

黄河口潮间带表层沉积物重金属和营养元素的分布特征

罗先香¹, 田静¹, 杨建强^{2,3}, 张娟¹

1. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 国家海洋局北海分局科技处, 山东 青岛 266033;
3. 国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室, 山东 青岛 266033

摘要: 于2010年5月采集了5个断面的黄河口潮间带高、中和低潮滩的表层沉积物样品, 对沉积物的理化性质、重金属和营养元素的空间分布特征进行了研究, 并采用单因子污染指数法和综合潜在生态风险指数法, 参考加拿大安大略省环境和能源部关于沉积物质量指南, 对黄河口潮间带沉积物质量进行了评价。结果表明, 除Cu和Pb外, 其它重金属和营养元素质量分数均表现为河口北侧高于南侧; 除Hg外, 高、中和低潮滩的表层沉积物重金属和营养元素质量分数无显著差异, 没有表现出成熟潮滩明显的垂岸分带特征。Pb质量分数高于渤海表层沉积物的高值, 是该区域的首要污染因子; Hg在河口北侧近河口的两个站位低潮滩质量分数达到海洋沉积物质量一类标准的1.7和1.8倍, 存在一定的潜在生态风险; TN和TOC质量分数范围在安全级别, TP质量分数在20%的站位超过最低安全级别, 存在一定的安全风险。与国内其它潮滩相比, 黄河口潮间带重金属Zn、Cd、Hg和As的质量分数处于较低水平, Cu和Pb质量分数处于中等水平, TOC和TP质量分数与长江口潮间带相当, TN质量分数较低。研究结果将为黄河三角洲地区生态保护、环境管理和污染治理提供基础数据。

关键词: 黄河口潮间带; 表层沉积物; 重金属; 营养元素; 分布特征

中图分类号: X145

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 05-0892-06

潮间带属海洋与陆地的过渡地带, 在海陆交互作用下环境复杂多变。位于河口两侧的潮间带, 是陆源污染物入海的必经之路, 对环境污染极其敏感, 受到沿岸排污及入海河流携带污染物的双重威胁, 生态环境脆弱。累积在潮间带沉积物中的污染物在波浪潮汐作用下又易释放到水体中, 特别是环境脆弱、水动力复杂的河口区, 环境因子的微弱变化使得沉积物受到搅动, 其中的污染物向上覆水释放, 成为近岸海域的潜在污染源。众多污染物当中, 重金属由于其毒性和持久性而成为影响沉积物质量较严重的一类^[1], 过量的营养盐在一定条件下可能造成该水域富营养化, 甚至引发赤潮。黄河口位于渤海湾与莱州湾之间, 山东省境内, 是我国北方典型的弱潮陆相河口。河口附近新生潮滩湿地在陆进海退的纵向演进过程和黄河冲淤填注的扇形展开过程影响下, 河口三角洲侵蚀凸显, 岸滩蚀退严重^[2]。地处河口区的黄河三角洲自然保护区是国际重要的鸟类栖息、繁殖地及中转站, 是以保护新生湿地生态系统, 珍稀、濒危鸟类为主体的国家级自然资源保护区, 具有重要的物种保护价值。黄河口近岸海域河口生态系统是黄渤海渔业资源的主要产卵场、孵幼场、索饵场, 在此设有黄河口国家级海洋特别保护区。近年来, 随着河口区人口的增多, 地区经济发展与生态保护的矛盾日益突出, 河口区

承受了越来越多的重金属、营养盐等污染物^[3], 不利于河口自然保护区的维护。

以往对潮间带沉积物的研究主要集中在一些发育成熟潮滩沉积物的重金属分布与累积方面^[4-9], 本文以黄河口新生潮滩为靶区, 分析了高、中和低潮滩重金属和营养元素碳、氮及磷的分布特征, 并对其污染状况进行了评价, 以期为黄河三角洲地区生态保护、环境管理和污染治理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与预处理

于2010年5月沿黄河口近岸潮间带(37.4697—38.0388° N, 118.9329—119.0876° E)布设了5个采样断面(图1), 每个断面分别采集高潮滩、中潮滩、低潮滩的表层沉积物样品, 北1~北3断面位于黄河北岸, 南1、南2断面位于黄河南岸。样品的采集、预处理均按照海洋监测规范(GB17378.5—2007)中的相关规定执行。

