

研究简报

台湾海峡中北部上升流区各种形态磷的化学特性*

陈 水 土

(福建海洋研究所, 厦门 361002)

摘要 根据 1988 年 7 月调查资料讨论了台湾海峡中北部海域夏季上升流区各种形态磷的分布特征。结果表明, 上升流中心区(即海坛岛东侧一带水域)具有低温、高盐、低溶解氧; DIP, TDP, PP, TP 较高; DOP 较低(0.27); 及 DIP/DOP 比值(约为 1)较高的特性。DOP 是该海域磷的主要形态(占 TP 的 49.2%), 其含量分布及其形态转化与生物活动直接相关, 是该海域生物生产力高的体现。

关键词 上升流区 台湾海峡中北部 溶解态无机磷 溶解态有机磷 颗粒态磷 总磷

上升流将富含营养盐的深层水带到表层, 促成了上升流区真光层的高生产力。磷是上升流生态系的主要营养要素, 有些研究已把磷作为判定上升流存在的一种辅助性指标(肖晖, 1988)。但该海域磷的研究多限于溶解态无机磷(DIP)(福建海洋研究所, 1988; Hung et al., 1987), 而对溶解态有机磷、颗粒态磷等形态的研究尚欠缺。1988 年 7 月福建海洋研究所与中国科学院海洋研究所在台湾海峡上升流区联合进行了调查研究, 本文根据所得的资料, 讨论该上升流区各种形态磷的分布特征, 首次涉及该海域溶解态有机磷(DOP)、总溶解态磷(TDP)、颗粒态磷(PP)和总磷(TP)等形态的特性, 初步揭示该上升流区磷的地球化学行为。

1 采样分析

各种形态磷的调查研究资料是 1988 年 7 月在台湾海峡中北部海域(24°05'—26°00' N, 118°45'—121°00'E)取得的, 站位见图 1。水样采集后, 在船上实验室立即用处理过的、0.45 μm 微孔滤膜减压过滤。滤膜冷藏保存, 作 PP 测定用。部分滤液加硫酸固定(pH = 2), 以便测定 TDP, 其余滤液立即用于测定 DIP 和硝酸盐、活性硅酸盐等。DIP 用抗坏血酸为还原剂的磷钼蓝法测定。TDP 和 PP 用过硫酸钾氧化法测定(陈水

* 国家自然科学基金资助, 4860241 号。

参加海化调查的还有阮五崎、张钊、杨尧、吴丽云等。阮五崎研究员对本文提出修改意见。海洋生物和水文资料分别由朱长寿和黄荣祥、梁红星等提供, 谨志谢意。

收稿日期: 1991 年 10 月 5 日, 接受日期: 1992 年 9 月 3 日。

土等,1991a)。DOP = TDP - DIP, TP = TDP + PP。各形态磷含量单位为 $\mu\text{mol/L}$, 文中从略。

2 结果与讨论

2.1 各种形态磷的含量变化 1988年7月该海域各形态磷含量的平均值、变化范围及其占总磷的百分数列于表1。由表可见, DOP 是该海域磷的主要形态, 占总磷的比例平均高达 49.2%, 占有举足轻重的地位。PP 也占有相当重要的比例。DOP, PP 与生物活动的关系相当重要。已有研究(赖利等, 1982)表明 DOP 是生物必需磷的一个不可忽视的来源。DOP 高是本海域生物活动强盛, 生物生产力高的表现。

由表 2 可见, 本海区 DIP 含量在不同调查期间的变化不大, 与毗邻的台湾省西南沿岸海域 (Hung et al., 1987) 相近。与同期调查的闽南-台湾浅滩渔场上升流

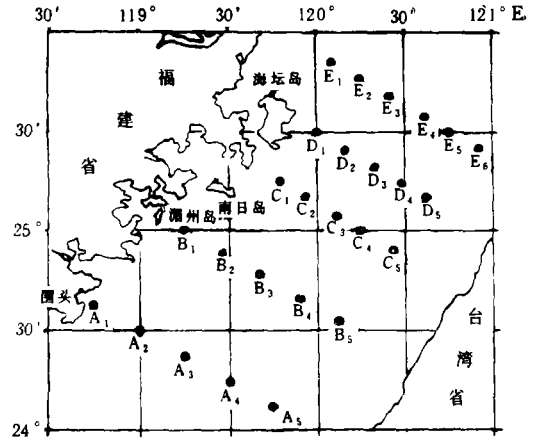


图 1 采样站位布设

Fig. 1 Locations of sampling stations in the central and northern Taiwan Strait

表 1 各种形态磷的含量及其占总磷的百分数

Tab. 1 The contents of several species phosphorus and their percent in TP in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait

