可能引起背景值波动而设定的常数,取 $k=1.5$; B_j 为普通页岩中重金属地球化学平均背景值, mg/kg, 本研究选择辽河水系表层沉积物重金属背景值^[34], 取 Cu、Cd、Zn、As、Cr、Co、Ni、Pb、Mn 为 39、1.1、172、9、65、10、25、51、583 mg/kg。

2.2.2 大辽河主要污染源重金属污染评价

大辽河主要污染源重金属污染评价结果见表 6。由表 6 可以看出,各排污口 WQI 排序如下:港监潮沟排污口>纱厂潮沟排污口>营口三征有机化工厂的下游>劳动河感潮河段水闸>营口三征有机化工厂的下游>西潮沟排污口>西部污水处理厂污水排放口。港监潮沟、纱厂潮沟排污口有较大的 WQI ,但仍小于 1,说明大辽河各排污口重金属污染

FORSTNER 等^[35] 提出 I_{geo} 与重金属污染程度对应关系,如表 7 所示。

根据地累积指数评价法和重金属污染程度与 I_{geo} 的关系,计算得出大辽河沉积物重金属地累积指数,如表 8 所示。大多数采样点均显示沉积物重金属污染程度为清洁,只有西潮沟排污口沉积物中 As 表现出轻度污染,表明大辽河流域水体沉积物重金属污染较轻,这与水体重金属污染程度的评价结果是一致的。

3 结 论

(1) 大辽河主要上游来水和主要排污口水体中重金属浓度较低,大部分低于 GB 3838—2002 的 I 类标准规定的限值,其中太子河和纱厂潮沟、港监潮沟排污口重金属浓度相对较高。

(2) 从大辽河沉积物来看,主要河道重金属均呈现从上游至下游递减的趋势,与我国其他水系沉积物比较得出大辽河沉积物中重金属浓度较低,与

2007年大辽河沉积物比较可看出,近几年大辽河沉积物的重金属污染情况有所减轻。在重点排污口中,重金属浓度明显高于大辽河下游,其中西潮沟排污口的As浓度高出辽河公园5.3倍。

(3) 采用重金属元素综合污染指数评价法对大辽河水质进行评价,结果表明,大辽河上游来水不存在重金属污染现象,太子河的潜在污染风险最高;采用地累积指数评价法对大辽河主要汇入河流和污染源的沉积物重金属污染程度进行评价,结果表明,大辽河主要汇入河流和主要污染源沉积物重金属污染程度大多为清洁,只有西潮沟排污口沉积物中As处于轻度污染,需要引起注意。

参考文献:

