

北海湾磷的化学形态及其分布转化规律*

韦蔓新 童万平 何本茂 赖廷和

(广西海洋研究所 北海 536000)

摘要 根据 1998 年 10 月和 1999 年 1 月、4 月和 8 月的调查资料,首次较全面地讨论了北海湾磷的存在形态及其分布转化规律,通过相关计算,分析了不同形态磷的相互关系及其影响因素。

关键词 磷,存在形态,北海湾

海水中磷的分布和变化不但受陆地径流、水体运动、有机体分解等物理化学过程的影响,而且与生物活动密切相关。它主要包括无机磷及有机磷两大类,以溶解的或颗粒形态存在,即溶解无机磷(DIP)、总磷(TP)、总溶解磷(TDP)、溶解有机磷(DOP)、颗粒磷(TPP)。它们之间的相互转化,生物过程起着主要作用^[1-2]。探讨海水中各种形态磷在海洋环境中的分布转化等地球化学过程及其与环境因素的关系,对研究和保护海洋生态环境均有重要意义。但目前对此研究甚少,广西沿海未曾作过此项调查。本文通过 1998 年 10 月、1999 年 1 月、4 月和 8 月的调查研究资料,首次较全面地讨论了北海湾水体中磷的存在形态及其迁移转化规律,在相关分析的基础上,阐明了影响该湾各种形态磷迁移转化的主要因素。

1 环境概况及分析方法

1.1 环境概况

北海湾位于北海地角镇至南流江口一带被陆岸包围的海域(东经 108°56'30"~109°08'30",北纬 21°29'30"~21°35'00"),是广西沿海五大海湾之一。根据其三面靠陆、一面临海的环境特点,本次调查共布设 9 个测站,见图 1。

1.2 分析方法

DIP 的样品经 0.45 μm 滤膜减压过滤后,用磷钼蓝分光光度法测定;TP 及通过 0.45 μm 滤膜的 TDP 均采用过硫酸钾氧化-磷钼蓝分光光度法测定;DOP 为 TDP 与 DIP 之差值;TPP 为 TP 与 TDP 之差值。

2 结果与讨论

2.1 水体中不同形态磷的分布转化及其相互关系

2.1.1 磷的平均含量及其形态变化
北海湾不同形态磷的平均含量见表 1。

表 1 不同形态磷的平均含量及其所占 TP 的百分比 (mg/L)

Tab.1 The average contents of various forms of phosphorus and their percentages in TP (mg/L)

调查时间 (年-月)	DIP	DOP	TDP	TPP	TP
1998-10(秋)	0.007 9	0.019	0.027	0.026	0.053
	14.91	36.04	50.94	49.06	
1999-01(冬)	0.006 5	0.0095	0.016	0.011	0.027
	24.07	35.19	59.26	40.74	
1999-04(春)	0.006 5	0.015	0.021	0.032	0.053
	12.26	27.36	39.62	60.38	
1999-08(夏)	0.008 8	0.012	0.021	0.030	0.051
	17.25	23.92	41.18	58.82	