1.2 样品分析和数据处理

沉积物样品经自然风干, 除去明显杂物, 磨碎, 混匀后过80目筛。准确称取样品100 mg左右, 加10%的盐酸浸泡去除无机碳, 105 °C烘5 h后, 在德国EA2000元素分析仪上进行有机碳(TOC)的测定, 测定相对标准偏差小于2%; 准确称取样品2.500 0 g左右, 采用硒粉-硫酸钾-硫酸消解, 凯氏滴定法测定

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201005009); 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201105005)

作者简介: 罗先香(1972年生), 女, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事湿地生态过程及环境效应、海洋生态与环境预警及评价研究。E-mail: lxx81875@ouc.edu.cn

收稿日期: 2011-04-04

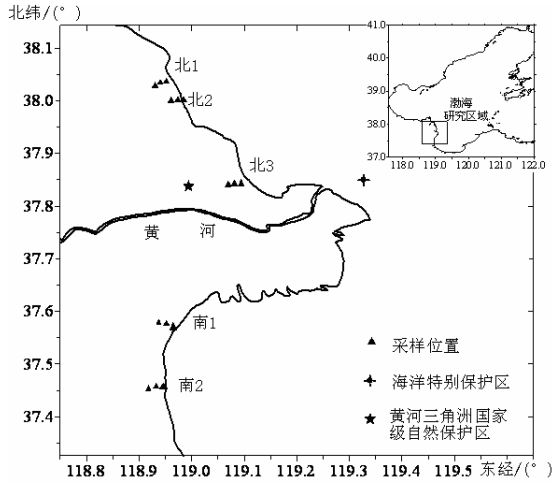


图1 黄河口潮间带采样站位图

Fig. 1 Sampling location at inter-tidal zone of Yellow River Estuary

沉积物总氮(TN), 磷钼蓝分光光度法测定总磷(TP) (海洋监测规范GB17378.5-2007), 加标回收率控制在95%~100%范围内; 沉积物重金属Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As和粒度的测定参照文献^[10], 重金属质量分数的回收率均在90%~110%, 平行样的标准偏差小于10%。分析过程使用近海沉积物GBW07314作内控样进行质量控制。

数据的分析处理采用 SPSS13.0、origin8.0、EXCEL 等软件。

2 结果与讨论

2.1 黄河口潮间带表层沉积环境特征

图2为潮间带沉积物粒度分布图, 由图可见, 从黄河北岸至南岸, 沉积物粘粒质量分数逐步降低, 砂粒质量分数逐步增加。北岸沉积物以粘土质粉砂和粉砂为主, 且高、中、低潮滩沉积物质地没有明显变化; 南岸沉积物以粉砂和砂质粉砂为主, 从低潮滩到高潮滩沉积物粒径逐渐变小。其沉积物粒度分布特征与区域微地貌地形和潮汐水动力条件关系密切。黄河口北部为半封闭地形, 潮流流速很小^[11], 细颗粒泥沙在此处大量沉积; 而口门南侧由于没有地形的屏蔽作用, 潮滩宽阔, 为相对较稳

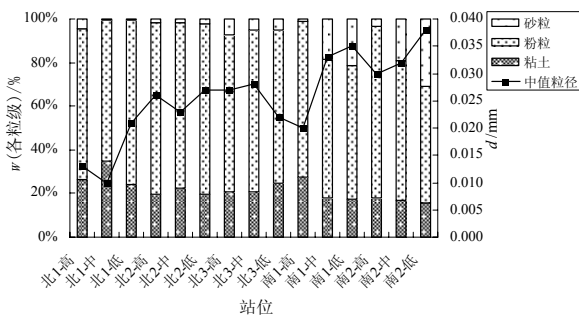


图2 黄河口潮间带表层沉积物粒度分布

Fig. 2 Granularity distribution of inter-tidal surface sediments at Yellow River Estuary

定岸, 水动力较强, 沉积物粒径较口门北侧大, 且高、中、低潮滩沉积物质地变化明显, 潮流作用较为显著, 较细颗粒沉积物向潮间带上部输运, 潮滩表现出一定的分带性。

图3为潮间带沉积物硫化物的质量分数分布图, 硫化物质量分数介于5.72~165.77 mg·kg⁻¹之间, 呈现河口北侧明显高于南侧的特点, 且离口门越近, 质量分数越高, 沉积环境还原性越强, 李学刚等^[12]研究表明, 黄河口外沉积物的氧化还原环境为还原性, 结合本文硫化物分布状况, 河口南侧处于弱还原环境, 而北侧靠近口门区域沉积物处于较强还原状态。

