

黄河口沉积物中无机磷酸盐的存在形态*

林荣根 吴景阳

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 本文对1989年5月和8月采集的黄河口附近浅海表层沉积物及柱状沉积物进行了磷酸盐形态(吸附态磷、铝磷、铁磷、闭蓄态磷和钙磷)的分析,并对几个样品的不同粒级也分别作了形态分析。结果表明,钙磷占无机磷的大部分;闭蓄态磷次之;铝磷和吸附态磷再次之;铁磷含量极微。除钙磷(由于有矿物磷的存在)在粉砂粒级中含量最高外,其它各形态磷的含量均随粒度变细而增高。

关键词 黄河口 沉积物 无机磷酸盐 形态 粒度

磷是重要的生源要素之一,河口区水体中磷酸盐的含量直接影响海域生产力;磷酸盐又是水体发生富营养化的主要因素之一,沉积物则对上覆水的磷含量起着缓冲作用。然而沉积物中能参与界面交换及生物可利用磷的量,取决于沉积物中磷的形态。另外,沉积物中形态磷的研究还有可能提供关于沉积环境方面的信息。Nelson^[9]和Meyerson^[7]等都曾利用沉积岩和沉积物中的磷酸盐组分来推测古盐度并得到了满意的结果。

黄河口海域是我国的传统渔场,由黄河输出的巨量泥沙覆盖并影响着广大海域,而河口海域沉积物中磷的形态却研究得甚少。我们在研究了黄河口三角洲沉积物中总磷、无机磷和有机磷的分布^[1]的基础上,于本文着重分析无机磷酸盐的多种存在形态,包括在海洋沉积物中迄今尚未测定过的闭蓄磷。

一、材料与方 法

表层样品是于1989年5月与8月份二个航次采集的。柱状样是在5月份的航次采集的(图1)。样品的贮藏及预处理过程见另文^[1]。

对于分级分离,方法是从文献[3],[5],[10]和陈国良^[2]的方法经过修改和适应黄河口沉积物的特点而得到的。各形态磷的分析误差经双样测定为<5%。具体步骤如下。

1. 吸附态磷(Ads-P)的测定

称取磨细的干样0.5—1g置于100ml塑料瓶中,加入1.0mol/L NH₄Cl (pH用NaOH调至7)溶液50ml,在室温下振荡30min,离心(3000r/min, 10min),取上

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2070号。国家自然科学基金资助项目,基金号:4880246。

承蒙赵一阳、陈丽蓉、秦蕴珊教授的指导和审阅,谨志谢忱。

接受日期:1991年8月18日。

1) Lin Ronggen and Wu Jingyang, Distributions of total inorganic and organic phosphorus in the sediments near the Huanghe River Mouth, *Chinese J. Oceanol. Limnol.* 10(3) (in press).

