

晋江感潮河段表层沉积物中磷的分布、赋存形态及环境意义^{*}

刘越^{1,2} 胡恭任^{1,2,**} 袁栋林¹ 谷唯实¹

(1. 华侨大学环境科学与工程系, 厦门, 361021; 2. 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室, 南昌, 330013)

摘要 通过晋江感潮河段表层沉积物中磷的总量测定、形态分级提取, 探讨了该区域磷的分布、赋存形态特征以及环境意义. 14个采样点表层沉积物中总磷的含量范围为459.6—986.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 该地区与国内典型的河口感潮河段比较, 总磷处于相对较高水平. 空间分布特征总体表现为晋江感潮河段的中游>下游>上游. 总磷中87.4%以无机磷形式存在, 钙磷、闭蓄态磷、有机结合态磷和铁铝结合态磷是沉积物中磷的主要赋存形态, 分别占总磷的31.2%、28.1%、12.6%和26.6%. 沉积物中潜在生物有效磷(BAP)含量为90.5—424.94 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均含量为269 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 钙磷的分布受到水体中盐度变化的影响, 自晋江感潮河段向泉州湾外海方向呈增大趋势; 铁铝结合态磷则相反, 分布朝泉州湾方向逐步递减.

关键词 表层沉积物, 磷赋存形态, 晋江感潮河段.

磷是水体中最重要的营养元素之一, 是水体浮游生物生长和繁殖所必需的养分, 是水体初级生产力和食物链的基础元素^[1]. 水体沉积物是水域中磷重要的源和汇, 沉积物中不同形态的磷具有不同的生物有效性^[2-4]. 研究沉积物中磷的分布、赋存形态以及生物有效性对分析沉积物中磷的主要来源及评估研究区域富营养化的潜在风险具有重要意义. 宋祖光^[3]等分析了杭州湾潮滩表层沉积物中磷的分布和赋存形态, 并将可交换态磷、铁铝结合态磷和60%的有机磷之和估算为生物可利用态磷(BAP), 探讨了沉积物中磷的主要来源并评估该区发生富营养化的潜在风险. Zhang Jiazhong^[5]等利用分级浸提方法对Mackenzie河流域、Chukchi海域以及Bering海域沉积物中的可交换态磷、铁铝结合态磷、钙结合态磷等5种磷赋存形态量进行测定, 表明磷各赋存形态含量可在一定程度上反映沉积物中磷的来源特征, 生态学意义显著.

晋江感潮河段近年来污染严重, 富营养化状况明显. 本文通过分析测定晋江感潮河段表层沉积物中磷的含量和赋存形态, 研究水体-沉积物中磷的污染程度, 污染分布和范围, 揭示晋江感潮河段水体富营养化的过程和本质, 为研究该河段表层沉积物作为内源上覆水体释放以及河口地区环境保护提供沉积物营养盐污染方面的信息和基础资料.

1 材料与方法

1.1 样品采集和处理

采样工作于2006年10月至12月30日期间进行, 选择大潮日潮水退至最低时进行, 沿感潮河段设置采样站位共14个(1[#]—14[#]分别为鲟浦、仙石①、仙石②、仙石③、东海镇、刺桐大桥、泉州大桥、顺济桥、华洲、东浦、江南镇、浮桥镇、白水营、北峰镇, 由14[#]到1[#]为向海方向), 14个采样点大致均匀分布在晋江感潮河段的潮滩带上, 并针对研究目的在典型污染源附近如泉州江滨美食城和泉州水产公司等附近设置采样站位.

用塑料勺采集表层0—5 cm内的表层沉积物并装入塑料袋中. 现场测定沉积物的温度、pH、Eh和盐度等. 袋子上贴上标签, 注明采样时间、地点和标号, 带回实验室于-20℃冷冻保存. 将冷冻后的沉积物置通风处晾干, 用木棒捣碎, 剔除杂物, 用玛瑙研钵轻轻研磨, 先过2 mm尼龙筛, 去除砾石, 再过63 μm

2010年7月22日收稿.