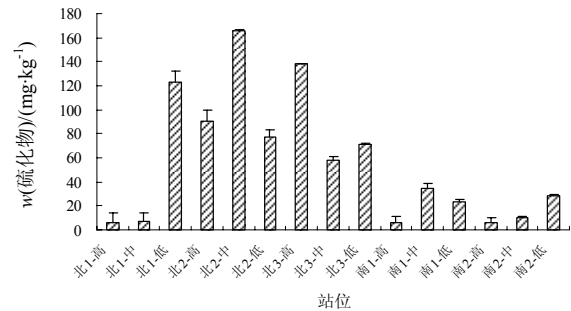


图3 黄河口潮间带表层沉积物硫化物质量分数分布

Fig. 3 Distribution of sulfide in inter-tidal surface sediments at Yellow River Estuary

2.2 沉积物重金属、营养元素的质量分数水平

表1列出了黄河口潮间带表层沉积物重金属、营养元素的质量分数水平以及与国内其它潮滩的对比。黄河口潮间带大部分站位表层沉积物重金属、TOC的质量分数低于国家海洋沉积物质量一类标准(GB 18668—2002), 只有Cu在南2站位的低潮滩略高于一类标准, Hg质量分数在部分站位污染水平较高, 在北2、北3站位的低潮滩出现了异常高值, 分别达到了0.33和0.36 mg·kg⁻¹, 为海洋沉积物质量一类标准的1.7和1.8倍。分析各元素在整个研究区域内的变化发现, Hg的变异系数最大, 达到了201.62%, TOC的变异系数为52.67%, 说明其质量分数在研究区域差异较大, 其它元素的变异系数相对较小, 在8.66%~23.57%范围。

与国内其它潮滩相比^[4-9], 黄河口潮间带重金属Zn、Cd、Hg和As的质量分数均处于较低水平, 明显低于其他潮滩; Cu、Pb质量分数处于中等水平, Cu质量分数高于灌河口和广西北海潮间带, 低于其它潮滩, Pb质量分数高于灌河口、广西北海、胶州湾和长江口潮间带, 低于其它潮滩。黄河口潮间带营养元素与长江口潮间带相比, TOC和TP质量分数两区域相当, 但TN质量分数明显低于长江口潮间带沉积物。

表1 黄河口潮间带沉积物重金属、营养元素质量分数及其与相关研究的对比

Table 1 Heavy metals and nutrient elements concentrations of inter-tidal surface sediments at Yellow River Estuary and the comparison to other study

研究区域	w(Cu)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Pb)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Zn)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Cd)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Hg)/ (mg·kg ⁻¹)	w(As)/ (mg·kg ⁻¹)	w(TOC)/ (mg·g ⁻¹)	w(TN)/ (mg·kg ⁻¹)	w(TP)/ (mg·kg ⁻¹)
黄河口潮间带(本文)	范围 15.30~35.11 平均值 26.11	范围 22.78~38.20 平均值 29.09	范围 34.86~46.77 平均值 41.25	范围 0.061~0.10 平均值 0.075	范围 0.0030~0.36 平均值 0.060	范围 6.00~12.69 平均值 8.60	范围 1.12~7.21 平均值 3.11	范围 135.00~240.10 平均值 178.22	范围 459.50~794.70 平均值 585.47
上海滨岸潮滩(<63 μm) ^[4]	91	47	189	0.03					
灌河口潮滩 ^[5]	25.30	21.80	60.40	0.11	0.076	13.40			
广西北海潮间带 ^[6]	12.76	16.58	69.81	0.22	0.070	9.08			
胶州湾潮间带 ^[7]	37.74	28.52	82.94	0.11	0.060	10.40			
长江口潮间带 ^[8-9]	30.7	27.3	94.3	0.26			1.0~7.4	140~900	420~750
莱州湾表层沉积物 ^[10]	14.97	11.90	50.80	0.11	0.090	9.20			
海洋沉积物质量一类标准	35.0	60.0	150.0	0.50	0.20	20.0	20.0		

将黄河口潮间带与邻近海域莱州湾^[10]表层沉积物重金属质量分数对比发现,除了Cu、Pb平均质量分数略高于莱州湾表层沉积物外,其它重金属元素的平均质量分数均低于莱州湾表层沉积物重金属的平均质量分数。

2.3 沉积物重金属、营养元素的水平分布特征

根据每个站位重金属及营养元素的平均质量分数,图4和表2反映了重金属和营养元素在河口两侧的沿岸分布特征。总体而言,除Cu和Pb质量分数在河口南侧略高于北侧外,其它重金属和营养元素质量分数均表现为河口北侧高于南侧。这是由于河口北侧水动力较河口南侧弱,沉积物粒径较细,表面积较大,因此富集了较多的重金属和营养元素,而河口南侧水动力较强,流急浪大,以砂质的沉积物为主,因此吸附的重金属和营养元素较少。TOC质量分数的“粒控效应”分布特征表现的尤

