

# 春季黄东海颗粒有机碳的时空分布特征

程君, 石晓勇\*, 张传松, 王丽莎, 黄爽, 刘东生

(中国海洋大学海洋污染生态化学实验室, 青岛 266100)

**摘要:** 根据 2009 年 4~5 月对黄东海大面积调查的资料, 分析研究了黄东海颗粒有机碳 (particulate organic carbon, POC) 的浓度和时空分布特征, 并结合叶绿素 (Chlorophyll a, Chl-a) 和 C/N 摩尔比值探讨了 POC 的主要来源. 结果表明, 春季黄东海 POC 的浓度范围是 24.33~2 817.29  $\mu\text{g/L}$ , 平均值为 230.76  $\mu\text{g/L}$ . POC 整体上呈现近岸浓度高、远岸浓度低的特点. 在苏北近岸、长江口外以及闽浙沿岸均存在 POC 高值区, 尤其是苏北近岸, 表层和底层 POC 浓度非常高, 最高浓度达到 2 817.29  $\mu\text{g/L}$ , 这主要是受沉积物再悬浮的影响. 垂直分布上, 近岸浅水区 POC 浓度高, 水体上下分布均匀, POC 的主要来源是陆源输入和再悬浮作用; 远岸深水区, POC 浓度小于 75  $\mu\text{g/L}$ , 并随着水深的增加而逐渐降低, 呈现出大洋海水的性质, POC 的来源是海洋自生. 周日变化上, 东海中部海域, 除底层外, 各层 POC 浓度整体上表现出半日周期变化, 在午后和深夜出现高值, 傍晚出现低值, 这主要是受现场生物活动的影响.

**关键词:** 颗粒有机碳; 分布特征; 周日变化; 来源; 黄东海

中图分类号: X145 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)09-2505-07

## Temporal and Spatial Distribution of Particulate Organic Carbon in the Yellow Sea and East China Sea in Spring

CHENG Jun, SHI Xiao-yong, ZHANG Chuan-song, WANG Li-sha, HUANG Shuang, LIU Dong-sheng

(Laboratory of Marine Pollution Ecological Chemistry, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Based on the data from cruises that carried out in the Yellow Sea and East China Sea from April to May, 2009, the temporal and spatial distributions of the particulate organic carbon (POC) were analyzed. And the sources of POC were further discussed according to the chlorophyll a (Chl-a) and C/N. The results showed that the concentration of POC in the Yellow Sea and East China Sea ranged from 24.33  $\mu\text{g/L}$  to 2 817.29  $\mu\text{g/L}$  in spring and the average content was 230.76  $\mu\text{g/L}$ . In horizontal distribution, the highest POC content is in the coastal zones and it tends to decrease toward the far shore on the whole. The highest concentration of POC appears at the northern of Jiangsu Province coastal waters both in surface layer and bottom layer in particular, which is mainly affected by resuspension of sediments. And there is also a second highest concentration in the vicinity of the Yangtze River estuary, indicating the primary influence in the Yangtze River is by diluted water. The concentration of POC in shallow sea area is the highest and distributed uniformly and it is primarily from terrestrial inputs and resuspension. Moreover, the resuspension is relatively stronger than terrestrial inputs. However, the POC concentration in far coast deep water area is under 75  $\mu\text{g/L}$  and it reduces gradually with the increase of water depth, which shows ocean water characteristics. And the POC is mainly from the ocean. The diurnal change of POC concentration in the middle of East Sea shows half-cycle variation, as a whole, the concentration value is high both in the afternoon and midnight, while it is relatively low at dusk, which is mainly under the influence of biological activity at the scene.

**Key words:** particulate organic carbon (POC); distribution; diurnal change; source; the Yellow Sea and East China Sea

海水中的颗粒有机碳 (POC) 作为碳在海水中的主要存在形式之一, 在海洋碳循环中扮演着重要的角色. 而陆架边缘海是生产力高的区域, 同时该海区受到陆源输入的影响, 因而容易产生较高的 POC. 因此, 研究陆架边缘海的 POC 分布特征及其对大洋的影响具有十分重要的意义.