注:表中每栏数据中,上一行为平均值下一行占 TP 的百分率。

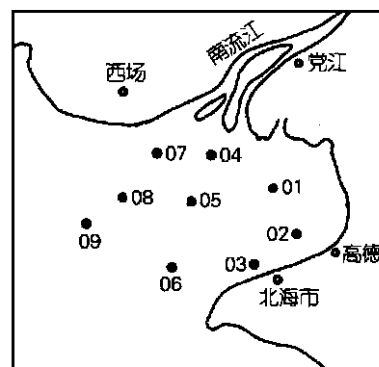


图 1 调查站位

Fig.1 Sampling stations

从表 1 结果看,本湾不同形态磷的含量及其存在形态随季节变化比较明显。就 TP 而言,除冬季含量

* 广西自然科学基金资助项目 9811018 号。

收稿日期:2000-01-10;修回日期:2000-04-20

较低外,春、夏、秋三季度月含量较高,且量值相当; TPP 则表现为春、夏季高,秋季其次,冬季最低;而 TDP 和 DOP 则以秋季为高,春、夏季其次,冬季为低;至于 DIP 则为夏、秋季高而冬、春季低。在形态转化方面,秋、冬季节 TDP 与 TPP 占 TP 的百分比差值不大,说明秋、冬季节本湾水体中磷的存在形态分配较为均衡;春、夏季节,则以 TPP 为主要存在形态,其占 TP 的百分比达 60.38%和 58.82%。但在 TDP 中,4 个季节月均以 DOP 的存在形态为主,说明 DOP 也是该湾磷的重要存在形态,是影响 TDP 分布变化的主要因素。

从区域上看,不同季节不同区域由于各种物理化学条件和生物环境的变化对水体中磷的形态分布有很大的影响,磷的形态变化较大。在秋季,无论是 TDP 还是 TPP,所有测站占 TP 的比例是比较一致的, TDP 在 50.79%~52.00%之间,而 TPP 则在 48.00%~49.21%之间。冬季,55.6%的水体以 TDP 为主要存在形式,尤以中部海域最为明显,44.6%的水体则以 TPP 为主要存在形态,尤以 01 和 07 站为高。春季,由于陆地迳流骤增,陆源水带入大量的颗粒含磷化合物,湾内 88.9%的水体以 TPP 为主要存在形态,只有 08 站以 TDP 的存在形态为主。夏季,南流江迳流进入丰水期,在江河水带入大量颗粒含磷化合物的同时,北海沿岸排污亦带入大量的溶解态含磷化合物,虽然该季度月仍以 TPP 的存在形态为主,但所占比例较春季有所下降,只有 75.0%的水体具有如此特征。说明春、夏两季度月北海湾水体中颗粒磷有着特殊重要的地位,是总磷分布变化的主要控制因素。

2.1.2 不同形态磷的分布及其相互关系

图 2 展示了本湾 TP 及 TPP, TDP, DOP 和 DIP 4 种形态磷不同季节的分布转化规律。结果表明,不同形态磷的含量随着季节和区域的变化具有明显不同的特征。春季,由于南流江沿岸水带入大量的含磷化合物, TP 及 TPP 和 DOP 两种形态磷的含量均以南流江口沿岸海域较高,合浦、北海沿岸海域次之,湾外海域较低;而 TDP 则以北海至中部海域一带含量较低,其余海域含量较高; DIP 则与此相反。夏季为年迳流量最大的季节,但各种形态磷的含量除 TPP 仍保持南流江口海域较高外, TP, TDP 和 DOP 的高值区均出现在沿岸排污影响较大的北海沿岸海域,其余海域含量均较低,尤以 DOP 最为明显,南流江口至合浦沿岸一带几乎为零值。DIP 则以北海至中部海域含量较低。秋季,除 DIP 外, TP 及 TPP, TDP 和 DOP 3 种形态磷的分布趋势极为一致,均以北海沿岸海域为高,中外部海域次之,高德至南流江口海域为低,在量值上依 TP→TDP→TPP→DOP 次序递减;而 DIP 除合浦沿岸海域较高外,其余测站变化甚小。冬季,不同形态磷的分布

与各季度月明显不同, TP, TDP 和 DOP 的高值区均出现在湾中部及湾外海域,合浦至高德沿岸一带含量较低; TPP 则以南流江口海域为高,湾中部为低; DIP 则与此相反。