其明显,北侧明显高于南侧,且沿着由北向南的方向呈逐渐减小趋势,TOC质量分数与沉积物平均粒径的Pearson相关系数达到-0.734($P < 0.01$, $n = 15$),呈极显著的负相关关系,说明沉积物粒径对TOC的控制作用最明显,这与其他研究结果表明的有机碳(有机质)主要富集在细颗粒沉积物中(含粘土和粉砂较多)一致^[13-14]。Zn、As质量分数与沉积物平均粒径的Pearson相关系数分别为-0.599($P < 0.05$, $n = 15$)和-0.629($P < 0.05$, $n = 15$),呈显著负相关关系,即其质量分数随着沉积物粒径变细而升高的规律也较明显。其它重金属和营养元素质量分数也与沉积物平均粒径呈不同程度弱的负相关关系(Cu、Pb除外),但是,并非所有元素都受粒度控制^[13],沉积物粒径可能不是Cu和Pb分布的主要控制因素,其分布可能还受到其它人为因素的影响。Hg质量分数在北侧近河口区明显高于其它

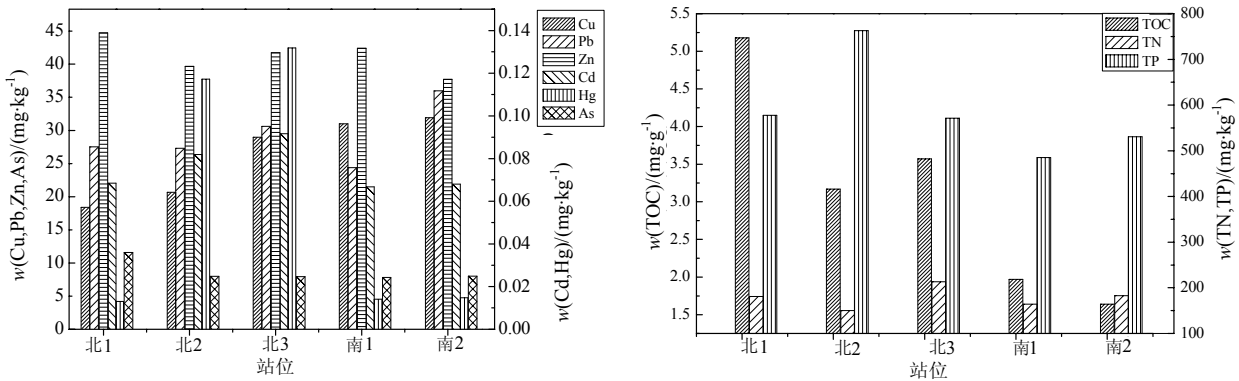


图4 潮间带表层沉积物重金属、营养元素的沿岸分布图

Fig. 4 Distribution of heavy metals and nutrient elements in inter-tidal surface sediments along the bank of Yellow River Estuary

表2 黄河口潮间带不同岸段沉积物重金属和营养元素质量分数

Table 2 Heavy metals and nutrient elements concentrations in inter-tidal surface sediments at different banks of Yellow River Estuary

	w(Cu)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Pb)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Zn)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Cd)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Hg)/ (mg·kg ⁻¹)	w(As)/ (mg·kg ⁻¹)	w(TOC)/ (mg·g ⁻¹)	w(TN)/ (mg·kg ⁻¹)	w(TP)/ (mg·kg ⁻¹)
北岸	变化范围 15.30~33.37 平均值 22.60	变化范围 25.61~31.79 平均值 28.42	变化范围 38.45~46.77 平均值 42.04	变化范围 0.068~0.10 平均值 0.081	变化范围 0.0030~0.36 平均值 0.087	变化范围 7.06~12.69 平均值 9.10	变化范围 2.02~7.21 平均值 3.97	变化范围 139.98~240.09 平均值 181.33	变化范围 516.59~794.66 平均值 637.25
南岸	变化范围 29.68~35.11 平均值 31.38	变化范围 22.78~38.20 平均值 30.11	变化范围 34.86~44.69 平均值 40.06	变化范围 0.061~0.072 平均值 0.067	变化范围 0.0083~0.023 平均值 0.015	变化范围 6.00~9.81 平均值 7.85	变化范围 1.12~2.64 平均值 1.80	变化范围 135.01~198.57 平均值 173.55	变化范围 459.56~574.19 平均值 507.78