国外对 POC 的研究兴起于 20 世纪 60 年代, 目前对 POC 的来源、迁移转化及其生物化学动力过程的内在联系研究上取得了一系列的成果<sup>[1-10]</sup>. 国内关于 POC 的研究起步比较晚, 主要还集中在常规的调查上, 也取得了一定的成果. 这些研究对黄海 POC 的研究较少<sup>[11-13]</sup>, 大多集中在东海<sup>[16-27]</sup>, 并且

研究存在取样站位少、调查范围小等问题. 此外, 国内仍然缺少系统的、多年的 POC 数据. 本研究就 2009 年春季对黄海和东海的大范围的调查, 分析研究了 POC 的时空分布变化特征, 并对其来源进行了探讨, 以期为中国近海碳循环提供有用的一手资料.

收稿日期: 2010-10-22; 修订日期: 2010-12-15

基金项目: 国家海洋局公益性项目 (200805065); 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2010CB428701)

作者简介: 程君 (1986~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋污染生态化学, E-mail: chengjunouc@yahoo.com.cn

\* 通讯联系人, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

## 1 采样与分析

2009年4月28日~5月20日,调查船“东方红2号”在黄东海进行了春季航次的海洋科学调查.调查范围覆盖北黄海、南黄海和东海大部分区域,共有20个断面88个站位.调查站位图如图1所示.

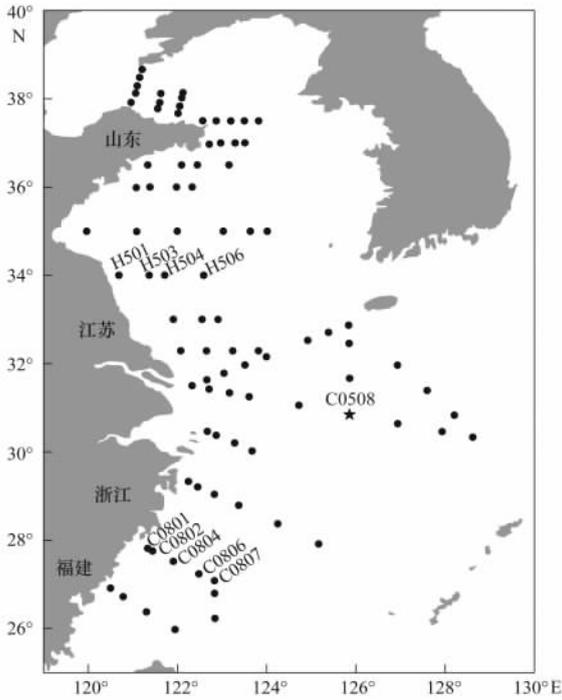


图1 黄东海调查站位

Fig. 1 Sampling stations in the Yellow Sea and East China Sea

POC样品的采集与测定:水样采集后,量取一定体积(视颗粒物的浓度而定)的水样,立即用 $0.7\ \mu\text{m}$ 的玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F,预先于马弗炉中 $450\ ^\circ\text{C}$ 灼烧6 h)减压过滤,过滤样品置于 $-20\ ^\circ\text{C}$ 冷冻保存,以防止由于微生物活动而造成有机质的分解或变质.在实验室中,将解冻后的膜样品用浓盐酸雾熏12 h后,放入 $50\ ^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘干,用PE2400 II型元素分析仪测定POC的浓度.

本研究中所需的其它相关参数的测定均依据文献[28~30]进行.

## 2 结果与讨论

### 2.1 平面分布

图2为春季黄东海各层次POC浓度的平面分布.春季黄东海POC的浓度范围是 $24.33\sim 2\ 817.29\ \mu\text{g/L}$ ,平均值为 $230.76\ \mu\text{g/L}$ .从图2中可以看出,各层POC分布整体上呈现西部近岸浓度较高、东部外海浓度较低的趋势.江苏北部近岸海区各

层POC浓度都很高,最高值达到 $2\ 817.29\ \mu\text{g/L}$ .此外,长江口外和闽浙沿岸POC浓度也比较高.