^{*} 福建省自然科学基金项目(2009J01220); 泉州市科技计划重点项目(2009Z49); 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室开放基金项目(101101)资助.

^{**} 通讯联系人, E-mail: grhu@hqu.edu.cn

尼龙筛, $<63\ \mu\text{m}$ 的样品装入塑料袋密封置于干燥处保存, 备用.

1.2 样品分析

总磷(TP)采用高氯酸-硫酸消解法对土样进行消解^[6], 磷钼蓝分光光度法测定消解液中总磷含量^[7]. 有机结合态磷(Org-P)取1.0g样品用 $0.5\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\ \text{H}_2\text{SO}_4$ 浸提, 离心, 利用磷钼蓝分光光度法测定磷含量为A, 另外1.0g样品在 $550\ ^\circ\text{C}$ 下灼烧同上步骤测定出磷含量B, 有机结合态磷即A与B差值. 对无机磷的分级提取结合该地区沉积物理化性质并参考李悦等对沉积物中不同形态磷提取方法的改进, 将无机磷分级为可交换态(Exch-P)、铁铝结合态($(\text{Fe} + \text{Al})\text{-P}$)、钙结合态(Ca-P)和闭蓄还原态(Re-P)^[8]. 磷形态分级提取方法以朱广伟等所介绍的形态分析提取步骤为基础, 以不同的试剂和方法依次分离出磷的各种化学形态^[9].

2 结果与讨论

2.1 总磷的含量和空间分布特征

晋江感潮河段各采样点表层沉积物中总磷的含量范围为 $459.6\text{—}986.2\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (图1). 与国内典型河口和滨岸带潮滩比, 其高于渤海湾($233\text{—}410\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[10]、珠江口($275.25\text{—}599.95\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[11]、胶州湾($120\text{—}340\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[12]和黄河三角洲($430\text{—}760\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[13]等大多数河口地区, 而略低于长江口($693\text{—}1445\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)^[14]. 这说明该地区沉积物磷的污染较重, 入海通量处于一个相对较高的水平. 从沿程分布来看, 总磷含量呈多峰值变化特征, 一定程度上反映了磷的来源及影响具有多样性特征. 最大峰值出现在晋江感潮河段东岸的11号站位($986.2\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), 而邻近的12号站位次之($928.0\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). 浮桥镇和江南镇正处于11号、12号站位的西岸, 这里是监测河段内人口相对密集的区域, 大量浮桥镇和江南镇的生活污水未经处理穿过防洪堤直接向晋江排放, 导致两采样点的总磷含量较高. 该区还有许多家庭式作坊, 主要制造皮革、纸张等. 一些生产者直接向晋江中排放工业污水, 这也是导致该河段沉积物中总磷含量偏高的主要原因. 在11号站位的下游, 9号、10号采样点总磷含量也达到较高水平($907.4\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $912.7\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). 经调查发现, 泉州江滨美食城就坐落于两采样点附近, 餐饮行业产生的废水、食物残渣、油渍等污染物都会造成附近河段沉积物中总磷含量升高, 泉州市水产公司就在9号采样点附近, 大量养殖废水的排放也会导致该地区沉积物磷含量较高. 在6号站位也存在总磷的峰值($868.4\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), 这与河流的流向突然改变和河段宽度突然减小密切相关. 6号采样点正处于晋江与洛阳江的并流处, 入河口处沉积物中总磷含量明显增高. 并流河道是晋江中磷的一个重要来源途径, 入河口处含有可溶性磷易与水中的活性铁、铝、钙形成磷酸盐沉降于河底沉积物中, 从而使并流口处总磷的积累要丰富. 8号采样点总磷含量突然减小, 该站位是14个站位中惟一位于河流西岸的站位, 河流西岸人口稀少, 受人类活动影响较小, 因此总磷含量突然降低. 晋江感潮河段上游(14#)、河段中游(6#—13#)、河段下游(1#—5#)表层沉积物中总磷平均含量依次为 $490\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $866\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $632\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 表现为中游>下游>上游. 主要是由于人类活动频率的不同分布造成的.