2) 陈国良,1987,湖泊底泥不同形态磷的释放速率。

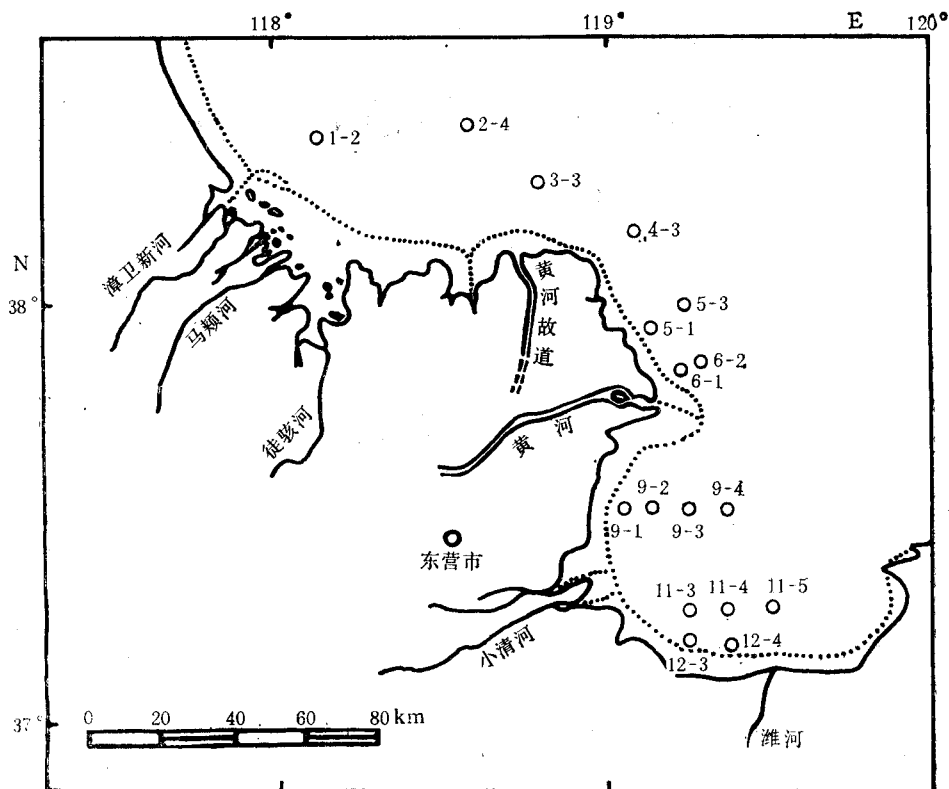


图1 采样站位图

Fig. 1 Sampling stations

层清液 25ml 于 50ml 容量瓶中用钼锑抗法^[4]测定,同时做试剂空白试验。

2. 铝磷 (Al-P) 的测定

浸提过 Ads-P 的泥样,加入 50ml NH_4F 溶液 (0.5mol/L, pH 用 NaOH 调至 8),在室温下振荡 1h,离心。取清液 20ml 于 100ml 塑料瓶中(不能用玻璃瓶,否则可能由于玻璃中硅酸盐的溶出而使分析结果偏高),加入 25ml 饱和 H_3BO_3 溶液,过夜,用钼锑抗法测定,同时做空白试验。

3. 铁磷 (Fe-P) 的测定

浸提过 Al-P 的泥样,用 30% 的 NaCl 溶液洗两次(每次 25ml,离心后弃去上层清液),然后加入 0.1mol/L NaOH 溶液 50ml (若样品含有机质较多,离心前加入 1g NaCl 以便分离),在室温下振荡 2h,静止过夜,再振荡 2h,离心分离,取 25ml 清液于 50ml 容量瓶中用钼锑抗法测定,同时做空白试验。

4. 闭蓄态磷 (Obs-P) 的测定

浸提过 Fe-P 的泥样,用 30% 的 NaCl 溶液洗两次(每次 25ml,离心后弃去上层清液),然后加入 0.3mol/L 柠檬酸钠溶液 40ml,充分摇匀,再加 1g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$,放入 80—90°C 水浴中,搅拌 30min,加入 0.50mol/L NaOH 10ml,继续搅拌 20min,冷却

后离心, 将上层清液倾入 100ml 容量瓶中。底泥样用 30‰ NaCl 溶液洗两次(每次 20ml), 离心后与上层清液一并倒入容量瓶中, 用水定容。吸取上述浸出液 5ml 于 50ml 三角瓶中, 加入三酸混合液 ($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4:\text{HNO}_3 = 1:2:7$) 5ml, 瓶口放一小漏斗, 在电炉上消煮, 待 HNO_3 和 HClO_4 全部分解, 有 H_2SO_4 回流时即可取下。稍冷后加水 25ml 煮沸。用 0.05mol/L H_2SO_4 溶液洗入 50ml 容量瓶中(留出 5ml 用作加钼锑抗显色液)。用不含 H_2SO_4 的钼锑抗显色液显色测定, 同时做空白试验。

5. 钙磷 (Ca-P) 的测定

提取过 Obs-P 的沉积物加入 0.25mol/L H_2SO_4 溶液 50ml, 在室温下振荡 1h, 离心。取 1.5ml 清液于 50ml 容量瓶中用钼锑抗法测定。同时做空白试验。

