

胶州湾东部磷的形态及分布^{*}

赵夕旦¹ 祝陈坚¹ 举鹏² 史致丽¹

(¹ 青岛海洋大学 266003)

(² 青岛市化工原料总公司 266002)

提要 报道了胶州湾东部自 1990 年 11 月 ~1991 年 8 月 4 个季节各种磷的含量及分布情况:总磷年平均含量为 $3.26 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$;颗粒磷是主要形态,占总磷的 52%,溶解态无机磷占 24%;秋季各种磷含量最高,是矿化再生的主要季节。春、冬浮游植物大量繁殖,吸收磷酸盐,浓度下降。夏季磷受物理混合过程所控制。

关键词 胶州湾东部,颗粒磷,溶解磷,形态,分布

1980~1981 年测得胶州湾溶解态无机磷范围为 $0.22 \sim 0.90 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ^[1];1987 年 5 月测得为 $0.02 \sim 2.23 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ^[2],最近的研究尚未见报道。本文选取了 1990~1991 年不同季度月的调查资料,探讨了胶州湾东部各种形态磷的含量和分布,对于胶州湾东部的开发利用和环境保护有着重要意义。

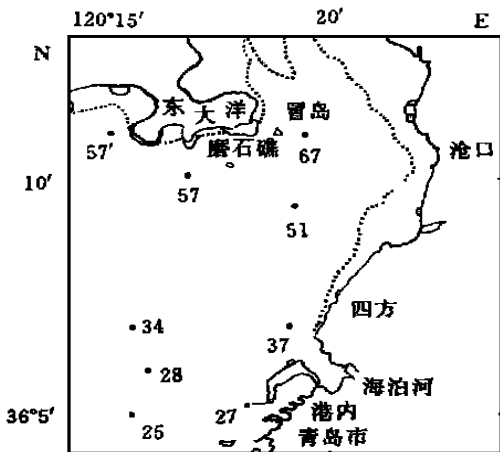


图 1 站位分布

Fig. 1 Location of sampling sites

1 调查方法

1.1 采样站位及时间

调查范围为胶州湾 120°15' 以东,共 10 个站位(图 1)。1990 年 11 月、1991 年 2 月、5 月和 8 月进行了 4 个航次调查。

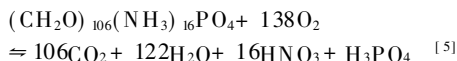
1.2 采样及测定方法

表层水样用塑料桶采集,以浮游植物型网采集浮游植物样品。水样经孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 的滤膜过滤,分别测定各种溶解态磷及颗粒磷,按《Methods of Seawater Analysis》(Grasshoff, 1983)上的方法测定。

2 结果与讨论

2.1 空间变化

胶州湾各季节表层海水各种磷的范围、平均值及占总磷的百分数见表 1。由表 1 可知 4 个季节中以秋季各种形态磷的含量最高,特别是溶解态无机磷(DIP)几乎是其余 3 个季节的 3 倍。同时,秋季各形态磷皆与表观耗氧量(AOU)成正相关($n=8, r>0.76$),而与 pH 成很好的负相关($n=8, r>0.96$),表明秋季发生有机体分解氧化作用,是磷的矿化再生季节:



胶州湾东部总磷(TP)和各种形态磷的平面分布如图 2 所示:沿东岸自东向西,呈递减梯度变化。高值区多数分布在东岸的海泊河口,而湾中部则为低值区。

以磨石礁为界,将胶州湾东部分区,各形态磷的平均含量及占总磷的百分数见表 2。由表 2 可知磨石礁以东各种磷含量都高于以西地区,特别是 DIP,东部沿岸是西部中间区的 5~8 倍,表明磨石礁以东受陆地排水影响较大,而导致磷含量过高。下面将分别讨论 DIP、溶解态有机磷(DOP)、颗粒磷(PP)、TP 的不同季节的含量分布及变化情况。