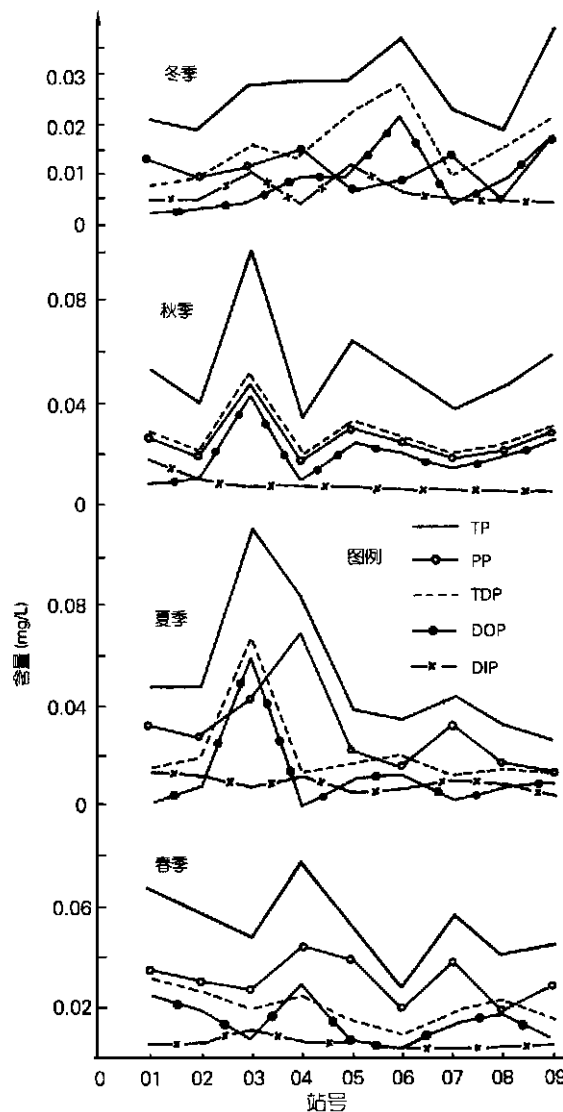


图 2 4 个季度月不同形态磷的含量分布 (mg · L⁻¹)

Fig. 2 The distribution of various states of phosphorus contents in four

纵观不同形态磷 4 个季度月的分布变化,可以清楚地看到,各种形态磷之间的关系是极为密切的,尤其是 TPP, TDP 和 DOP 与 TP 之间,无论从调查时间上,还是从空间分布上,除冬季 TP 与 TPP 相关性稍差外,其余的置信水平均在 95% 以上,均具有良好的正

相关关系(见表2),说明该湾磷在固液相的分配基本处于一稳定状态^[2],同时也说明 TPP, TDP, DOP 对 TP 具有相当重要的影响;而 DIP 与 TP 之间则没有相关性,说明 DIP 对 TP 的影响是微不足道的;至于 TPP 与 TDP、DOP 之间,唯有在秋季时呈显著正相关,春季为低度正相关,冬、夏季则不相关。这说明,春、秋季 TDP 和 DOP 与 TPP 在含量分布上具有比较密切的关系;TPP 与 DIP 之间虽然关系不十分密切,但冬季也呈现

出明显的负相关趋势,夏季则呈正相关趋势;DIP 与 DOP 之间除冬季不相关外,其余3个季度月均表现出明显的负相关趋势,表明了北海湾 DIP 和 DOP 形态之间的转化关系。

2.2 不同形态磷与环境因子的关系

由于北海湾是集江河径流、沿岸排污和增养殖于一体的半封闭式海湾,环境条件比较复杂,因而,影响各种形态磷分布的因素是多方面的。本文通过对不

表2 不同形态磷的相关系数($n=9$)

Tab.2 The correlation coefficients between various forms of phosphorus

季节	TP-TPP	TP-TDP	TP-DOP	TP-DIP	TPP-TDP	TPP-DOP	TPP-DIP	DIP-DOP
春	0.87	0.85	0.79	0.067	0.48	0.41	0.16	-0.31
夏	0.78	0.77	0.69	0.21	0.19	0.091	0.55	-0.40
秋	0.9997	0.9997	0.92	0.018	0.9988	0.92	0.019	-0.37
冬	0.36	0.85	0.85	0.093	-0.19	-0.011	-0.43	-0.094