表层POC的浓度范围为 $49.15\sim 2\ 817.29\ \mu\text{g/L}$ ,平均值为 $276.98\ \mu\text{g/L}$ .在苏北沿岸存在等值线十分密集的高值区( $>400\ \mu\text{g/L}$ ),高值中心POC浓度达到 $2\ 817.29\ \mu\text{g/L}$ ,并且具有向东北方向扩张的趋势;长江口外 $32^\circ\text{N}$ 附近存在一个POC的次高值区( $>300\ \mu\text{g/L}$ ),呈西北-东南走向,最高值为 $1\ 113.19\ \mu\text{g/L}$ .闽浙沿岸也出现了POC的高值区,但浓度与前两者相比要小很多,等值线近似海岸线分布,POC浓度随离岸距离的增加朝东南外海方向逐渐减小.北黄海POC等值线贴近山东半岛走势,近岸浓度比较高.

10 m层POC的浓度范围为 $39.60\sim 2\ 736.93\ \mu\text{g/L}$ ,平均值为 $304.44\ \mu\text{g/L}$ .POC的分布与表层的相近,不同的是北黄海POC在山东半岛近岸浓度更高,等值线与表层的相比更加密集;长江口外POC浓度比表层小了许多,并呈由西往东外推趋势;而闽浙沿岸POC浓度比表层更高,等值线也更加密集.

30 m层POC的浓度范围为 $46.70\sim 666.73\ \mu\text{g/L}$ ,平均值为 $172.76\ \mu\text{g/L}$ .POC浓度整体水平较低,POC的高值区出现在福建近海,最高值为 $666.73\ \mu\text{g/L}$ ,浓度随离岸距离的增加呈向东部外海降低的分布趋势;浙江近海出现POC的次高值区,高值中心POC浓度为 $528.95\ \mu\text{g/L}$ ,浓度向东南外海呈逐渐降低的趋势;长江口外 $32^\circ\text{N}$ 附近POC有先向东部推移至 $125^\circ\text{E}$ ,而后转向东南外海推移的趋势.北黄海POC浓度较小,等值线也更加稀疏.

底层POC的浓度范围为 $25.37\sim 2\ 654.07\ \mu\text{g/L}$ ,平均值为 $291.82\ \mu\text{g/L}$ ,其分布特点与表层总体相近,苏北沿岸依然是POC的高值区,高值中心POC浓度为 $2\ 654.07\ \mu\text{g/L}$ ;长江口外POC的等值线呈水舌状向东南方向推移,但浓度水平不及表层;闽浙沿岸POC浓度出现了次高值区,最高值达到 $889.66\ \mu\text{g/L}$ ,POC浓度的等值线近似与海岸线平行.

就各层POC浓度变化范围而言,表层POC的浓度变化范围最大,变幅高达 $2\ 768.14\ \mu\text{g/L}$ ;10 m层POC浓度变化范围次于表层,变幅也达到 $2\ 697.33\ \mu\text{g/L}$ ;而20 m层POC的浓度变化范围较前者小了很多,变幅也随之骤减,为 $828.74\ \mu\text{g/L}$ ;此后POC的浓度变化范围随着水深的增加而逐渐缩小,至75 m层,浓度变化范围最小,为 $38.58\sim 340.96\ \mu\text{g/L}$ ,变幅仅为 $302.38\ \mu\text{g/L}$ ;而底层POC