区域，这说明在该高浓度区可能存在一定的陆源污染的输入，黄河口区农业的发展大量使用含 Hg 的农药，造纸业也使用 Hg^[15]，相关研究还表明^[3]，黄河口底泥重金属污染较轻，但近年来含量大幅度提高，其中 Hg 污染增长幅度最快，1996 年 Hg 含量是 1976 年的 3 倍，2001 年是 1996 年的 2 倍，应严格控制 Hg 的输入量。

2.4 沉积物重金属、营养元素的垂岸分布特征

图 5 和表 3 反映了潮间带表层沉积物重金属、营养元素的垂岸分布特征。Hg 的质量分数在低潮滩显著高于中、高潮滩，其它大部分重金属和营养元素质量分数在低潮滩略微高于中潮滩和高潮滩 (Pb 质量分数中、低潮滩略高于高潮滩，TP 质量分数高潮滩略高于中、低潮滩)。除 Hg 外，其它各元素在高、中、低潮滩的质量分数无显著性差异，没有表现出自然沉积地貌分异明显，且高、中、低潮滩发育完整的自然滩地所表现出的沉积物重金属、营养元素质量分数呈带状分布的规律^[4,16]。黄河口潮间带表层沉积物重金属、营养元素的分布特征与黄河口潮间带自身的特征和人为干预有直接的联系。黄河口潮间带属于新生潮滩，没有发育成完整的潮间带模式，自然沉积地貌分异不明显^[11,17]，而且强烈的人为活动改变了黄河口周边的水动力条件和高、中、低潮滩泥沙的自然淤积规律。黄河口

沿岸潮间带分布有大量采油区，为了油田陆上开采的需要，人为地在河口北部大部分岸段进行了围滩促淤工程，并在沿岸修建了防潮海堤工程等，这使得高潮线被人为地向海淤进^[17]，潮滩没有明显的分带性。河口南侧分布有大量的渔业养殖场和示范区，这些人为活动影响着重金属和营养元素的分布特征。

2.5 沉积物质量评价

根据单因子污染指数法和综合潜在生态风险指数法^[18]，对黄河口潮间带沉积物重金属的污染状况进行了评价，背景值采用渤海沉积物重金属质量分数的高值^[19]。

根据单因子污染指数法评价结果，Pb 在所有站位的质量分数都高于背景值，单因子污染指数变化范围为 1.32~2.21，平均值为 1.68，为“中”污染水平，高于其它重金属，可知，Pb 是黄河口潮间带沉积物重金属的首要污染因子，这可能与该区域的冶金工业、码头工作、船舶漏油等过程释放大量的含 Pb 污染物有关，此外，交通运输业的发展也大量消耗汽油，而 Pb 是汽油的防爆添加剂^[3,15]，排放的含铅废气直接沉降在水面，由于 Pb 比重大，将很快沉降在沉积物上。Cu 有 60% 的站位单因子污染指数大于 1，Hg 在离黄河最近的北 2、北 3 站位的低潮滩单因子污染指数分别达到 2.22 和 2.41，为“中”污

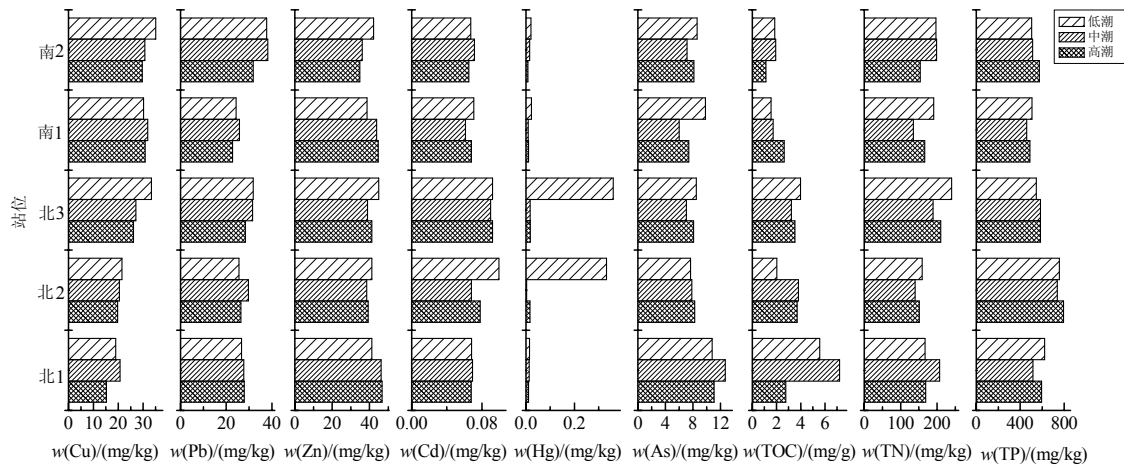


图 5 潮间带表层沉积物重金属、营养元素的垂岸分布图
Fig. 5 Cross-section distribution of heavy metals and nutrient elements in inter-tidal surface sediments