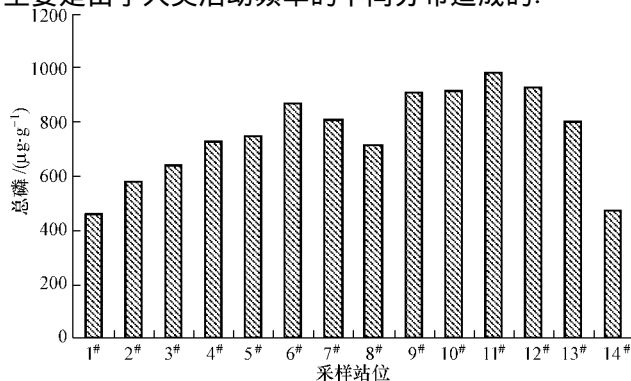


图1 晋江感潮河段表层沉积物中总磷的特征

Fig. 1 Distribution character of total phosphorous in surface sediments of Jinjiang river

2.2 磷的赋存形态特征

2.2.1 沉积物中有机磷(OP) 和无机磷(IP) 的含量分布

各形态磷分析结果表明(表1),样品中无机磷含量范围为:372.0—856.6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,占总磷含量的79.1%—91.9%,平均占总磷含量的87.4%,无机磷是晋江感潮河段沉积物中磷主要的赋存形态.有机磷含量范围为46.90—129.6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,占总磷含量的8.1%—20.9%,平均占总磷含量的12.6%.有机磷和无机磷的含量均在11号采样点达到最大值,而该点位人口密集且工业生产活动较多,是导致磷含量较高的主要原因.可见,有机磷和无机磷含量与人类活动密切相关.

表1 晋江感潮河段表层沉积物中磷的含量($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 1 Concentration of various phosphorous species in surface sediments of Jinjiang River									
采样站位	Exch-P	(Fe + Al)-P	Ca-P	Re-P	IP	OP	TP	BAP	BAP/TP /%
1 [#]	8.397	49.31	197.7	149.5	404.9	54.66	459.6	90.50	19.69
2 [#]	11.38	89.89	247.2	186.2	534.7	46.90	581.6	129.41	22.25
3 [#]	14.69	111.1	242.2	194.7	562.6	78.98	641.6	173.15	26.99
4 [#]	15.00	171.5	258.3	196.0	640.7	82.40	723.1	235.90	32.62
5 [#]	13.14	150.5	255.9	243.0	662.3	89.53	751.9	217.31	28.90
6 [#]	13.48	237.7	238.6	266.0	755.6	112.8	868.4	318.83	36.72
7 [#]	14.10	200.7	246.0	230.0	690.7	115.4	806.1	284.06	35.24
8 [#]	15.71	203.6	289.9	132.4	641.7	72.54	714.2	262.87	36.81
9 [#]	14.32	297.4	262.8	232.2	806.7	100.7	907.4	372.14	41.01
10 [#]	10.47	287.6	246.0	253.3	797.3	115.4	912.7	367.30	40.24
11 [#]	9.402	337.8	249.6	259.8	856.6	129.6	986.2	424.94	43.09
12 [#]	8.953	314.6	235.6	253.5	812.8	115.2	928.0	392.72	42.32
13 [#]	2.893	242.0	206.5	235.5	686.9	116.7	803.7	314.93	39.19
14 [#]	1.407	118.6	113.1	138.9	372.0	98.36	470.3	179.00	38.06