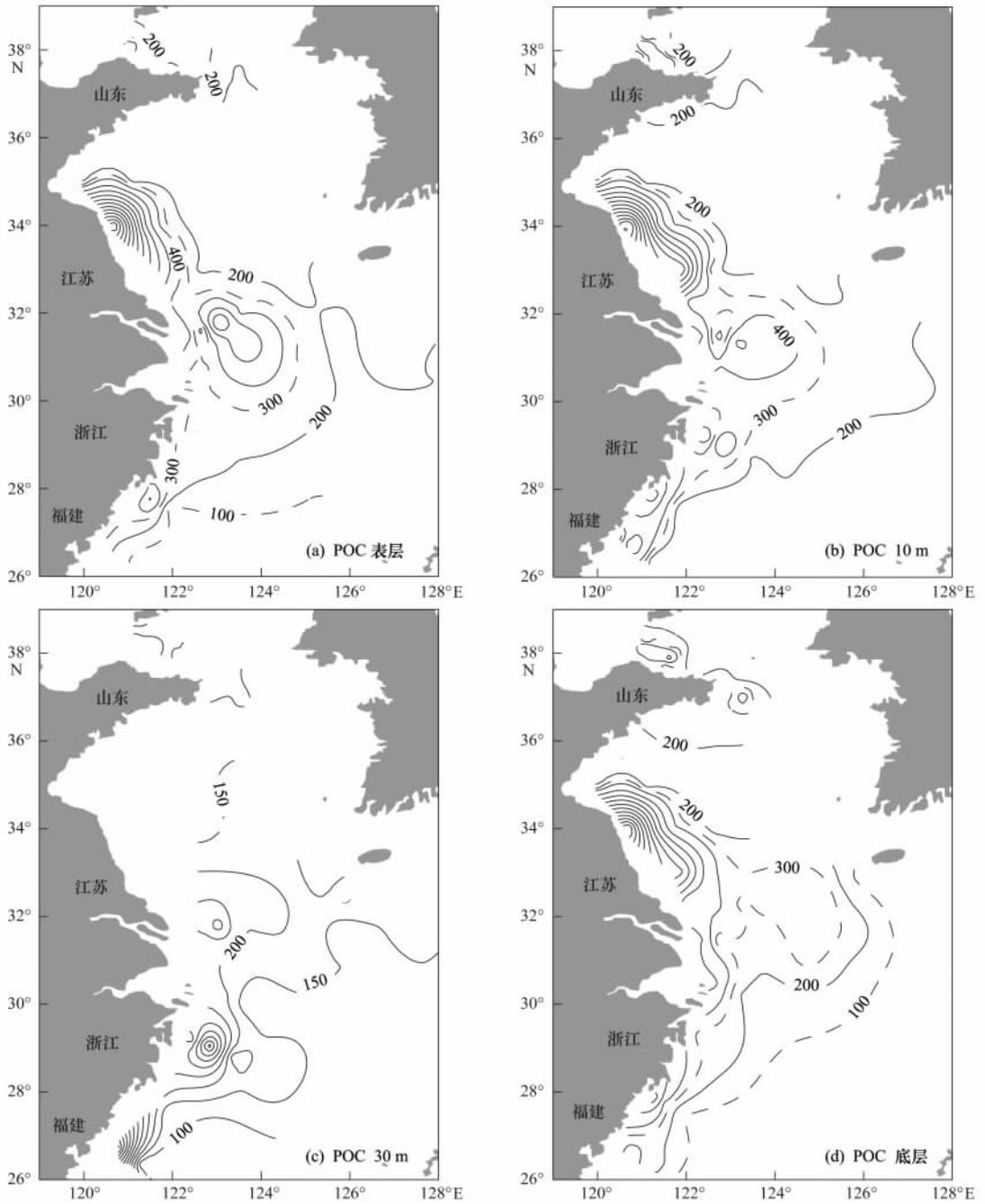


图 2 表层、10 m 层、30 m 层和底层 POC 的平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of POC in surface layer, layer 10m, layer 30m and bottom layer

的浓度变化范围又很大, 变幅也高达到 2 628. 70  $\mu\text{g/L}$ . 表层 POC 浓度变化如此之大, 表明陆源输入对黄东海各海区影响差异较大. 而 75 m 层 POC 浓度的变化范围及幅度又很小, 这暗示深层水中 POC 趋于稳定在一定的浓度范围. 底层 POC 浓度的较大变化应是受沉积物再悬浮、底栖生物扰动以及海底水动力环境等诸多因素影响的结果. 一般而言, 陆地径流影响越大的海域, 其海水盐度就越小, 因此通过

盐度的大小可以评估陆地径流输入对海洋的影响程度. 同航次的表层盐度分布 (图略) 表明, 盐度  $< 31$  的淡水影响区域 POC 的浓度很高, 这说明陆源输入是 POC 浓度高的主要原因. 苏北沿岸水深较浅, 大面调查时潮汐作用强烈, 这就造成了表层、10 m 层和底层苏北沿岸 POC 浓度高而且变化差异较小. 除此之外, 苏北沿岸河流的陆源输入也对 POC 的分布起到一定的作用. 同航次的叶绿素在长江口外有高

值区,恰恰对应区域亦是 POC 的高值区,这说明长江口外 POC 的分布更多的受现场浮游植物的影响.而闽浙沿岸 POC 浓度的高值可能与陆源输入的影响有关(20、50 和 75 m 层站位少,图略).