表 3 黄河口潮间带不同地貌部位表层沉积物重金属和营养元素质量分数

Table 3 Heavy metals and nutrient elements concentrations of inter-tidal surface sediments at different geomorphic units of Yellow River Estuary

	w(Cu)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Pb)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Zn)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Cd)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Hg)/ (mg·kg ⁻¹)	w(As)/ (mg·kg ⁻¹)	w(TOC)/ (mg·g ⁻¹)	w(TN)/ (mg·kg ⁻¹)	w(TP)/ (mg·kg ⁻¹)
高潮滩 变化范围	15.30~30.78	22.78~31.77	34.86~46.77	0.065~0.092	0.0083~0.017	7.41~11.07	1.70~2.55	151.47~209.94	488.54~794.66
高潮滩 平均值	24.34	27.45	41.37	0.074	0.013	8.59	1.96	170.02	607.10
中潮滩 变化范围	20.49~31.83	25.81~38.20	36.10~46.17	0.061~0.090	0.0030~0.017	6.00~12.69	1.67~1.87	135.01~206.80	459.56~737.56
中潮滩 平均值	26.17	30.58	40.71	0.072	0.012	8.14	1.76	173.85	562.08
低潮滩 变化范围	18.97~35.11	24.39~37.69	38.69~44.95	0.067~0.010	0.014~0.36	7.65~10.80	1.79~2.38	158.88~240.09	504.55~756.38
低潮滩 平均值	27.83	29.25	41.67	0.080	0.15	9.07	2.07	190.78	587.22

染水平,其污染来源分析已在前文提及。其它重金属单因子污染指数均小于1,属于“低”污染水平。

根据综合潜在生态风险评价结果,各采样点重金属综合潜在生态风险指数均低于150,属于“低”潜在生态风险水平,北2、北3站位的低潮滩综合潜在生态风险指数最高,分别为127.69和138.34,结合各重金属质量分数及分布来看,主要是由于这两个站位Hg的潜在生态风险较大造成的。

对于总氮、总磷和总有机碳的污染状况,本文以加拿大艾大略省环境和能源部(1992)关于沉积物质量指南为参考^[20],该指南根据沉积物中污染物对底栖生物能引起的生态毒性效应将其分为三级,即安全级别、最低级别和严重级别,沉积物中能引起最低级别生态毒性效应的总氮、总磷和TOC的浓度分别为 $550\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $10\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,具有严重级别生态毒性效应的总氮、总磷和TOC的浓度分别为 $4800\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $100\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。本文研究的黄河口潮间带区域,总氮、总磷和TOC质量分数范围分别为135.00~240.10 $\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、459.50~794.70 $\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和1.12~7.21 $\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,参考沉积物质量指南,总氮、TOC质量分数范围在安全级别,总磷质量分数总体也处于安全级别,但在北2站位的高、中、低潮滩均超过最低级别,虽未达到严重级别,但需要控制磷的输入量,以免造成黄河口甚至渤海水体富营养化。

3 结论

(1)黄河口以北潮间带沉积物以粘土质粉砂和粉砂为主,以南沉积物粒径较大,以粉砂和砂质粉砂为主,其沉积物粒度分布特征与南北两侧微地貌地形和潮汐水动力条件的差异有关。沉积物硫化物质量分数分析结果表明,黄河口以北潮间带沉积环境处于强还原环境,以南处于弱还原环境。

(2)黄河口潮间带大部分站位表层沉积物重金属、TOC的质量分数低于国家海洋沉积物质量一类标准,Hg质量分数在北侧近河口的两个站位超标严重,Cu有1个站位超过一类标准。与国内其它潮滩相比,黄河口潮间带重金属Zn、Cd、Hg和As的质量分数处于较低水平,Cu和Pb质量分数处于中等水平,TOC和TP质量分数与长江口潮间带相当,TN质量分数较低。

(3)黄河口潮间带表层沉积物重金属和营养元素的水平分布特征,除Cu和Pb质量分数在河口南侧略高于北侧外,其它重金属和营养元素质量分数均表现为河口北侧高于南侧,与沉积物平均粒径呈现不同程度的负相关关系。垂岸分布上,除Hg外,黄河口潮间带表层沉积物重金属和营养元素在高、中、低潮滩的质量分数无显著差异,没有表现出成