2.2.2 沉积物中无机磷的化学形态组成

对无机磷的分级提取分析结果表明(图2),沉积物中钙磷含量范围为113.1—289.9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,钙磷所占总磷比重范围为24.0%—43.0%,平均占总磷含量的31.2%.最大值出现在8号采样点,最小值出现在14号采样点.无机磷中的钙磷含量主要随河水中盐度的变化而变化,越靠近河口处,河水受潮汐的影响越大,河水中盐度越高,钙磷占无机磷的比重也随之增加.而经实地考察和查阅资料发现泉州市盐分分公司就设立在8号采样点附近,直接导致附近水域盐分含量大大高于邻近水域,从而影响该处沉积物中钙磷含量.

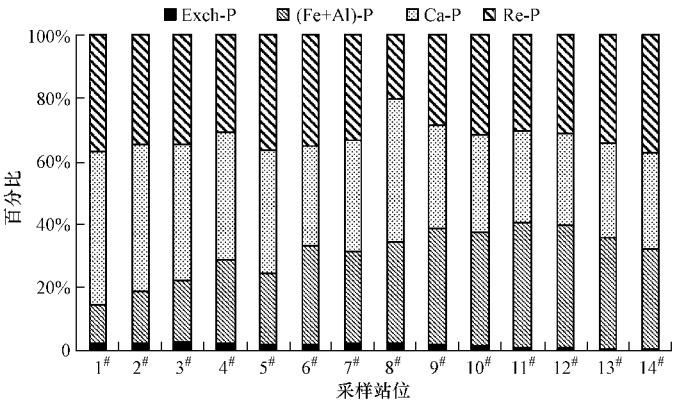


图2 晋江感潮河段表层沉积物中无机磷的化学形态特征

Fig.2 Chemical speciation of inorganic phosphorous in surface sediments of Jinjiang River

沉积物中铁铝结合态磷含量范围为49.31—337.8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,占总磷比重范围为10.7%—34.3%,平

均占总磷含量的 26.6% . 其中 11 号采样点的含量最大 , 1 号采样点的含量最小 . 变化幅度相对钙磷稍有增加 . 铁铝结合态磷的分布朝入海口逐步递减 , 变化趋势基本与河流两岸人口分布、工业发展程度相同 , 11 号采样点附近人口密集且工业活动频繁 , 是造成该段铁铝态磷含量较高的主要原因 . 经分析发现 , 晋江感潮河段沉积物中无机磷主要成分为钙磷和铁铝结合态磷 . 二者的含量基本呈现此消彼长的关系 , 这主要由不同采样点不同的地理位置和受人类活动影响程度不同而决定 .

沉积物中闭蓄态磷含量范围为 132.4—266.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 占总磷含量的 18.5%—32.5% , 平均占总磷含量的 28.1% . 它的形成与土壤的物理和化学风化强度显著相关 , 地质意义明显 , 但很难释放和被生物利用^[15] . 沉积物中可交换态磷的含量最低 , 含量范围为 1.407—15.71 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 占总磷含量比重范围为 0.3%—2.3% , 平均占总磷含量的 1.5% , 所占比重很小 . 占总磷的河段内可交换态磷总体变化趋势是从河流的上游逐渐向下游增加 . 总体而言 , 各形态无机磷占总磷的平均含量比重可排序为: 钙磷 > 闭蓄态磷 > 铁铝结合态磷 > 可交换态磷 .