沉积物不同粒级的分离见另文¹⁾。

二、结果与讨论

1. 表层沉积物

分别选择几个粗颗粒样品和细颗粒样品进行了形态分析, 结果列于表 1。由表 1 可知, Ads-P, Al-P 与 Obs-P 在细颗粒样品中含量较高, Fe-P 似乎在粗颗粒样品中含量更高, 但不能确定, 因为其含量都在方法检出限附近。至于 Ca-P, 它与作者发现的无机磷在各不同粒级中的分布¹⁾一样, 即 Ca-P 含量粉砂 > 粘土 > 砂。如果样品的粉砂含量越高, 那么它的 Ca-P 含量也就越高。Ca-P 在粗颗粒样品中占 90% 左右, 而在细颗粒样品中, 它降为 70% 左右。这说明细颗粒样品相对来说富集 Ads-P, Al-P 和 Obs-P; 而粗颗粒样品尤其是粉砂含量较高的样品相对富集 Ca-P, 可能还有 Fe-P。

2. 深层沉积物

三个柱状样中 10 个不同深度样品的分级分离测定结果列于表 2。从表 2 可以看出, 不管是上层样品还是下层样品, 也不管岩心是从何处取的, Ca-P 总是占极大部分。这一点与文献 [8], [10] 的结果差不多, 他们对大西洋沉积物和日本 3 个海湾沉积物的研究表明, 无机磷中 Ca-P 占了 50% 以上。台湾海峡沉积物的研究表明^[1] Ca-P 也平均占 91%。不过在他们的实验中都没有测定 Obs-P。所有样品中的 Fe-P 含量都极少, Ads-P 与 Al-P 的含量也只占总无机磷的一小部分 (0.2—2.6%), Obs-P 所占的比重仅次于 Ca-P, 它占总无机磷的 2.6—24.8%。

从 3-3 岩心和 4-3 岩心上下层比较来看, 除 Ca-P 外, 所有形态磷的含量基本上都是下层大于上层, 因为 3-3 岩心与 4-3 岩心的两个上层样品都是在黄河口南迁以后沉积的²⁾。由于不再得到黄河细颗粒物质的补充^[2], 这 4 个上层样品的粒度都较下层为粗。从另文¹⁾中可以看到, 在这类样品中, 无机磷往往较富集, 而有机磷、Ads-P 等的含量就下降。由于 Ca-P 是无机磷的主要组成部分, 因此它的变化趋势与无机磷一致是正常的。从表 2 还可以看到 Al-P、Ads-P 和 Obs-P 都是上低下高, 与颗粒大小成反比。文献 [1] 也发现碱可提取部分 (Fe-P + Al-P), 与样品的粘土含量成正比。

1) 同第 387 页脚注 1)。

2) 李凤业、袁巍, 1991, 近代黄河三角洲海域²¹⁰Pb 多阶分布与河口变迁, 海洋与湖沼, (待刊)。

表 1 表层沉积物中各形态磷的含量及样品粒度组成

Tab. 1 Contents of different forms of inorganic phosphorus in surface sediments and granulometric composition of the sediments

样品	单位	Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P	Clay	Silt	Sand
11-4-5 ^{a)}	10 ⁻⁶	1.5	1.7	0.5	33.6	506	0.0	83.7	16.3
	(%)	0.3	0.3	0.1	6.2	93.1			
11-5-5	10 ⁻⁶	1.3	1.9	0.5	34.9	419	0.0	83.6	16.4
	(%)	0.3	0.4	0.1	7.6	91.6			
12-3-5	10 ⁻⁶	0.7	1.1	0.5	15.9	270	0.0	29.5	70.5
	(%)	0.2	0.4	0.2	5.5	93.7			
12-4-5	10 ⁻⁶	0.8	1.7	0.4	47.2	229	0.0	13.7	86.3
	(%)	0.3	0.6	0.1	16.9	82.0			
6-1-8 ^{a)}	10 ⁻⁶	1.3	4.2	0.2	37.7	454	7.8	59.5	32.7
	(%)	0.3	0.8	0.0	7.6	91.3			
2-4-5	10 ⁻⁶	3.5	10.8	0.3	101	390	57.1	42.9	0.0
	(%)	0.7	2.1	0.1	20.0	77.1			
1-2-5	10 ⁻⁶	9.8	14.4	0.0	156	375	65.2	34.8	0.0
	(%)	1.8	2.6	0.0	28.1	67.6			
5-1-5	10 ⁻⁶	4.4	8.5	0.2	132	388	62.1	37.7	0.2
	(%)	0.8	1.6	0.0	24.8	72.7			
5-3-5	10 ⁻⁶	6.3	7.7	0.0	95.9	385	62.3	37.3	0.4
	(%)	1.3	1.6	0.0	19.4	77.8			
6-2-5	10 ⁻⁶	7.0	8.2	0.2	123	387	67.2	32.8	0.0
	(%)	1.3	1.6	0.0	23.4	73.7			
9-1-5	10 ⁻⁶	6.2	9.5	0.0	118	363	57.2	42.5	0.3
	(%)	1.2	1.9	0.0	23.8	73.1			
9-2-5	10 ⁻⁶	6.7	9.3	0.2	145	368	62.5	37.3	0.2
	(%)	1.3	1.8	0.0	27.4	69.6			
9-3-5	10 ⁻⁶	6.0	9.9	0.0	134	372	59.2	40.8	0.0
	(%)	1.2	1.9	0.0	25.6	71.3			
9-4-5	10 ⁻⁶	6.2	9.8	0.2	145	357	61.5	38.5	0.0
	(%)	1.2	1.9	0.0	27.9	68.9			