熟潮滩明显的垂岸分带特征。

(4)沉积物质量评价结果表明,重金属Pb质量分数均高于渤海表层沉积物的高值,是黄河口潮间带沉积物的首要污染因子,Cu质量分数在60%的站位达到“中”污染水平,Hg在河口附近站位的低潮滩污染水平较高,存在一定的潜在生态风险;TN和TOC质量分数范围在安全级别,TP质量分数在20%的站位超过最低安全级别,存在一定的安全风险。

参考文献:

- [1] REDDY M S, BASHA S, KUMAR S, et al. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Alang-Sosiya ship scrapping yard, India[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48: 1055-1059.
- [2] 徐美, 黄诗峰, 李小涛, 等. 黄河口近十年变化遥感监测及水沙条件分析[J]. 泥沙研究, 2007, (6): 39-46.
XU Mei, HUANG Shifeng, LI Xiaotao, et al. Monitoring the change of the Yellow River Estuary with remote sensing and analysis of flow and sediment condition in the last ten years[J]. Journal of Sediment Research, 2007, (6): 39-46.
- [3] 刘成, 何耘, 王兆印. 黄河口的水质、底质污染及其变化[J]. 中国环境监测, 2005, 21(3): 58-61.
LIU Cheng, HE Yun, WANG Zhaoyin. Water and sediment pollutions and their changes at the Yellow River mouth[J]. Environmental Monitoring in China, 2005, 21(3): 58-61.
- [4] 陈振楼, 许世远, 柳林, 等. 上海滨岸潮滩沉积物重金属元素空间分布与累积[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 641-651.
CHEN Zhenlou, XU Shiyuan, LIU Lin, et al. Spatial distribution and accumulation of heavy metals in tidal flat sediments of shanghai coastal zone[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(6): 641-651.
- [5] 黄家祥, 殷勇, 徐军, 等. 苏北灌河口潮间带表层沉积物重金属空间分布特征及其环境效应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(5): 23-32.
HUANG Jiaxiang, YIN Yong, XU Jun, et al. Spatial accumulation features and environment efficiency of heavy metals in intra-tidal surface sediments of guanhe estuary, northern Jiangsu[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(5): 23-32.
- [6] 夏鹏, 孟宏伟, 印萍, 等. 广西北海潮间带沉积物中重金属的污染状况及其潜在生态危害[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 471-477.
XIA Peng, MENG Xianwei, YIN Ping, et al. Heavy metal pollution and its potential ecological risk in the sediments from the beihai intertidal zone of Guangxi Province[J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(4): 471-477.
- [7] 刘义峰, 吴桑云, 陈勇, 等. 胶州湾潮间带沉积物主要污染源及分布特征[J]. 海洋科学进展, 2010, 28(2): 163-169.
LIU Yifeng, WU Sangyun, CHEN Yong, et al. Sources and distributions of main pollutants in the intertidal sediments of the Jiaozhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2010, 28(2): 163-169.
- [8] ZHANG W G, FENG H, CHANG J N, et al. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes. Environmental Pollution, 2009, 157: 1533-1543.
- [9] ZHOU J L, WU Y, KANG Q S, et al. Spatial variations of carbon, nitrogen, phosphorous and sulfur in the salt marsh sediments of the Yangtze Estuary in China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71: 47-59.
- [10] 罗先香, 张蕊, 杨建强, 等. 莱州湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 262-269.