	DIP	DOP	TDP	PP	TP
平均值	0.14±0.10	0.31±0.03	0.45±0.07	0.18±0.11	0.63±0.15
变化范围	0.01—0.39	0.23—0.38	0.34—0.64	0.05—0.68	0.39—1.25
占 TP 的%	22.2	49.2	71.4	28.6	—

表 2 某些海区几种形态磷含量的比较

Tab. 2 The comparison of species phosphorus contents in some areas

调查海区	时间	DIP	DOP	PP	作者
本调查海区	1988年7月	0.14±0.10	0.31±0.03	0.18±0.11	本文作者
台湾海峡中北部	1983年7—8月	0.13			福建海洋研究所, 1988
台湾西南沿岸水	1985年8月	0.12±0.07			Hung Tsu-chang 等, 1987
闽南-台湾浅滩	1988年7月	0.29±0.23	0.22±0.08	0.16±0.07	陈水土等, 1991b
北阿得里亚海	1980—1984年	0.11	0.17	3.8	Ivancic, 1987
	6—8月	0.0—0.52	0.04—1.11	0.40—13.7	
东北太平洋	1965年5月	1.26	0.22		Holm-Hansen, 1966
(<200m)		0.2—2.0	0.1—0.4		

区 ($21^{\circ}52'—24^{\circ}10'N$, $116^{\circ}35'—118^{\circ}51'E$) (陈水土等, 1991b) 相比, 本海区 DIP 较低, DOP 较高, PP 接近。与太平洋沿岸上升流区 (Holm-Hansen et al., 1966) 比较, 本海区也是 DOP 较高, DIP 低得多。本海区 PP 比受波河污染的北阿得里亚海 (Ivancic et al.,

1987) 少得多。

2.2 各种形态磷的分布特征与上升流中心位置 该海域 TDP, TP, PP 与 DIP 的分布规律相似,平面各层分布一般呈现西部沿岸较高,向东递降的趋势。表层在南日岛至海坛岛东北侧的局部海域出现 $TDP > 0.5$, $DIP > 0.2$, $TP > 0.7$ 的高磷区,随着深度增大,高磷区范围扩大;底层局部海区 $TDP > 0.6$, $DIP > 0.3$, $TP > 1.0$ (图 2、图 3)。该海域 DOP 变化幅度小(表 1),分布也较均匀,体现了“海洋中溶解有机物质含量具有一般的均匀性”(赖利等,1982)。整个海区 DOP 为 0.3 左右,表层在南日岛至海坛岛东

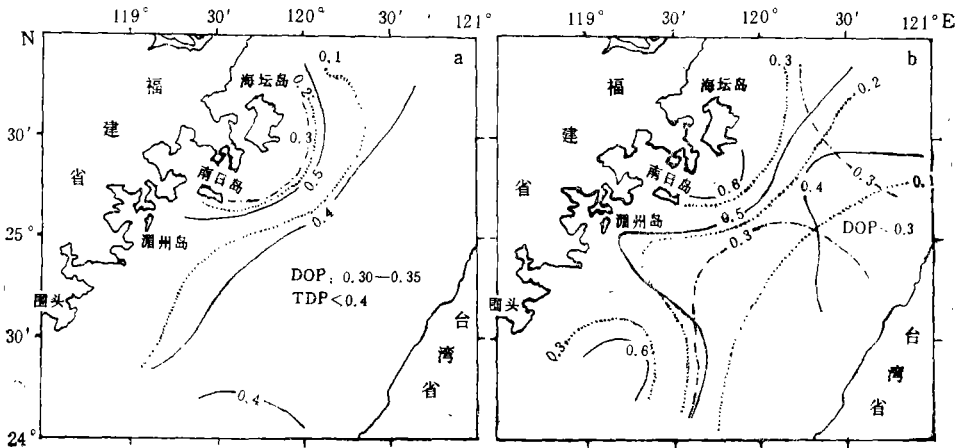


图 2 1988 年 7 月 TDP, DIP 和 DOP 的平面分布

Fig. 2 The horizontal distributions of TDP, DIP and DOP in July, 1988 in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait

—TDP; DIP; -·-·-DOP. a. 表层; b. 底层。

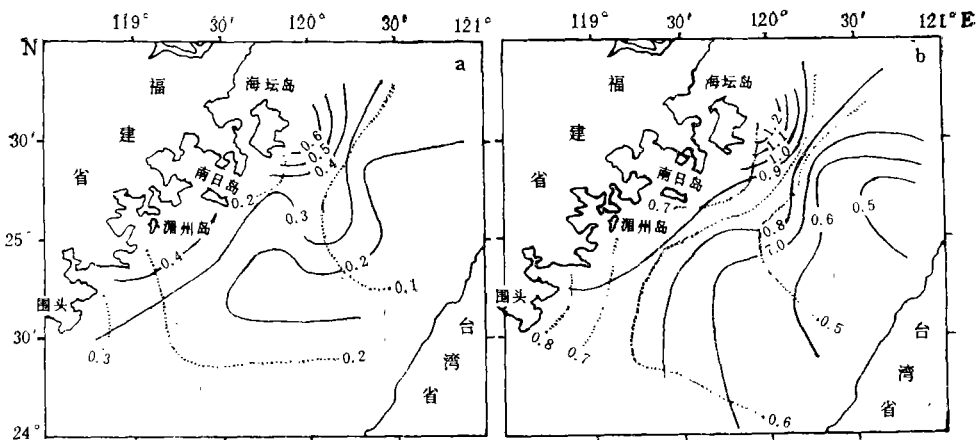


图 3 1988 年 7 月 PP(a)、TP(b) 平面分布

Fig. 3 The horizontal distributions of PP(a), TP(b) in July, 1988 in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait

.....表层; —底层。

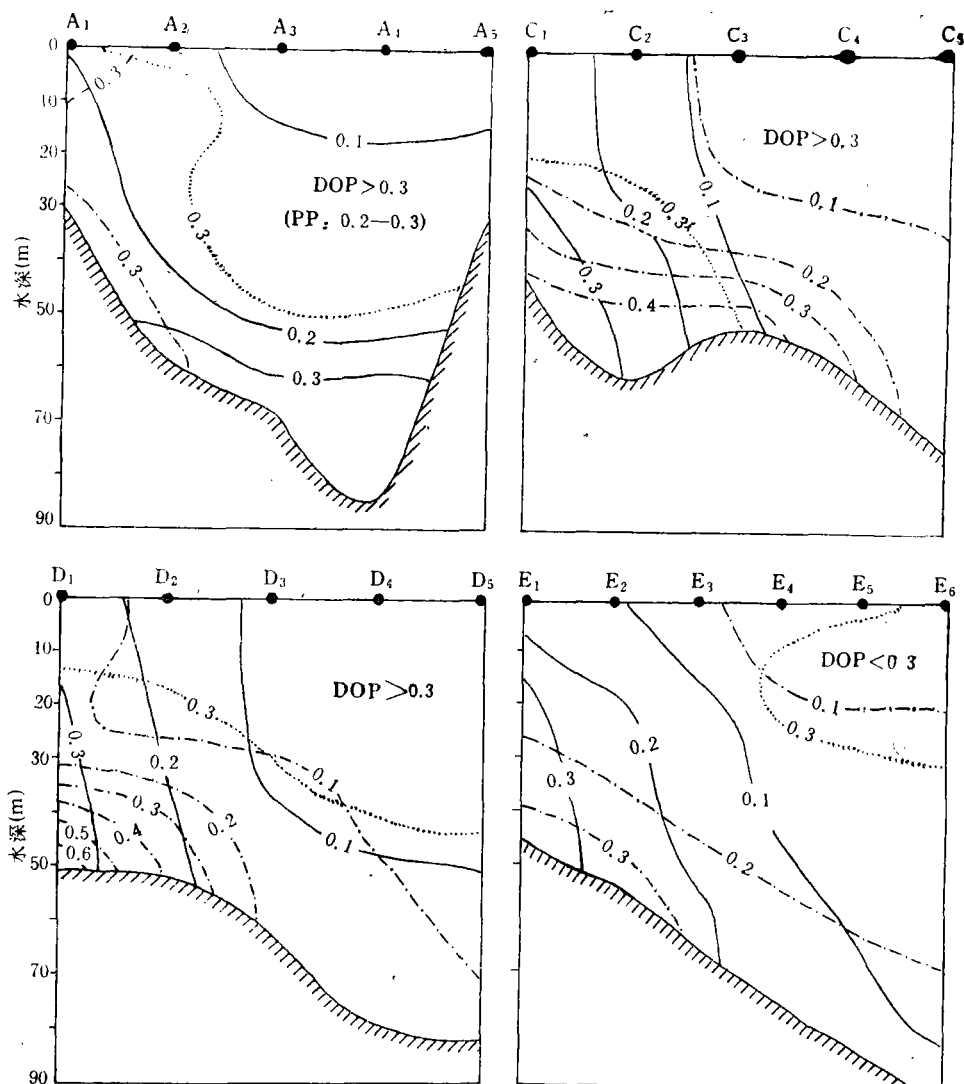


图 4 1988 年 7 月 DIP, DOP, PP 的断面分布

Fig. 4 The vertical distributions of DIP, DOP and PP in July, 1988 in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait

— DIP; DOP; - · - · - PP.

侧一带 $DOP < 0.3$, 其余皆介于 $0.30-0.35$, 水深增大, 整个沿岸 $DOP < 0.3$ (图 2)。

TDP, DIP, PP, TP 的断面分布(图 4)呈现近岸底层高 ($TDP > 0.5$, $DIP > 0.2$, $TP > 0.7$), 向外、向上递降的趋势。A 断面略有不同, 高磷水出现在底层 ($TDP > 0.6$, $DIP > 0.3$)。局部区域 PP 垂直变化梯度大。上层与东部海域 PP 分布较均匀, 大部分介于 $0.1-0.3$ 。DOP 断面分布显近岸、底层较低, 远岸较高(图 4)。夏季西部近岸水域的高磷分布特征是低温、高磷的深层水沿坡向岸涌升的结果。

1983 年—1988 年多次调查结果(陈水土等, 1991; 黄荣祥, 1989; 福建海洋研究所, 1988; Hung et al., 1987), 确定福建沿岸上升流中心位置经常出现在海坛岛北侧至涇

洲岛一带海域。1988年7月在南日岛至海坛岛东侧一带水域表层出现低温、高盐、溶解氧低且为氧不饱和区(陈水土等, 1991a), 与上述高磷区出现的范围一致。

夏季在西南季风作用下, 上升流锋近岸抬升最高, 且随离岸距离增加而下倾。各断面深层水抬升的程度各有差异, 在 A, B, E 断面, 高磷水 ($DIP > 0.2$, $TDP > 0.5$, $TP > 0.7$) 占据底层和近岸中、下层, 尚未抬升达表层; 而在 C, D 断面, 底层上升的高磷水已达近岸水域表层。这一结果进一步证实该局部海域是福建沿岸上升流的中心位置。

2.3 上升流区的化学特征 本调查海域近岸底层区(包括各断面近岸第一个站表层至底层, 以及远岸各站大于 30m 深水域)与远岸上层区(包括各断面除近岸第一个站外的远岸各站 0—30m 深水域)比较, 特点是温度较低、盐度较高、溶解氧含量及其饱和度较低, 营养盐含量(包括 SiO_3 , NO_3 , DIP 及 TP , TDP , PP 等形态磷)较高, 但 DOP 含量较低(表 3)。该上升流中心区 (C_1, D_1 站)具有温度更低(比全海域低 $1.5^\circ C$), 溶解氧不饱和度更低, 营养盐及 DIP , TDP , PP , TP 含量更高, DOP 含量更低的特征(表 3)。 DIP/DOP 比值在东部海域较低, 西部沿岸较高(>0.6), 上升流中心区接近于 1(图 5)。

表 3 上升流中心区各化学要素特征值

Tab. 3 The Characteristics value of the chemical elements in the location of the upwelling centre in the central and northern Taiwan Strait

化学要素(单位)	上升流中心区	近岸底层区	东部上层区	全海域(平均)
$T(^{\circ}C)$	24.92 ± 1.33	25.37	27.50	26.46 ± 1.73
s (%)	34.32 ± 0.18	34.3	34.16	34.25 ± 0.18
TP ($\mu mol/L$)	0.78 ± 0.17	0.71	0.54	0.63 ± 0.15
PP ($\mu mol/L$)	0.22 ± 0.16	0.22	0.14	0.18 ± 0.11
TDP ($\mu mol/L$)	0.56 ± 0.03	0.49	0.40	0.45 ± 0.07
DOP ($\mu mol/L$)	0.27 ± 0.03	0.29	0.33	0.31 ± 0.03
DIP ($\mu mol/L$)	0.28 ± 0.05	0.20	0.07	0.14 ± 0.10
NO_3 ($\mu mol/L$)	5.13 ± 1.80	4.19	4.23	4.21 ± 2.01
SiO_3 ($\mu mol/L$)	4.35 ± 0.89	2.83	0.82	1.80 ± 2.16
O_2 (ml/L)	4.23 ± 0.17	4.39	4.61	4.50 ± 0.23
O_2 (%)	88.8 ± 5.5	93	100.9	97 ± 6.9