a) 5 和 8 分别代表 1989 年 5 月和 8 月的航次。

更深层的沉积物 (>300cm) 分析结果也未表明它们的形态磷有什么特别之处, 似乎 Al-P, Ads-P 含量较高, 但这可能是沉积物颗粒较细所引起的。文献 [1] 在研究台湾海峡沉积物时也没有发现明显的由于早期成岩作用而引起的各形态磷的垂直变化。

文献 [10] 发现 Al-P 和 Fe-P 随深度的增加而降低。Krom 和 Berner 也发现总无机磷在生物扰动层内, 随着深度的增加而迅速降低, 并把这种现象归因于氧气耗尽, 三价铁被还原为二价铁而引起的磷的释放^[6]。在我们所研究的柱状样中, 由于从上到下粒度变化很大, 无法知道是否也存在这种趋势。

3. 不同粒级沉积物中无机磷的形态

将样品分成不同的粒级后进行无机磷的形态分析, 结果见表 3。

(1) 对 Ads-P, Al-P 和 Obs-P (Fe-P 含量极低, 在各粒级中的变化也不大) 而言, 颗粒越细, 含量越高。这可能是因为颗粒越细, 单位重量沉积物的表面积就越大, 所以

表 2 深层沉积物中各形态磷的含量

Tab. 2 Contents of different phosphorus forms in deep sediments

岩心	层次 (cm)	单位	Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P
3-3	10—15	10^{-6}	3.0	3.8	0.2	60.3	450
		(%)	0.6	0.7	0.0	11.6	87.0
	15—20	10^{-6}	1.7	2.2	0.2	12.4	459
		(%)	0.4	0.5	0.0	2.6	96.5
	60—80	10^{-6}	3.6	9.0	0.1	40.4	334
		(%)	0.9	2.3	0.0	10.4	86.3
	80—100	10^{-6}	3.1	7.5	0.1	57.6	330
		(%)	0.8	1.9	0.0	14.5	82.9
4-3	5—15	10^{-6}	1.2	2.0	0.1	42.2	534
		(%)	0.2	0.3	0.0	7.3	92.1
	20—40	10^{-6}	1.9	2.3	0.2	13.4	455
		(%)	0.4	0.5	0.0	2.8	96.2
	80—100	10^{-6}	3.8	6.1	0.1	35.2	372
		(%)	0.9	1.5	0.0	8.4	89.2
	100—130	10^{-6}	3.9	8.0	0.4	128.9	378
		(%)	0.8	1.5	0.1	24.8	72.8
11-3	250—300	10^{-6}	6.5	10.6	0.7	23.2	425
		(%)	1.4	2.3	0.2	5.0	91.2
	300—342	10^{-6}	9.9	14.0	0.0	96.6	426
		(%)	1.8	2.6	0.0	17.7	78.0

磷酸盐含量就越高。

(2) Ca-P 的分布有些特殊, 它的含量极大值不象通常人们所观察到的在粘土粒级中, 而在粉砂粒级中。这可以解释为由于在我们的样品中所发现的矿物磷灰石不仅仅存在于颗粒表面, 因此 Ca-P 的含量与表面积(即样品粒度)无关。