- [1] 蒋炳言,汪琳琳.中国水系沉积物重金属污染研究现状[J].科技信息,2009(9):383-384.
- [2] 原武斌.山西省河流底泥重金属污染现状研究[J].山西建筑,2011,37(28):184-185.
- [3] 赵丽霞,张勇,雷亚春.汾河底泥中重金属元素污染状况研究[J].光谱实验室,2005,22(1):106-108.
- [4] 刘振坤,张书海.洪泽湖底质重金属污染变化趋势分析[J].江苏环境科技,2005,18(4):41-43.
- [5] BERTOLOTTO R M, TORTAROLO B, FRIGNANI M, et al. Heavy metals in surficial coastal sediments of the Ligurian Sea [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50(3): 344-359.
- [6] LIU W X, LI X D, SHEN Z G, et al. Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River Estuary [J]. Environmental Pollution, 2003, 121(3): 377-388.
- [7] MICHAELIS P. Waste minimization and economic efficiency: lesson from Germany [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 1995, 18(2): 100-115.
- [8] 王飞儿,陈英旭.生命周期评价研究进展[J].环境污染与防治,2001,23(5):249-252.
- [9] 谢红霞,胡勒海.突发性环境污染事故应急预案系统发展探讨[J].环境污染与防治,2004,26(11):44-45.
- [10] 黄奕龙,王仰麟,岳隽.深圳市河流沉积物重金属污染特征及评价[J].环境污染与防治,2005,27(9):711-715.
- [11] 刘晓涛.关于城市河流治理若干问题的探讨[J].上海水务,2003,3(5):1-5.
- [12] 雷坤,郑丙辉,孟伟,等.大辽河口N、P营养盐的分布特征及其影响因素[J].海洋环境科学,2007,26(1):19-22.
- [13] LIU Wenjun, GUO Wei, HE Mengchang, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, suspended particulate matter and sediment from Daliao River watershed, China [J]. Chemosphere, 2007, 68(1): 93-104.
- [14] WU Zhihao, HE Mengchang, LIN Chunye. Environmental impacts of heavy metals (Co, Cu, Pb, Zn) in surficial sediments of estuary in Daliao River and Yingkou Bay (Northeast China): concentration level and chemical fraction [J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 66(8): 2417-2430.
- [15] WU Zhihao, HE Mengchang, LIN Chunye, et al. Distribution and speciation of four heavy metals (Cd, Cr, Mn and Ni) in the surficial sediments from estuary in Daliao River and Yingkou Bay [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 63(1): 163-175.
- [16] 简慧敏,姚庆祺,于立霞,等.大辽河口痕量元素砷的河口混合行为[J].环境科学,2012,33(3):727-731.
- [17] 邵坚,赵晓娟.辽宁太子河沉积物重金属污染及潜在生态危害评价[J].环境科学与技术,2012,35(5):184-188.
- [18] 胡成,苏丹.综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J].生态环境学报,2011,20(1):186-192.
- [19] 范英宏,林春野,何孟常,等.大辽河水系表层沉积物中重金属的迁移特征及生物有效性研究[J].环境科学,2008,29(12):3469-3476.
- [20] 张远,郑丙辉,王西琴,等.辽河流域浑河、太子河生态需水量研究[J].环境科学学报,2007,27(6):937-943.
- [21] 张洪义,郭春贵,车延路,等.水文分析法分析海城河中上游水土流失状况[J].东北水利水电,2004,22(9):41-42.
- [22] 冯丹,白羽军.松花江哈尔滨江段底质重金属污染状况调查研究[J].黑龙江环境通报,2003(3):86-87.
- [23] 刘芳文,颜文,王文质.珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J].海洋环境科学,2002,21(3):34-38.
- [24] 沈敏,于红霞,邓西海.长江下游沉积物中重金属污染现状与特征[J].环境监测管理,2006,18(2):15-18.
- [25] 张婧,王淑秋,谢琰,等.辽河水系表层沉积物中重金属分布及污染特征研究[J].环境科学,2008,29(9):2413-2417.
- [26] 陈奎,周勇华,张怀静.东昌湖水体和表层沉积物重金属元素污染评价[J].中国海洋大学学报,2012,42(10):97-105.
- [27] 廖为权.水质评价的浓度级数法[J].水文,1992(3):45-49.
- [28] 沈春燕.茂名放鸡岛海域水体重金属的分布与污染评价[J].海洋通报,2008,27(5):116-120.
- [29] 蔡文贵,林钦,贾晓平.考洲洋重金属污染水平与潜在生态危害综合评价[J].生态学杂志,2005,24(3):343-347.
- [30] MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine [J]. Geo. Journal, 1979(2): 108-118.
- [31] 张雷,秦延文,郑丙辉.三峡水库入库河流大宁河土壤重金属分布特征[J].环境科学与技术,2011,34(4):81-86.
- [32] 魏荣菲,庄舜尧,杨洁.苏州河网区河道沉积物重金属的污染特征[J].湖泊科学,2010,22(4):527-537.
- [33] 李德亮,张婷,余建波.长江中游典型湖泊重金属分布及其风险评价——以大通湖为例[J].长江流域资源与环境,2010,19(S1):183-189.
- [34] 马力,杨晓波,佟成治,等.辽宁省浑河流域底质中重金属元素地球化学特征[J].岩矿测试,2008,27(3):184-188.
- [35] FORSTNER U, AHLF W C. Sediment quality objectives and criteria development in Germany [J]. Water Science Technol., 1993, 28(8): 307-316.

编辑:贺锋萍 (修改稿收到日期:2014-10-30)