该海域 DIP , TDP , PP , TP 等与温度呈显著的负相关关系, 同时与盐度呈正相关关系; DOP 则相反, 与温度呈正相关关系, 同时与盐度呈负相关关系(表 4)。各种形态磷与温度、盐度的相关关系在某种程度上表征着上升流的表观强度。

表 4 各种形态磷与温度、盐度间的一元线性相关系数

Tab. 4 The correlation coefficient between several species phosphorus and temperature and salinity in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait

	n	DIP	DOP	TDP	PP	TP
T	78	-0.8071	0.5067	-0.7639	-0.4484	-0.6834
S	78	0.6216	-0.4712	0.5648	0.3000 ¹⁾	0.4830

1) 示显著性水平 $\alpha = 0.01$, 其余 $\alpha = 0.001$ 。

2.4 溶解态有机磷与生物活动的关系 该上升流区水体得到营养盐丰富的深层水补充, DIP 较高, 局部区域浮游植物生长较旺盛, Ch1 *a* 含量一般较高, 但 Ch1 *a* 与 DIP 的变化并非同步, 两者的相关性较不明显。在上升流中心区, 涌升作用强, DIP/DOP 比值最大(约为 1), 但浮游植物量较低(D₁ 站 Ch1 *a* 较低), 沿岸海域浮游动物总生物量(BZP)也较低(图5)。随着上层水离岸向外辐散, 水中营养盐在向东推移过程逐渐为浮游植物同化(C₁至C₃站 Ch1 *a* 较高), 浮游动物摄食浮游植物, 东部海域 BZP 较高, DOP 含量也较高, BZP > 100 mg/m³ 的区域与 DIP/DOP < 0.2 的区域相一致(图5)。东部上层水域 DOP 也与 Ch1 *a* 呈正相关关系($r = 0.5771, a = 0.01$)。浮游生物的新陈代谢产物以及生物碎屑都包含溶解态有机磷。DOP 的分布与生物生产力有显著的关系。在生物活动较强的上层水域, DOP 较高, 下层 DOP 逐渐减少。DOP 与溶解氧含量(DO)呈正相关关系, 尤其是近岸底层区(相关系数 $r = 0.5532, a = 0.001$); 在缺氧的底层, DOP 转化为 DIP。

鉴于 DOP 在磷形态转化及生物活动中的重要作用, 我们将 DOP 对营养盐(DIP, SiO₃-Si, NO₃-N), 浮游动、植物(BZP, Ch1 *a*), 盐度, 溶解氧(DO)等参数作多元线性逐步回归: $DOP = -0.216 DIP - 0.0169s + 0.0153Ch1 a + 1.23 \times 10^{-4} BZP + 0.892$ ($r = 0.8683, n = 78$) 其结果反映出浮游动、植物释放的磷是水中 DOP 的主要来源, 而分解为 DIP 是 DOP 转化的主要途径, 盐度变化所体现的水体运动对 DOP 的分布变化有重要的影响。本调查区 DIP 与 DOP 呈显著的负相关关系: $DOP = 0.34 - 0.25 DIP$ ($r = -0.7292, a = 0.001$)。

3 结语

3.1 该调查海域 DIP, TDP, PP, TP 的分布皆呈现近岸底层高, 向外海、上层递降的趋势。在海坛岛东侧出现局部高磷区(DIP > 0.2, TDP > 0.5, TP > 0.7), 与上升流中心位置一致。

3.2 该上升流中心区的特征是低温(24.92℃)、高盐(34.32)、低氧(4.23ml/L)且不饱和(88.8%); DIP, TDP, PP, TP 含量高(分别为 0.28, 0.56, 0.22, 0.78), 而 DOP(0.27)低, DIP/DOP 比值高(约为 1), 营养盐高(NO₃-N, 5.13; SiO₃-Si, 4.35)。DIP, TDP, PP, TP 与温度呈正相关关系, 同时与盐度呈负相关关系, 而 DOP 则相反。