- LUO Xianxiang, ZHANG Rui, YANG Jianqiang, et al. Distribution and pollution assessment of heavy metals in surface sediment in Laizhou Bay[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(2): 262-269.
- [11] 陈小英, 陈沈良, 刘勇胜. 黄河三角洲滨海区沉积物的分异特征与规律[J]. *沉积学报*, 2006, 24(5): 714-721.
- CHEN Xiaoying, CHEN Shenliang, LIU Yongsheng. Sediment differentiation along nearshore zone of the Yellow River Delta[J]. *Acta Sediment Ologica Sinica*, 2006, 24(5): 714-721.
- [12] 李学刚, 宋金明, 吕晓霞, 等. 黄河口外沉积物氧化还原环境的表征[J]. *海洋通报*, 2004, 23(4): 25-31.
- LI Xuegang, SONG Jinming, LV Xiaoxia, et al. The expression of redox environments in sediments outside of the Yellow River Estuary[J]. *Marine Science Bulletin*, 2004, 23(4): 25-31.
- [13] 杜德文, 石学法, 孟宪伟, 等. 黄海沉积物地球化学的粒度效应[J]. *海洋科学进展*, 2003, 21(1): 78-82.
- DU Dewen, SHI Xuefa, MENG Xianwei, et al. Geochemical Granularity Effect of Sediment in the Yellow Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2003, 21(1): 78-82.
- [14] 吕晓霞, 翟世奎, 于增慧. 长江口及邻近海域表层沉积物中营养元素的分布特征及其控制因素[J]. *海洋环境科学*, 2005, 24(3): 1-5.
- LV Xiaoxia, ZHAI Shikui, YU Zenghui. Nutrient distribution and controlled factors at the surface sediment of the Changjiang Estuary and adjacent sea area[J]. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(3): 1-5.
- [15] 李任伟, 李禾, 李原, 等. 黄河三角洲沉积物重金属、氮和磷污染研究[J]. *沉积学报*, 2001, 19(4): 622-629.
- LI Renwei, LI He, LI Yuan, et al. Study of the Heavy Metals, Nitrogen and Phosphorus Contaminants in the Sediments of the Yellow River Delta[J]. *Acta Sediment Ologica Sinica*, 2001, 19(4): 622-629.
- [16] 钱嫦萍, 陈振楼, 毕春娟, 等. 潮滩沉积物重金属生物地球化学研究进展[J]. *环境科学研究*, 2002, 15(5): 49-51.
- QIAN Changping, CHEN Zhenlou, BI Chunjuan, et al. Progress of biogeochemical study on heavy metals in tidal flat sediment[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 15(5): 49-51.
- [17] 陈小英. 陆海相互作用下现代黄河三角洲沉积和冲淤环境研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008: 2-80.
- CHEN Xiaoying. Coastal erosion and sedimentary environment of the modern Yellow River Delta under land and sea interaction[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008: 2-80.
- [18] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [19] 李淑媛, 苗丰民, 刘国贤, 等. 渤海底质重金属环境背景值初步研究[J]. *海洋学报*, 1995, 17(2): 78-85.
- LI Shuyuan, MIAO Fengmin, LIU Guoxian, et al. Preliminary study in environmental background values of heavy metals in sediment of the Bohai Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1995, 17(2): 78-85.
- [20] 李任伟. 沉积物污染和环境沉积学[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(4): 398-402.
- LI Renwei. Contamination of sediments and environmental sedimentology[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(4): 398-402.

Distribution characteristics of heavy metals and nutrient elements in inter-tidal surface sediments of Yellow River estuary

LUO Xianxiang¹, TIAN Jing¹, YANG Jianqiang^{2,3}, ZHANG Juan¹

1. Key Lab of Marine Environmental Science and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. North China Sea Environment Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China;

3. Key Lab of Marine oil spill Identification and Damage Assessment Technology, SOA, Qingdao 266033, China

Abstract: In May, 2010, surface sediment samples were collected from the high, middle and low inter-tidal zones along five sections in the Yellow River Estuary, and analysis were carried out on their physico-chemical properties as well as the distribution characteristics of heavy metals and nutrient elements across the area. Through adopting the index number techniques of single factor and Hakanson ecological risk and referring the sediment quality standards of Environment and Energy Department in the province of Ontario, Canada, quality status of these sediments were evaluated. Results showed that concentrations of most heavy metals and nutrient elements exhibited a higher tendency in the northern bank than the southern bank, except Cu and Pb; Concentrations of heavy metals and nutrient elements showed no significant differences among high, middle and low tidal flats except Hg, and hence no prominent vertical characteristics of a mature tidal flat were exhibited. The concentration of Pb was higher than the maximum value of surface sediment in Bohai Sea, making it the most important pollution factor in the research area; The concentration of Hg of low tidal flat at two stations near estuary severely exceeded the class I standard of GB 18668-2002, namely, 1.7 and 1.8 times of it respectively and possessed a certain potential ecological risk. TN and TOC were in the range of safety level, while TP at 20% stations exceeded the lowest safety level and possessed security risk to some extent. Compared with other tidal flats, the concentrations of Zn, Cd, Hg and As in sediments of the study area were at a relatively low level, those of Cu and Pb were at a moderate level; concentrations of TOC and TP were equivalent to those in the intertidal zone of Yangtze River; while that of TN was relatively low. The results of this study would supply some basic data for the ecological protection, environmental management and pollution controlling in Yellow River Delta.

Key words: inter-tidal zone of Yellow River Estuary; surface sediment; heavy metals; nutrient elements; distribution characteristics