(3) 对任何样品、任何粒级来说, Ca-P 都是总无机磷的主要组成部分。

实际上, 如果我们计算一下各形态磷之间及各形态磷与各粒级 ($>63\mu\text{m}$, $63-31\mu\text{m}$, $31-16\mu\text{m}$, $16-8\mu\text{m}$, $8-4\mu\text{m}$ 和 $<4\mu\text{m}$) 含量之间的相关系数(表 4) 就可以清楚地看出: Ads-P, Al-P 和 Obs-P 的存在方式基本相同, 因为它们之间有着非常显著的正相关关系(样品数 = 18)。而 Fe-P 则与 Ads-P, Al-P 和 Obs-P 有着非常好的负相关关系。说明在 Ads-P, Al-P 和 Obs-P 含量高的区域, Fe-P 含量就低; 反之就高。Ca-P 看来是自成体系的, 它与其它所有形态的磷酸盐都没有显著的相关关系。

从表 4 还可以看出 Ads-P, Al-P 和 Obs-P 主要存在于细颗粒沉积物中 ($<16\mu\text{m}$), 因为它们的含量与 $<16\mu\text{m}$ 的各粒级含量有很好的正相关关系, 而与 $>31\mu\text{m}$ 的各粒级含量有很好的负相关关系。Fe-P 主要存在于粗颗粒中 ($>31\mu\text{m}$)。Ca-P 含量虽然与所有粒级沉积物的含量都不存在很好的相关关系, 但从相关系数的符号上可以认为它主要存在于 $16-63\mu\text{m}$ 的粉砂粒级中。这一结果与我们的实测结果(表 3) 是基本一致的。这也进一步说明了由于磷灰石矿物的存在, Ca-P 与其它形态磷所表现的性质不同, 它主要存在于粉砂中。

表 3 不同粒级沉积物中各形态无机磷酸盐的含量

Tab. 3 Contents of inorganic phosphorus forms in different grain size of sediments

样品	单位	>63 μm						63-4 μm						<4 μm					
		Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P		Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P		Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P	
2-4-5 ^{a)}	10 ⁻⁶ (%)							2.4	3.6	0.1	64.7	461	5.2	21.6	0.5	155	283		
11-4-5	10 ⁻⁶ (%)	1.0	1.5	0.8	23.7	293	0.5	0.7	0.0	12.2	86.7	1.1	4.6	0.1	33.3	60.8			
11-5-5	10 ⁻⁶ (%)	1.3	1.9	0.5	23.8	225	1.3	2.0	0.4	47.6	639								
12-3-5	10 ⁻⁶ (%)	0.5	0.8	0.2	9.4	89.1	0.2	0.3	0.1	6.9	92.6								
12-4-5	10 ⁻⁶ (%)	0.7	1.1	0.5	16.0	227	1.0	1.9	0.4	14.4	1117								
6-1-8 ^{a)}	10 ⁻⁶ (%)	0.3	0.4	0.2	6.5	92.5	0.1	0.2	0.0	1.3	98.4								
	10 ⁻⁶ (%)	0.8	1.6	0.4	47.7	180	1.0	2.1	0.4	44.0	537								
	10 ⁻⁶ (%)	0.3	0.7	0.2	20.7	78.1	0.2	0.4	0.1	7.5	91.9								
	10 ⁻⁶ (%)	0.5	1.5	0.2	21.7	235	1.6	2.8	0.1	41.6	597	2.7	26.6	0.6	75.5	281			
	10 ⁻⁶ (%)	0.2	0.6	0.1	8.4	90.8	0.2	0.4	0.0	6.5	92.8	0.7	6.9	0.2	19.5	72.7			
平均	10 ⁻⁶	0.9	1.5	0.5	26.6	232	1.6	2.4	0.3	43.2	691	4.0	24.1	0.6	115	282			

a) 5和8分别代表1989年5月和8月的航次。

表 4 各形态磷之间及各形态磷同各粒级之间的相关系数矩阵

Tab. 4 Correlation coefficient matrix between different forms of inorganic phosphorus and different particle size phases

	Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P
Ads-P	1.00000				
Al-P	0.89883	1.00000			
Fe-P	-0.71814	-0.70436	1.00000		
Obs-P	0.89000	0.90084	-0.53337	1.00000	
Ca-P	-0.06772	-0.11028	-0.01178	-0.17652	1.00000
<4 μm	0.77760	0.85724	-0.70561	0.80638	-0.14917
4-8 μm	0.79770	0.79066	-0.62012	0.78002	-0.01973
8-16 μm	0.62303	0.75495	-0.53947	0.57025	-0.16126
16-31 μm	0.24156	0.35655	-0.51925	0.07406	0.36867
31-63 μm	-0.72665	-0.83287	0.61807	-0.74046	0.32881
>63 μm	-0.61250	-0.64824	0.67752	-0.55074	-0.37526

如果我们作进一步的统计运算即在各形态磷含量和各粒级含量之间进行多元回归分析,结果见表 5。虽然表中的理论计算值与实测值(表 3)有一定的差异,但它们仍与我们在前面讨论的结果相一致,即 Fe-P 在粗颗粒中含量较高, Al-P, Ads-P 和 Obs-P 在细颗粒中含量较高,而 Ca-P 则主要存在于粉砂粒级中。

表 5 多元回归分析结果^{a)}

Tab. 5 Results of multiple regressions

各形态磷	<4 μm	4-63 μm	>63 μm	R
Ads-P	8.2	1.8	0.0	0.7859
Al-P	13.5	2.6	0.0	0.8619
Fe-P	0.0	0.3	0.6	0.7555
Obs-P	172	23.7	22.4	0.8064
Ca-P	170	346	149	0.6671

a) 表中数值单位为 10^{-6} , R 为复相关系数, $N = 18$ 。

4. 不同区域沉积物中无机磷酸盐各形态含量的比较

不同沉积物(土壤)形态磷的分析结果(表 6)表明,黄河口地区沉积物中无机磷酸盐的形态分布与黄河河床质沉积物及黄土一致。Ca-P 的含量与台湾海峡沉积物差不多,但 Al-P, Fe-P 较低。日本三海湾 15 个样品的平均值表明,在他们的样品中 Al-P 和 Fe-P 含量大大高于黄河口沉积物,而 Ca-P 却比黄河口沉积物低得多。北部湾沉积物中总无机磷的含量很低,相对来说, Fe-P, Al-P 含量较高。至于南京玄武湖的淡水沉积物,相对于总无机磷来说, Fe-P, Al-P 与 Obs-P 就更显得高,相反 Ca-P 的相对含量就低(只占总无机磷的 20%)。

以上讨论表明,不同沉积环境具有不同的磷酸盐形态分布。这可以解释为由于从淡水到海水,钙的含量大为增加,而沉积物与上覆水体中的磷酸盐之间存在着某种平衡关系。在沉积物孔隙水中铁与钙的化学活动性也不相同:铁的活动性从淡水向海相沉积物

逐渐降低,钙的活动性却随着盐度的增加而增大。因此河湖相淡水沉积物中磷酸盐主要是 Fe-P,而海相磷酸盐却几乎全是 Ca-P^[7,9]。所以 Ca-P 含量多的地方 Fe-P 一定少,反之 Ca-P 少的地方 Fe-P 就一定多,这是由沉积环境所决定的。文献 [7],[9] 就是根据这一性质即利用 Ca-P 含量/(Fe-P + Ca-P 含量)与盐度的经验关系式来推测古盐度的。对黄河口沉积物来说,由于碎屑磷灰石的存在¹⁾我们不能用此法来推测古盐度^[7]。但对北部湾的沉积物来说,从沉积磷酸盐推测出来的古环境(古盐度)与古生物数据²⁾基本相符。

表 6 不同沉积物中无机磷酸盐形态含量的比较

Tab. 6 Comparison of the contents of inorganic phosphorus forms in different sediments

样 品	单位	不同形态无机磷酸盐的含量				
		Ads-P	Al-P	Fe-P	Obs-P	Ca-P
黄河口表层沉积物(本文)	10 ⁻⁶	6.2	9.8	0.1	128	376
(9)	(%)	1.2	1.9	0.0	24.6	72.3
黄河河床(本文)	10 ⁻⁶	3.7	3.2	0.3	64.4	414
(2)	(%)	0.8	0.7	0.1	13.3	85.3
日本三海湾 [10]	10 ⁻⁶	24	117	65	—	188
(15)	(%)	6.1	29.7	16.5	—	47.7
北部湾(本文)	10 ⁻⁶	0.6	6.6	14.9	43.5	119
(4)	(%)	0.3	3.6	8.1	23.6	64.5
台湾海峡 [1]	10 ⁻⁶	5.8		29.6	—	326
(20)	(%)	1.6		8.2	—	90.2
南京玄武湖 ^{*)}	10 ⁻⁶	—	83.8	519	194	197
(15)	(%)	—	8.4	52.2	19.5	19.8
黄土 [4]	10 ⁻⁶	—	—	—	—	—
(%)	(%)	—	极少	极少	10-25	65-85