3.3 DOP 是该海区磷的主要形态, 占总磷的 49.2%。DOP 含量分布及形态转化与浮游

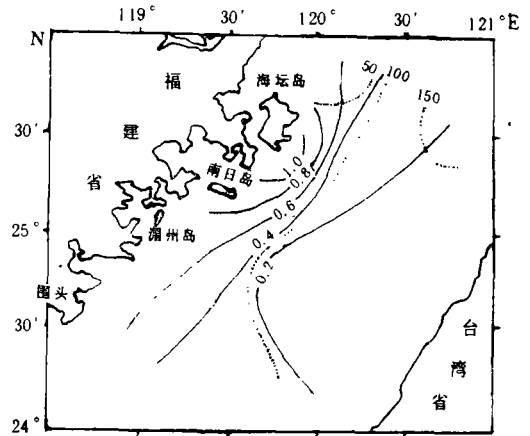


图5 1988年7月DIP/DOP比值及浮游动物生物量(BZP)分布

Fig. 5 The distributions of ratio of DIP/DOP and biomass of zooplankton in July, 1988 in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait

—DIP/DOP;BZP(mg/m³).

动、植物活动直接相关,是该海域生产力高的体现。

参 考 文 献

- 肖晖, 1988, 台湾海峡西部沿岸上升流的研究, *台湾海峡*, 7(2): 151—159。
- 陈水土等, 1991a, 台湾海峡中北部夏季溶解氧饱和度分布与上升流的关系, *台湾海峡*, 10(1): 17—24。
- 陈水土等, 1991b, 闽南—台湾浅滩渔场上升流区磷的研究 I. 溶解态磷的分布特征及其与上升流的关系, 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系研究, 科学出版社(北京), 179—188。
- 黄荣祥, 1989, 台湾海峡中北部海域的上升流现象, *海洋湖沼通报*, 4: 8—12。
- 福建海洋研究所, 1988, 台湾海峡中、北部海洋综合调查研究报告, 科学出版社(北京), 224—243, 180—184。
- 赖利, J. P. 和斯基罗, G. 主编, 崔晨清等译, 1982, 化学海洋学, Vol. 2, 海洋出版社(北京), 283—297, 327—375。
- Ivancic, I. and Degobbi, D., 1987, Mechanism of production and fate of organic Phosphorus in the Northern Adriatic Sea, *Mar. Bio.*, 94(1): 117—125。
- Holm-Hansen, O. et al., 1966, A detailed analysis of biologically important substances in a profile off southern California, *Limnol. Oceanogr.*, 11: 548。
- Hung, Tsu-chang et al., 1987, Chemical and biomass studies: (2) Biological Activities in upwelling off the southwestern coast of Taiwan including the Penghu area., *Acta Oceanogr. Taiwanica*, 18: 62—74。

CHARACTERISTICS OF SEVERAL SPECIES PHOSPHORUS IN THE UPWELLING AREA OF THE CENTRAL AND NORTHERN TAIWAN STRAIT

Chen Shuitu

(The Fujian Institute of Oceanology, Xiamen 361002)

ABSTRACT

The distribution of dissolved inorganic phosphorus (DIP), dissolved organic phosphorus (DOP), total dissolved phosphorus (TDP), particulate phosphorus (PP) and total phosphorus (TP) in summer in the upwelling area of the central and northern Taiwan Strait were studied. The results showed that the high phosphorus waters (DIP > 0.2, TDP > 0.5, TP > 0.7) upwell to the surface layer in the eastern of the Haitan Island, where is the location of the upwelling centre with relatively low temperature, high salinity and low dissolved oxygen. There are relatively high DIP, TDP, PP and TP, low DOP (0.27) and high ratio of DIP/DOP (ca. = 1) in the upwelling centre. DIP, TDP, PP and TP evidently show positive correlation with temperature and negative correlation with salinity, but the correlations between DOP and *T* or *s* were on the contrary. DOP is major species of phosphorus in the area (49.2 percent in TP). The content and distribution of DOP were related with the biological activities, showed there is high productivity in this upwelling area.

Key words The upwelling area The central and northern Taiwan Strait
Dissolved inorganic phosphorus (DIP) Dissolved organic phosphorus (DOP) Particulate phosphorus (PP) Total phosphorus (TP)