表 1 列出了本次研究黄东海 POC 数据与以往数据及其它海区的比较.本研究的黄海 POC 数据与白洁等<sup>[15]</sup>1999 年同期渤海 POC 数据较为接近,而本研究的东海 POC 数据均低于黄海和渤海,但与刘文臣等<sup>[25]</sup>1994 年东海 POC 数据相当接近.这是因为渤海是内海,受陆源输入影响更大些,同样黄海与渤海相连,较东海更为内向.本研究黄东海 POC 数据大于熊林芳等<sup>[12]</sup>2006 年同期的数据,这可能是由于本次调查覆盖范围更大并且有些站位离岸距离更近,陆源输入影响更明显的缘故;但仍处在金海燕等<sup>[13]</sup>2001 年同一海区 POC 数据范围之内.本研究的黄东海 POC 数据高于台湾海峡<sup>[21]</sup>、南海<sup>[31]</sup>、黑潮区<sup>[32]</sup>及菲律宾海<sup>[33]</sup>等低生产力海区,这都归因于黄东海作为陆架边缘海具有较高的生产力和旺盛的生物活动.

表 1 不同海区 POC 浓度

Table 1 Contents of POC in different sea area

海区	$c/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	文献
东海	24.33 ~ 1 113.19	本研究
黄海	97.92 ~ 2 817.29	本研究
渤海	150 ~ 2 601	[15]
南黄海和东海北部	1 ~ 1 164	[12]
黄东海	2 ~ 3 815	[13]
东海	33 ~ 1 123.80	[25]
台湾海峡	9 ~ 120	[21]
南海	13 ~ 112	[31]
黑潮区	60 ~ 80	[32]
菲律宾海	10 ~ 100	[33]

## 2.2 垂直分布

黄东海海水深浅不一,为了详细分析 POC 的垂直分布变化,特选取 2 个典型断面进行分析,分别为江苏北部的 H5 断面和浙江近海的 C08 断面.如图 3 所示,POC 的分布呈现由近岸到远岸浓度逐渐降低的特点.近岸水体上下 POC 混合均匀,浓度较高;远岸水体 POC 浓度随着水深的增加而逐渐降低.

H5 断面位于 34°N,西起江苏北部浅滩. POC 的含量范围是 125.97 ~ 2 817.29  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,平均含量为 912.01  $\mu\text{g}/\text{L}$ .从图 3 中可见,水深 < 20 m 的浅水区域,POC 浓度较高,等值线分布十分密集,水体上下混合均匀,POC 浓度上下分布一致;而水深 > 20 m 的区域,POC 浓度降低了很多,等值线分布比较稀疏,POC 浓度上下分布也一致.从温盐分布中可知,

盐度分布与 POC 较为相似,盐度 < 31 的淡水影响区域,温度较高,POC 的浓度较大且等值线分布密集,这说明陆源输入对近岸 POC 浓度分布起一定的作用.此外,同航次的营养盐(以磷酸盐为例)近岸浓度高、叶绿素近岸浓度较低,这可能是因为近岸水深较浅、水体上下混合均匀,浊度较大,透明度不高,受到光照的限制浮游植物不能充分进行光合作用,叶绿素整体含量不高,而陆源输入带来的营养盐也未能及时消耗. C/N 摩尔比是判断 POC 来源的一个经验方法<sup>[12]</sup>,与其它参数结合就可以比较准确的评价 POC 的来源<sup>[34]</sup>. H5 断面 C/N 值的范围为 2.4 ~ 4.8,小于 Redfield 比值(106:16  $\approx$  6.6),暗示该断面 POC 的主要来源为海洋自生.而叶绿素的浓度水平较低,这说明沉积物的再悬浮作用可能是影响该海域 POC 分布的主要原因.