2.3 晋江感潮河段沉积物各形态磷和环境因子间的关系

晋江感潮河段表层沉积物理化参数测定结果如表 2 所示 , 总磷、有机磷、无机磷以及各形态磷含量和晋江感潮河段诸多环境因子回归分析结果如表 3 所示 . 通过对各量间相关系数 R 的比较分析 , 结果显示 , 可交换态磷与钙磷和沉积物 pH 值之间达到极显著水平 , 并呈正相关 , 表明沉积物中可交换态磷含量变化主要取决于钙磷含量和沉积物 pH 值 . 铁铝结合态磷与闭蓄态磷、无机磷、有机磷、总磷、以及盐度之间达到极显著相关水平 , 说明铁铝结合态磷含量主要受以上几项因素影响 . 钙磷与无机磷、总磷、粘土含量及盐度之间达显著相关水平 , 表明钙磷含量与上述 4 项影响因素相关 , 其中钙磷含量与粘土含量之间相关程度较高 , 表明粘土含量对该河段内钙磷含量变化趋势起决定性作用 . 闭蓄态磷含量与无机磷、有机磷、总磷之间达极显著相关水平 , 其中闭蓄态磷与总磷相关程度较高 , 表明几种影响因素中 , 总磷含量对其影响是首要的 . 无机磷含量与有机磷、总磷之间达极显著相关水平 , 与盐度之间达显著相关水平 , 说明无机磷含量变化主要受该 3 项因素影响 , 无机磷与总磷之间相关性系数高达 0.994 , 表明无机磷含量受总磷影响最大 . 无机磷与盐度之间也达显著相关水平 , 表明盐度在一定程度上会影响无机磷分布 . 有机磷含量与总磷、pH 及盐度达极显著相关水平 . 另外 , 环境因子中对磷形态分布影响较大的是 pH 值和盐度 , 且数据显示 , 除可交换态磷和钙磷外 , 该两项环境因子基本与其它各形态磷呈负相关关系 . 了解各形态磷含量间相关性以及其与理化参数间相关性 , 对深入探讨磷形态赋存特征 , 分析富营养化形成原因等均具有重要意义 .

表 2 各采样点表层沉积物的理化参数

Table 2 Physico-chemical parameters of the surface sediments from various sampling sites

采样站位	pH	盐度 /‰	Eh /mV	有机质 /%	CaCO ₃ /%	S ²⁻ /(mg·kg ⁻¹)	粒度 /μm	粘土 /%
1 [#]	8.00	8.40	-98.0	11.5	2.41	1.80	7.40	25.9
2 [#]	7.80	3.30	-85.0	10.0	2.03	6.70	7.37	25.7
3 [#]	7.90	3.20	133	13.1	1.93	3.10	12.0	20.9
4 [#]	7.80	1.50	-42.0	10.4	1.81	5.00	5.83	27.3
5 [#]	7.80	1.10	-144	10.1	1.74	4.80	12.0	20.7
6 [#]	7.50	1.20	-105	10.4	0.15	3.10	6.00	25.4
7 [#]	7.50	1.40	-71.0	9.70	1.56	3.80	6.20	25.7
8 [#]	7.50	0.40	-56.0	8.60	3.15	4.40	6.61	25.2
9 [#]	7.40	0.80	-3.00	10.7	0.32	3.40	5.93	26.0
10 [#]	7.10	0.50	65.0	9.90	6.20	2.00	8.86	22.5
11 [#]	7.20	0.40	96.0	10.7	3.39	31.2	6.36	27.2
12 [#]	7.20	0.20	9.00	10.0	4.46	2.70	7.85	23.3
13 [#]	6.90	0.10	122	10.1	1.65	5.70	10.6	20.4
14 [#]	6.80	0.10	124	10.2	0.43	2.00	14.3	17.9

表 3 晋江感潮河段表层沉积物中各形态磷与环境因子的相关性

Table 3 Correlation coefficients between phosphorus forms and environment elements