* 国家自然科学基金资助项目 48970274 号。
收稿日期:1996 年 11 月 8 日

2.1.1 DIP

秋季 DIP 最高含量 $10.3 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 出现在海泊河口的 37 号站, 该站所在区域是磷的一个源。磨石礁以东含量均大于 $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 呈富营养状态。

冬季 DIP 含量有所下降, 最低值出现在磨石礁附近的 57, 57' 两站, 皆为 $0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 接近分析检测限, 但其浮游植物量相差颇大, 57' 站的浮游植物

细胞数量是 57 号站的 9 倍多, 达到该季节最高值 $36 \times 10^6 \text{Cell} \cdot \text{m}^{-3}$, 原因可能在于 57 号站 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量较低 ($\text{SiO}_3\text{-Si} = 0.09 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$), 而对硅藻的继续繁殖起了限制作用。57' 中 DOP 占 TP 的 67%, 为本季节最高值。表明浮游植物大量繁殖后消耗 DIP 释放 DOP。

表 1 各种形态磷含量变化范围及平均值 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

Tab. 1 The concentrations of different species of phosphorus ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)

时间 (年. 月)	DIP	DIP TP	DOP	DOP TP	PP	PP TP	TP
1990. 11	0.13~ 10.1 1.75	0.30	0.05~ 8.67 1.34	0.23	0.86~ 11.6 2.34	0.47	0.46~ 30.4 5.43
1991. 2	0.05~ 2.33 0.57	0.21	0.20~ 1.67 0.65	0.29	0.07~ 2.85 1.03	0.50	1.02~ 4.07 2.25
1991. 5	0.14~ 1.57 0.67	0.24	0.24~ 1.17 0.63	0.25	0.74~ 2.26 1.19	0.51	0.97~ 4.24 2.48
1991. 8	0.07~ 3.63 0.62	0.24	0.05~ 1.48 0.36	0.16	0.27~ 14.3 2.12	0.60	0.54~ 19.4 3.10
年平均	0.88	0.24	0.73	0.24	1.65	0.52	3.26

表 2 胶州湾东部各区域不同季节各形态磷含量及所占比例

Tab. 2 The concentration of varies forms of phosphorus in different area of Jiaozhou Bay

时间 (年. 月)	区域	DIP	DIP TP	DOP	DOP TP	PP	PP TP	TP
1990. 11	磨石礁以东	3.42	0.33	2.60	0.26	4.21	0.41	10.2
	磨石礁以西	0.41	0.21	0.33	0.20	1.10	0.59	1.87
1991. 2	磨石礁以东	0.98	0.31	0.92	0.26	1.23	0.43	3.12
	磨石礁以西	0.16	0.11	0.39	0.28	0.84	0.61	1.38
1991. 5	磨石礁以东	1.11	0.24	0.88	0.33	1.50	0.43	3.50
	磨石礁以西	0.22	0.14	0.36	0.25	0.88	0.61	1.45
1991. 8	磨石礁以东	1.11	0.22	0.55	0.11	3.35	0.67	4.99
	磨石礁以西	0.14	0.22	0.17	0.14	0.89	0.74	1.21

春、夏两季其 DIP 平均含量相差不多, 且与盐度成负相关, 说明 DIP 受物理混合过程所控制。这两个季节磨石礁以西 DIP 含量均小于 $0.40 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 小于吴瑜端等^[3]所示磷的浮游植物生长限制值。但春季浮游植物量最高, 夏季最低, 相差近 7 倍。因此, 仅仅由 DIP 含量不能断定其受磷的限制。

2.1.2 DOP

从 DOP 所占总磷比例来看, 磨石礁以东区域, 自秋季升高, 至春季达到最高值, 之后夏季降到最低, 而磨石以西区域则提前一个季节于冬季达到最高值。对比 DIP 所占比例变化来看, 磨石礁以东由秋季到夏季是逐渐减小, 而磨石礁以西则表现出秋、夏两季 DIP 比