C08 断面位于 28°N,西起浙江省温州近海. POC 的含量范围是 49.67 ~ 892.25  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,平均含量为 218.04  $\mu\text{g}/\text{L}$ .图 3 中可见,C0801 ~ C0802 站之间的区域,POC 浓度很高,表层和底层等值线均十分密集,而 C0802 ~ C0804 站之间,POC 浓度逐渐减小,等值线分布变得稀疏,水体上下 POC 分布均匀;而在 C0804 ~ C0807 站之间,POC 浓度 < 75  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,从上而下随着水深的增加逐渐降低,呈现出大洋海水的性质.从温度分布图可知,在水深 30 ~ 50 m 之间,存在一温度跃层.跃层以上,温度较高,有利于浮游植物光合作用,叶绿素浓度也较高,对整个 C08 断面 POC 与叶绿素进行相关性分析,发现 POC 与叶绿素成非常明显的线性正相关( $r = 0.81379, n = 23, a = 0.01$ ),这表明现场浮游植物对 POC 的分布贡献很大.从盐度的分布来看,近岸上层海水盐度低,POC 浓度高,表明陆源输入对近岸 POC 的分布有一定的影响. C08 断面 C/N 值的范围为 2.8 ~ 7.8,平均值为 5.2,小于 Redfield 比值,表明 POC 的主要来源为海洋自生,部分区域 C/N > 7,说明少量 POC 来自陆源输入.

## 2.3 周日变化

本航次选取了东海中部的 C0508 站进行 24 h 连续观测,每间隔 3 h 采集不同层次的海水进行分析,POC 周日变化如图 4 所示.

C0508 站位于东海中部,水深 78 m.从各层 POC 的周日变化来看,底层 POC 的日变化幅度最大,为 353.16  $\mu\text{g}/\text{L}$ ;表层 POC 的日变化幅度次于底层,变幅为 70.34  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,而 10 m、30 m 和 50 m 层的日变幅都小于 60  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,趋势为随着水深的增加日