同形态磷与盐度、SS、COD 和 Chl-a 的相关分析,详细讨论了该湾不同季节4种环境因子对不同形态磷的影响程度。

从表3的分析结果看来,不同季节,不同环境因子对不同形态磷的影响是复杂的。就 TP 来说,夏、秋季节其含量分布与有机污染物(COD)有比较密切的关系,其次是 Chl-a,它们之间均具有正相关关系,只是与 COD 的相关性较好,与 Chl-a 的相关性略差,这与夏、秋季度月沿岸排污及生物活动有关;但在春季,则与盐度和 SS 关系密切,前者呈良好的负相关,而后者则呈良好的正相关,这是陆源径流与外海水综合影响的结果。因为春季是农田施用大量含磷化肥的季节,由于雨水冲刷而被携带入海,在陆源水与外海水混合过程中,被悬浮颗粒物吸附后的含磷化合物,在高盐度水体中因离子交换作用又被释放出来^[3],从而出现磷含量随盐度的增加而下降,随悬浮物的增加而升高的特征分布;冬季,除与 COD 呈低度负相关外,与其他因子基本不相关,表明该季度月环境因子与 TP 之间并无密切关系。TPP 与环境因子的关系与 TP 相比要密切得多,4个季度月 TPP 的含量均与 COD 呈良好的正相关(见表3),尤以夏、秋季节较为明显,这说明,TPP 的含量分布与沿岸排污有较密切的关系。春夏季节,盐度和 SS 与 TPP 的关系也很密切,前者呈良好的负相关,后者呈良好的正相关。至于与 Chl-a 之间的关系,除夏季呈良好正相关外,其余季节相关趋势不明显。显然,在径流骤增的春、夏季节,陆源有机含磷化合物的排入与该湾 TPP 分布密切相关,而生物活动只有在夏季时较为明显。秋冬季节,除与 COD 关系较为密切外,只有秋季与 Chl-a 具有低度正相关趋势,其余因子相关性不明显,说明秋冬季节

TPP 的含量主要与陆源排污及水体中有机体分解的化学过程有关。TDP、DOP 与环境因子的关系,虽然其趋势与 TPP 多有相似之处,但相关程度却大为不一。TDP、DOP 与 COD 之间4个季度月仍具有较密切的关系,但以秋冬季的相关性较好,春、夏季较差,而且春、秋季表现为正相关,冬、夏季则表现为负相关。从 TDP、DOP 与盐度和 SS 的关系中我们可以看到,春季 TDP、DOP 与盐度呈中度负相关,与 SS 呈良好正相关,夏季则与此相反,且相关性较差,这说明南流江水在向北海湾输送 TDP 和 DOP 方面,以春季的贡献较大。至于 Chl-a 与 TDP 和 DOP 之间,除秋季关系较为密切、呈正相关趋势外,其余季度月均无明显相关趋势,表明生物活动对 TDP 和 DOP 的影响相对于 COD、盐度和 SS 而言,是比较次要的。DIP 与环境因子的关系,与其余形态磷相比有明显不同,无论是盐度、SS 还是 Chl-a,它们对 DIP 的影响均以夏、秋季较为明显,相关性以与盐度和 Chl-a 较好,与 SS 较差;DIP 与 COD 之间,则以夏季关系较为密切,表现为正相关,冬季一般,表现为负相关。这表明,夏、秋季节陆源水对 DIP 的贡献最大,至于生物作用,夏季以再生过程为主,其余3个季度月均以消耗过程为主。

综合上述分析结果,北海湾不同形态磷的分布与 COD 具有比较密切的关系,无论是在丰水期的夏季、枯水期的冬季,还是平水期的春、秋季节,除春、秋季 DIP 外, COD 均与各形态磷呈明显的相关趋势,尤以秋季最为明显,这与沿岸水的补给及水体中有机物质氧化分解而获得再生有关;盐度和 SS 与各种形态磷的关系以陆地径流影响较大的春、夏季为主,其中以与 TPP 的关系较为密切,与 TDP 和 DOP 次之, DIP 则例外,只有在夏、秋季时表现出良好相关。这说明陆

表 3 不同形态磷与盐度、SS、COD 和 Chl-a 的相关系数

Tab.3 The correlation coefficients between various forms phosphorus and salinity, SS, COD and Chl-a (n=9)