例较高, 冬、春两季所占比例较低的规律, 这主要是由于冬春两季浮游植物大量繁殖, 吸收 DIP, 释放 DOP 所致。在春、夏两季 DOP 与盐度成负相关, 表明其受物理混合过程所控制。

2.1.3 PP

PP 是胶州湾中磷的主要形态, 年均占总磷的 52%。PP 在磨石礁以东区域含量同样高于磨石礁以西, 而所占总磷百分数却低于后者, 原因可能是由于东部溶解态磷含量较高, 处于富营养状态, 浮游植物对磷浓度影响较小所致。由表 2 可知秋、夏两季 PP 含量较高, 可能由于秋季是磷的矿化再生季节。夏季正值丰水期, 且与盐度成负相关, 受外源输入影响。

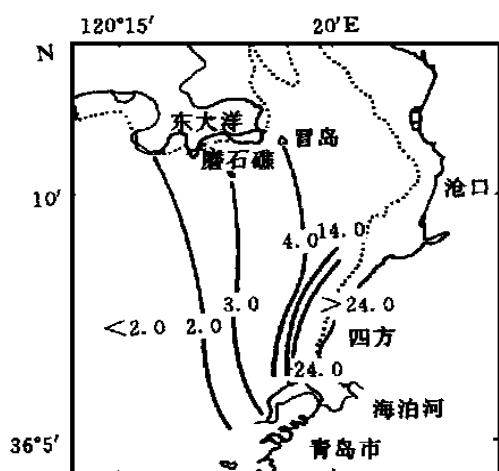


图2 胶州湾表层海水 TP 的平面分布
(1990年11月)

Fig. 2 The distribution of TP in Nov. 1990 in Jiaozhou Bay

夏季 PP 与 AOU、pH 呈负相关, 表明 PP 受光合作用所影响。浮游植物量 (P_m) 与 PP 之间成正相关(37 号站除外):

$$P_m = -0.304 \times 10^6 + 1.00 \times 10^7 PP$$

$$n = 8, r = 0.795$$

上式表明该季节 PP 部分来源于浮游植物。

2.1.4 总磷(TP)

总磷除秋季与 AOU 和 pH 成正比外, 其余三个季节皆与盐度成负相关, 表明其受物理混合过程所控制。

表3 各航次平均浮游植物量($\times 10^6$ Cells \cdot m $^{-3}$)

Tab. 3 The average amounts of phytoplankton in four cruises ($\times 10^6$ Cells \cdot m $^{-3}$)

时间(年·月)	90.11	91.2	91.5	91.8
细胞数量($\times 10^6$)	6.5	12	30	4.1

2.2 时间变化

胶州湾表层水 4 个航次调查, 各种形态磷的平均含量(表 1) 与浮游植物量(表 3) 的消长关系见图 3。

对比历史资料发现, 胶州湾中各种形态磷皆呈增加趋势, 1987 年 5 月的调查值^[2]同 1991 年 5 月相比, DIP 平均含量增大了 1 倍多, 而与磨石礁以西数值相比(表 2), 则相差不大。PP 数值较高, 表明生活污水和生产废水经由东岸排入胶州湾, 及水产养殖业的施肥等都使胶州湾的磷呈逐年增加趋势。与其他中国海域相比, 其含量亦较高, 表明胶州湾正向富营养化发展, 特别是东岸河口区已达到富营养化, 为赤潮的发生带来了潜在的威胁^[4]。

由图 3 发现, 胶州湾中各形态磷的季节变化大致相似并与浮游植物量的消长基本一致。

秋季(11 月): 浮游植物量较低, 各种磷含量则为全年最高值, 主要受有机体分解所控制, 可能是 1990 年夏季有一次浮游生物高峰, 其死亡之后, 在秋季发生磷的矿化再生现象。刁焕祥^[1]在 1980 年的调查表明, 9 月份有一次浮游植物高峰期, 而在 11 月份细胞数量降到最低。实际上 1990 年 6 月间发生过一次中噬虫赤潮^[4]。秋季可溶态无机磷含量达到最高, 表明该季节是胶州湾磷酸盐矿化再生的主要季节。这与英吉利海峡