	Exch-P	(Fe-Al) -P	Ca-P	Re-P	IP	OP	TP
Exch-P	1						
(Fe-Al) -P	0.034	1					
Ca-P	0.848 **	0.345	1				
Re-P	0.113	0.711 **	0.327	1			
IP	0.323	0.923 **	0.615 *	0.836 **	1		
OP	-0.229	0.823 **	-0.050	0.725 **	0.702 **	1	
TP	0.253	0.944 **	0.540 *	0.852 **	0.994 **	0.774 **	1
pH	0.674 **	-0.579 *	0.450	-0.219	-0.272	-0.707 **	-0.348
盐度	0.074	-0.693 **	0.655 *	-0.410	-0.575 *	-0.690 **	-0.615 *
Eh	-0.526	0.278	-0.408	0.020	0.044	0.417	0.102
有机质	0.028	-0.314	-0.182	0.012	-0.236	-0.164	-0.235
CaCO ₃	-0.002	0.353	0.279	0.187	0.349	0.149	0.333
S ²⁻	-0.063	0.411	0.178	0.299	0.389	0.340	0.397
粘土	0.572 *	0.205	0.605 *	0.120	0.348	-0.127	0.290

注: n = 14; * p < 0.05; ** p < 0.01.

2.4 沉积物中磷的环境意义

晋江与泉州湾直接相连,泉州湾海岸为喇叭形强潮河口,特殊的水动力作用咸淡水交汇使得环境因子频繁变化,容易导致沉积物中不同形态的磷向水体释放,这也是晋江感潮河段水体富营养化问题产生的潜在危险.不同形态的磷具有不同特征,并且生物可利用程度也不相同.由于生物可利用态磷(BAP)可通过化学和生物的作用转化为溶解态活性磷进入水体被水生生物生长吸收利用,并影响磷酸盐在水土界面间的释放速率,因此 BAP 含量可表征沉积物中潜在可供生物利用的活性磷含量,其在预测感潮河段潜在生态环境风险时具有重要的指导意义^[16].参考有关文献,本文将形态分级提取中的可交换态磷、铁铝结合态磷和 60% 的有机磷之和估算为生物可利用磷(BAP)^[7,17-18].BAP 含量及其占总磷含量百分比见表 1.

表 1 结果表明,晋江感潮河段表层沉积物中的潜在生物可利用态磷含量在 90.50—424.94 μg·g⁻¹,平均含量为 269 μg·g⁻¹,占总磷含量的 13.69%—43.09%,平均仅占 35.7%.感潮河段上游(14 号采样点)、中游(6—13 号采样点)、下游(1—5 号采样点) BAP 的平均含量依次是 179 μg·g⁻¹、342 μg·g⁻¹、169 μg·g⁻¹.不同地域沉积物磷对上覆水体营养化的潜在释放风险大小为:中游 > 上游 > 下游,说明中游由于受工业污染、城市排污及养殖等因素影响较大,有机磷和铁铝结合态磷含量相对于其它区域高出许多,导致较高的 BAP 释放风险.虽然下游 1—5 号采样点区域总磷含量较高,但是该地区人口稀疏、离工业密集区较远,磷的生物可利用程度较低,释放风险也相对较小.沉积物中 BAP 含量的高低主要受人类活动的影响和陆海相互作用的控制,BAP 也非常客观地反映晋江感潮河段各站点受人类活动影响的大小,以及对河口生态环境的危害程度.因此,在河口地区生态环境质量评价研究中,沉积物中的 BAP 可以作为重要的评价指标之一.

此外生物可利用态磷中的铁铝结合态磷((Fe + Al)-P),一般是指 Fe、Mn、Al 氧化物及其氢氧化物包裹的磷,属于不稳定态磷,在一定条件下易被 OH⁻或其它有机体所交换而释放到上覆水中.其来源是人为的、外源性的,主要来自生活污水和工业废水^[19].(Fe + Al)-P 含量可作为污染指标指示人为污染情况.同样在该区无机磷中占有较大比重的钙磷(Ca-P),于表层沉积物中赋存大多来自于海洋浮游生物^[1].两形态磷与盐度均达显著相关水平,铁铝结合态磷呈负相关,钙结合态磷呈正相关. Jeanne 等在研究中提出,盐度会对近海沉积物中各形态磷的赋存量产生影响,但具体的影响机制有待进一步探讨,有一种解释为沉积物中盐度增加,硫酸盐类物质含量随之增加,而硫酸盐类物质会影响沉积物中磷的释放,进而影响磷赋存量^[20].本研究中,由采样点 14#—1#盐度逐渐增大,沉积物由酸性到碱性,沿向海方向铁铝结合态磷含量整体呈减小趋势,13#—9#铁铝结合态磷含量较高,而其采样点附近人口密集,工业活动频繁,铁铝结合态磷变化趋势基本与河流两岸人口分布、工业发展程度相同,可指示研究区内人为