项目	TP	TPP	TDP	DOP	DIP	
盐度	春	-0.72	-0.77	-0.52	-0.51	0.054
	夏	-0.27	-0.77	0.36	0.46	-0.72
	秋	-0.072	0.063	-0.074	0.24	-0.81
	冬	0.10	-0.27	0.26	0.30	-0.042
SS	春	0.83	0.68	0.75	0.73	-0.056
	夏	0.34	0.83	-0.32	-0.39	0.50
	秋	-0.29	-0.29	-0.29	-0.42	0.42
	冬	0.095	0.18	0.005	0.040	-0.10
COD	春	0.23	0.68	0.56	0.49	0.15
	夏	0.72	0.75	-0.41	-0.51	0.69
	秋	0.89	0.89	0.90	0.80	0.064
	冬	-0.37	0.62	-0.75	-0.58	-0.47
Chl-a	春	0.11	0.19	-0.0009	0.065	-0.23
	夏	0.52	0.85	-0.068	-0.21	0.87
	秋	0.44	0.44	0.44	0.64	-0.61
	冬	-0.047	-0.046	-0.020	0.20	-0.47

地迳流在向北海湾输送磷方面,对 TPP 的贡献最大,其余形态磷相对较小。Chl-a 与各形态磷之间,以与 DIP 的关系较为密切,4 个季度月均具有明显的相关趋势,以夏季较好,秋季次之,冬春季较差;与 TP 和 TPP 之间则以夏秋季关系较为密切,尤以 TPP 夏季较为明显;而与 TDP 和 DOP 之间,只有在秋季关系较好,其余季度月基本不相关。这说明生物对磷的吸收利用是以 DIP 为主,TPP 次之,TDP 和 DOP 相对较差。

3 结论

3.1 北海湾海水中不同形态磷的含量变化具有

THE CHEMICAL FORMATIONS OF PHOSPHORUS IN BEIHAI BAY AND THEIR RULES OF DISTRIBUTION AND TRANSFORMATION

WEI Ma-xin TONG Wan-ping HE Bei-mao LAI Ting-he

(Guangxi Institute of Oceanography, Beihai 536000)

Received: Jan.10,2000

Key Words: Beihai Bay, Phosphorus, Existing formation, Interrelation, Influence factors

Abstract

Based on the quarterly investigation from October 1998 to August 1999, the existing formation of phosphorus in Beihai Bay and its rule of distribution and transformation were comprehensively studied for the first time. Through by correlation calculation some interrelations between various states of phosphorus and their influence factors are analyzed.

(本文编辑:张培新)

明显的季节性和区域性。在春、夏、秋 3 个季度月,南流江陆源水和北海沿岸排污是该湾磷的主要供应源,而在冬季,则以海洋自身磷的再生为主。在形态转化方面,秋、冬季以溶解态磷为主要存在形态,而在春、夏季,则以颗粒态磷为主要存在形态。但在溶解态磷中,4 个季度月均以溶解有机磷的存在形态为主,溶解无机磷在整个海域中占总磷的比例较低,含量变化也不大。

3.2 不同形态磷之间的关系,随季节变化较大,秋季 TP 与 TPP, TDP 和 DOP 均具有显著的正相关关系,表明本湾水体中颗粒磷、总溶磷和溶解有机磷具有同源性,是总磷分布变化的重要控制因素;TPP 与 TDP, DOP 呈显著正相关,说明本湾溶解态磷及溶解有机磷有着特殊重要的地位,是支配颗粒磷分布变化的主要因素。

3.3 影响北海湾不同形态磷的环境因素,随磷的来源及季节变化而改变,总的说来与 COD 的关系最为密切;至于盐度和悬浮物,只有在迳流大的春、夏季节才显示其重要地位;对于 Chl-a 与不同形态磷的关系,只有在夏秋季时才明显体现出来。

参考文献

- 1 李悦等.海洋环境科学,1998.17(1):15~19
- 2 彭云辉等.热带海洋,1996.15(2):28~35
- 3 陈希青等.台湾海峡,1998.17(3):255~261