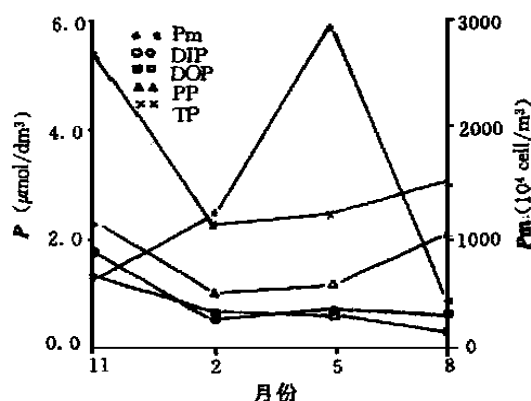


图3 胶州湾各形态磷及浮游植物的时间变化

Fig. 3 The seasonal variation of phosphorus and phytoplankton in Jiaozhou Bay

类似。冬季(2 月): 浮游植物开始大量繁殖, 吸收磷酸盐, 各种磷含量下降, 有的站点 DIP 几乎被耗尽, 该季节 DIP 仍受有机体分解所控制。

春季(5 月): 在本航次调查中, 浮游植物量平均为全年最高, 比其他季节高 2~7 倍, 属“春花期”。该季节除 PP 外, 皆受物理混合过程所控制, 各种形态磷含量变化不大。

夏季(8 月): 水温最高, 限制了浮游植物的繁殖, 浮游植物量降到全年最低值, DIP 含量也达到最低点, 但 TP 和 PP 含量有所回升, 各种形态磷均受物理混合过程所控制, 地表径流影响较大。

3 小结

3.1 胶州湾中总磷年变化范围为 0.46~30.4 $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 年平均 3.26 $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。其中 PP 是磷的主要形式, 年均占总磷的 52%, DOP 则占 24%, DIP 占 24%, 秋季为磷的矿化再生季节; 春、夏两季, 磷为物理混合所控制。

3.2 各形态磷的平面分布大致类似, 东部远高于西部和湾中部。历史资料对比表明, 胶州湾磷呈增加趋势。

参考文献

[1] 刁焕祥, 1984. 海洋湖沼通报 2: 45~ 49.

[2] 史致丽等, 1989. 青岛海洋大学化学系建系三十四年专

集. 海洋出版社, 139~ 145.

[3] 吴瑜端等, 1989. 海洋学报 11(5): 576~ 580.

[4] 孙耀等, 1993. 海洋环境科学 12: 25~ 31.

[5] W. M. Smetie Jr, 1987. *Deep-Sea Res.* 34(5/6): 986-1006.

THE FORMS AND CONCENTRATIONS OF PHOSPHORUS IN SEAWATER IN THE EASTERN JIAOZHOU BAY

Zhao Xidan, Zhu Chenjian, Ju Peng and Shi Zhili

(*Ocean University of Qingdao* 266003)

Received: Nov. 8, 1996

Key Words: The eastern of Jiaozhou Bay, Partical phosphorus, Dissolved phosphorus, Forms and distribution

Abstract

The present work investigates the concentration and distributions of various forms of phosphorus in eastern Jiaozhou Bay based on the data of four cruises from Nov. 1990 to Aug. 1991. The annual average of total phosphorus is $3.26 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, particulate phosphorus is the main forms, it occupies 52% of TP and dissolved inorganic phosphorus occupies 24%. The concentration of various forms of phosphorus is highest in the autumn, and autumn is the main seasons of mining and regenerating of phosphorus. The concentration of phosphorus in summer is controlled by physical mixing process.