污染程度. 钙结合态磷与盐度呈显著正相关, 其含量受盐度影响较大. 采样点中 8 号站位钙磷含量最高, 而泉州盐分公司设在 8 号站位附近, 水体中盐分含量较高, 从而间接影响沉积物中钙磷含量, 钙磷含量或可做单一环境因子的指示标准. 另外表层沉积物中钙磷主要来自海洋浮游生物, 钙磷与盐度呈显著正相关一定程度上反映出沿向海方向海洋浮游生物含量也逐渐增多.

3 结论

(1) 晋江感潮河段 14 个采样点表层沉积物中总磷含量范围为 459.6—986.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 该地区与国内典型的河口和滨岸带潮滩比较, 总磷处于相对较高水平. 空间分布特征总体表现为晋江感潮河段的中游 > 下游 > 上游.

(2) 磷形态含量因沉积环境的不同而不同. 通过磷形态分析表明, 总磷中有 87.4% 以无机磷形式存在, 钙磷、闭蓄态磷、有机结合态磷和铁铝结合态磷是沉积物中磷主要赋存形态, 平均分别占总磷的 31.2%、28.1%、12.6% 和 26.6%. 钙磷的分布受到水体中盐度变化影响, 自晋江感潮河段向泉州湾外海方向呈增大趋势; 铁铝结合态磷则相反, 分布朝泉州湾方向逐步递减. 这表明晋江感潮河段沉积物中磷的主要来源于陆海相互作用、人类活动、污水排放等方面, 铁铝结合态磷及钙磷含量变化趋势具有一定环境指示意义.

(3) 沉积物中的潜在生物有效磷(BAP) 含量为 90.50—424.94 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均含量为 269 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 较高的总磷及 BAP 含量, 再加上强烈的水动力作用及咸淡水交汇使得环境因子频繁变化, 增加了沉积物中磷作为内源上覆水体释放及造成水体富营养化的可能性.

(4) 沉积物中各种磷形态的含量与其理化性质、沉积物营养盐水平及地理环境均有关系. 各形态磷的赋存含量受 pH 和盐度的影响较大, 且污染近岸高, 远岸低.