注: 括号中数字为样品数。

^{*)} 陈国良, 1987, 湖泊底泥不同形态磷的释放速率, 南京大学硕士论文。

三、小 结

1. 在所有样品中 Ca-P 占总无机磷的大部分, 其次是 Obs-P, Al-P, Ads-P 和 Fe-P。

2. 在所有磷酸盐形态中, 除 Ca-P 以外, 都是颗粒越细, 磷含量越高。Ca-P 在粉砂粒级中的含量最高。

3. 在形态磷含量分布上, 如果排除样品粒度的影响, 表层样品与深层样品没有明显的差别。除了南部几个站位以外 (其物质主要来源于南部几条小河, 其它都是黄河来的物质), 区域之间也没有明显的差别。

4. 本海区形态磷的含量分布与黄土及黄河河床物质相近, 而与日本三海湾、台湾海峡、北部湾, 尤其是南京玄武湖的沉积物不同。由于本研究样品中碎屑磷酸钙含量很高, 因此不能用沉积磷酸盐法来推测古盐度。

1) 同第 387 页脚注 1)。

2) 陈丽蓉等, 1990, 南海北部湾沉积环境研究总结报告。

5. 多元统计分析的结果与实验值基本相符。

参 考 文 献

- [1] 许金树、李亮歌, 1990, 台湾海峡中、北部沉积物中磷的存在形态, *海洋与湖沼*, **21**(1): 62—69。
- [2] 秦蕴珊、李凡, 1986, 黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响, *海洋科学集刊*, **27**: 125—135。
- [3] 蒋柏藩, 1988, 土壤磷, 科学出版社, 95—124。
- [4] Aminot, A., 1983, Dosage du phosphore mineral dissous, Cnexo Bndo/Documentation, pp. 135—142.
- [5] Chang, S. C. and Jackson, M. L., 1957, Fractionation of soil phosphorus, *Soil Sci.*, **84**: 133—144.
- [6] Krom, M. D. and Berner, R. A., 1981, The diagenesis of phosphorus in a nearshore marine sediment, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **45**: 207—216.
- [7] Meyerson, A. L., 1972, Pollen and paleosalinity analysis from a Holocene tidal marsh sequence, Cap May County, *New Jersey. Mar. Geol.*, **12**: 335—357.
- [8] Morse, J. W. and Cook, N., 1978, The distribution and form of phosphorus in North Atlantic Ocean deep-sea and continental slope sediments, *Limnol. Oceanogr.*, **23**: 825—830.
- [9] Nelson, B. W., 1967, Sedimentary phosphate method for estimating paleosalinities, *Science*, **158**: 917—920.
- [10] Yamada, H. and Kayama, M., 1987, Distribution and dissolution of several forms of phosphorus in coastal marine sediments, *Oceanol. Acta*, **10**(3): 311—321.

FORMS OF INORGANIC PHOSPHORUS IN THE SEDIMENTS NEAR THE HUANGHE RIVER ESTUARY*

Lin Ronggen and Wu Jingyang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

ABSTRACT

Different inorganic phosphorus forms (Ads-P, Al-P, Obs-P and Ca-P) of surface and core sediments taken from the area near the Huanghe River Estuary in May and August, 1989 were analysed. Some of them were fractionated into sand, silt and clay before phosphorus form analyses. Ca-P was found to be the major component of the total inorganic phosphorus, Obs-P the second, Al-P and Ads-P the third. Fe-P existed in minor quantities. Except that the Ca-P content was highest in the silt fraction due to the existence there of mineral apatite, the contents of all other forms increased with decreasing sample particle size.

Key words Huanghe River Estuary, Sediment, Inorganic phosphorus, Forms, Particle size.

* Contribution No. 2070 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.