参 考 文 献

- [1] 赵志梅, 秦延文. 渤海湾表层沉积物磷形态分析[J]. 海洋技术, 2006, 12(4): 1-4
- [2] 刘浏, 刘晓端, 徐清, 等. 密云水库沉积物中磷的形态和分布特征[J]. 岩矿测试, 2003, 22(2): 10-17
- [3] 宋祖光, 高效江, 张弛. 杭州湾潮滩表层沉积物中磷的分布、赋存形态及生态意义[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 853-858
- [4] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 长江中下游浅水湖泊沉积物中磷的形态及其与水相磷的关系[J]. 农业环境科学学报, 2004, 24(3): 15-23
- [5] Zhang Jiazhong, Guo Laodong, Charles J Fischer. Abundance and chemical speciation of phosphorus in sediments of the Mackenzie River Delta, the Chukchi Sea and the Bering Sea: importance of detrital apatite[J]. Aquat Geochem, 2010, 16: 353-371
- [6] 金相灿, 屠清英. 湖泊富营养调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 208-238
- [7] 刘凤枝, 刘潇威. 土壤和固体废弃物监测分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 346-348
- [8] 李悦, 乌大年, 薛永先. 沉积物中不同形态磷提取方法的改进及其环境地球化学意义[J]. 海洋环境科学, 1998, 17(1): 15-20
- [9] 朱广伟, 高光, 秦伯强, 等. 浅水湖泊沉积物中磷的地球化学特征[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 714-719
- [10] 赵志梅, 张雷, 郝丙辉, 等. 渤海湾沉积物中氮磷的空间分布特征研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(4): 107-111
- [11] 扈传昱, 潘建明, 刘小涯, 等. 珠江口沉积物中磷的赋存形态[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 21-25
- [12] 李学刚, 宋金明, 李宁, 等. 胶州湾沉积物中氮与磷的来源及其生物地球化学特征[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 562-569
- [13] 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): 622-628
- [14] 刘敏, 许世远, 侯立军, 等. 长江口滨岸潮滩沉积物中磷的存在形态和分布特征[J]. 海洋通报, 2001, 20(5): 10-17
- [15] 吴峰伟, 汪福顺, 吴明红, 等. 滇池、红枫湖沉积物中总磷、分态磷及生物硅形态与分布特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(1): 88-94
- [16] 宋金明. 黄河口邻近海域沉积物中可转化磷[J]. 海洋科学, 2001, 24(7): 42-45
- [17] Andriex F, Aminot A. A two-year survey of phosphorus speciation in the sediments of the Bay of Seine (France) [J]. Continental Shelf Research, 1997, 17(10): 1229-1245
- [18] Rydin E. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment[J]. Water Research, 2000, 34(7): 2037-2042
- [19] 朱兴旺, 刘光逊, 梁丽君, 等. 天津于桥水库沉积物理化特征及磷赋存形态研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 168-173
- [20] Hartzell Jeanne L, Jordan Thomas E, Cornwell Jeffrey C. Phosphorus burial in sediments along the salinity gradient of the Patuxent river, a subestuary of the Chesapeake Bay (USA) [J]. Estuaries and Coasts, 2010, 33: 92-106

THE DISTRIBUTION , CHEMICAL FORMS AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF PHOSPHORUS IN TIDAL-BEACH SURFACE SEDIMENTS OF JINJIANG RIVER

LIU Yue^{1 2} HU Gongren^{1 2} YUAN Donglin¹ GU Weishi¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering , Huaqiao University , Quanzhou , 362021 , China;

2. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment , Ministry of Education , East China University of Technology , Nanchang , 330013 , China)

ABSTRACT

In this paper , the total phosphorus in tidal-beach surface sediments of Jinjiang River was determined and the phosphorus speciation was further analysed. On the basis of this , the distribution , speciation characteristics , and the environmental impact of phosphorus in this area were discussed. The results showed that the content of total phosphorus ranged in 459. 6—986. 2 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ among the 14 sampling points along Jinjiang tidal beach. Comparing with other typical domestic tidal beaches , the content of total phosphorus is relatively high in this area. The general spacial distribution is middle stream > down stream > up stream. The results of phosphorus speciation analysis indicated that inorganic phosphorus accounted for 87. 4% of TP , and the main forms of phosphorus were calcium-bound phosphorus (Ca-P) , residual inorganic phosphorus (Re-P) , organic phosphorus (OP) , and Al and Fe-bound phosphorus ((Al + Fe) -P) , which accounted for 31. 2% , 28. 1% , 12. 6% and 26. 6% , respectively. The content of potential bio-available phosphorus(BAP) in sediments ranged in 90. 5—424. 94 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, the average content is 269 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$. The distribution of calcium-bound phosphorus(Ca-P) was influnced by the salinity of water ,its content obviously rises from Jinjiang tidal beach towards open sea in Quanzhou bay; but Al and Fe-bound phosphorus((Al + Fe) -P) is opposite , its content decreased gradually towards Quanzhou bay.

Keywords: surface sediments , phosohorus forms , Jinjiang tidal beach.