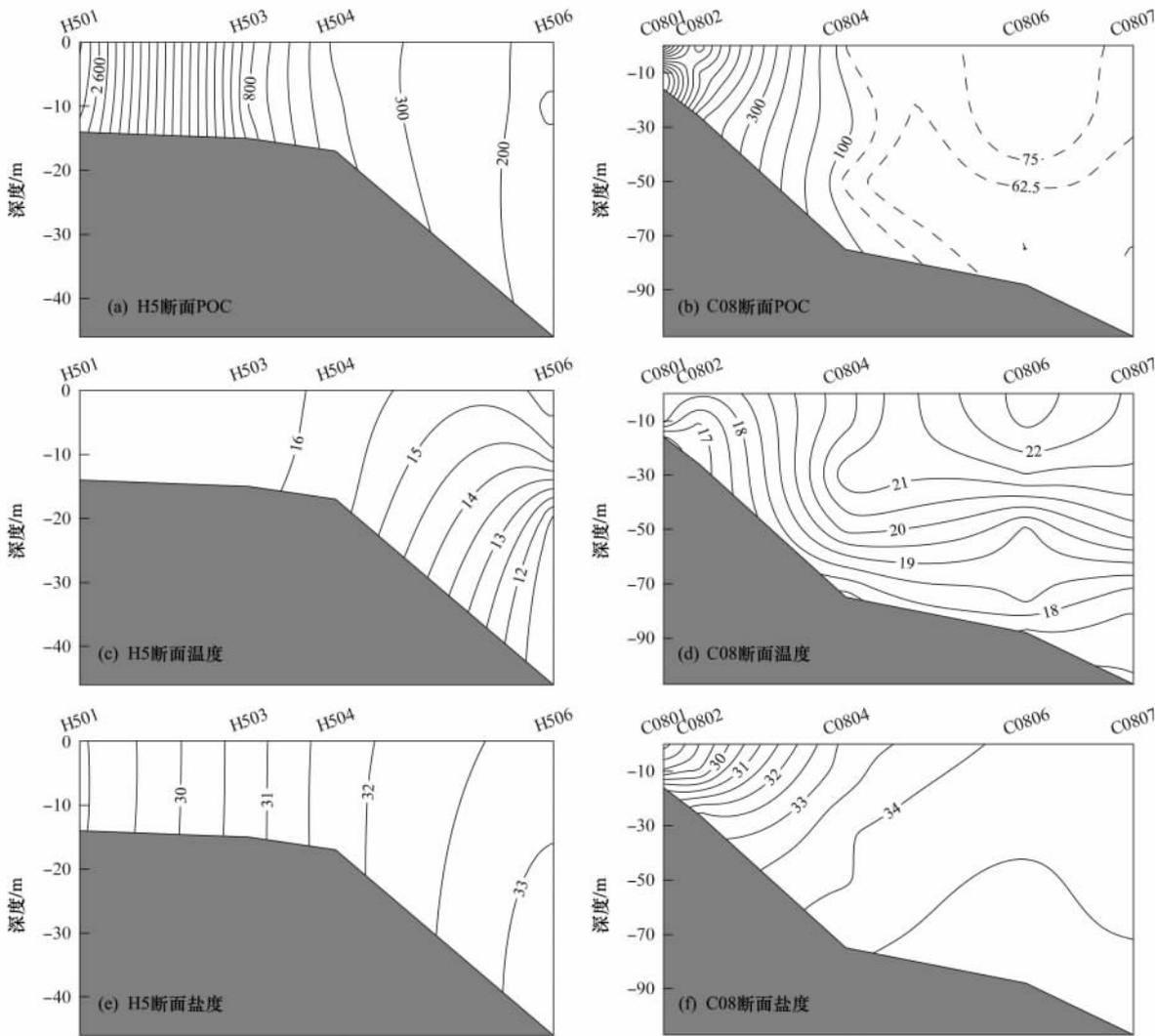


图3 H5断面和C08断面POC、温度和盐度的分布

Fig. 3 Profiles of POC, temperature and salinity in section H5 and section C08

变幅逐渐减小. 从各层 POC 浓度的日平均值来看, 表层最高, 10 m 层次于表层, 垂直方向变化趋势为从上而下水体 POC 浓度日平均值逐渐降低, 但接近底层又升高. 从 POC 周日变化的时间上来看, 表层和 10 m 层 POC 浓度整体上表现出半日周期变化, POC 分别在午后 (12:14 ~ 13:03) 和深夜 (22:04 ~ 01:15) 时间段出现高值, 在傍晚 (19:09) 出现低值; 30 m 和 50 m 层 POC 变化波动较小, 而底层 POC 在傍晚 (16:06 ~ 19:09) 急剧升高至极大值, 而后又急剧降低. 从温盐的周日变化图中可以看出该站层化现象较为明显, 30 m 层以上主要是高温低盐水 (相对而言), 30 m 层以下是低温高盐水. 春季光照充足, 光合作用在中午前后达到高峰, 真光层 (20 m 以上) 内浮游植物初级生产产生大量的有机物, 引起真光层内 POC 浓度突然增大. 随着时间的推移, 光

合作用效率降低, 产生的有机物也相应减少, POC 浓度随之减小, 在傍晚出现低值. 受海水强烈的层化作用, 跃层以下 POC 的交换受阻, 下层海水 POC 浓度变化较小, 趋于稳定. 而有些海洋浮游动物, 如次漂浮生物能在真光层内做日夜垂直移动, 白天潜伏在深水里, 夜间漂浮上来摄食浮游植物, 这就使得深夜 POC 浓度再次达到高值. 而底层 POC 浓度在傍晚急剧增大, 这可能与底层生物扰动有关.

### 3 结论

(1) 2009 年春季黄东海 POC 的浓度范围是 24.33 ~ 2 817.29  $\mu\text{g/L}$ , 平均值为 230.76  $\mu\text{g/L}$ , 与以前研究的数据基本一致.

(2) 平面分布上, POC 整体上呈现近岸浓度高、远岸浓度低的特点. 在苏北沿岸、长江口外以及闽浙

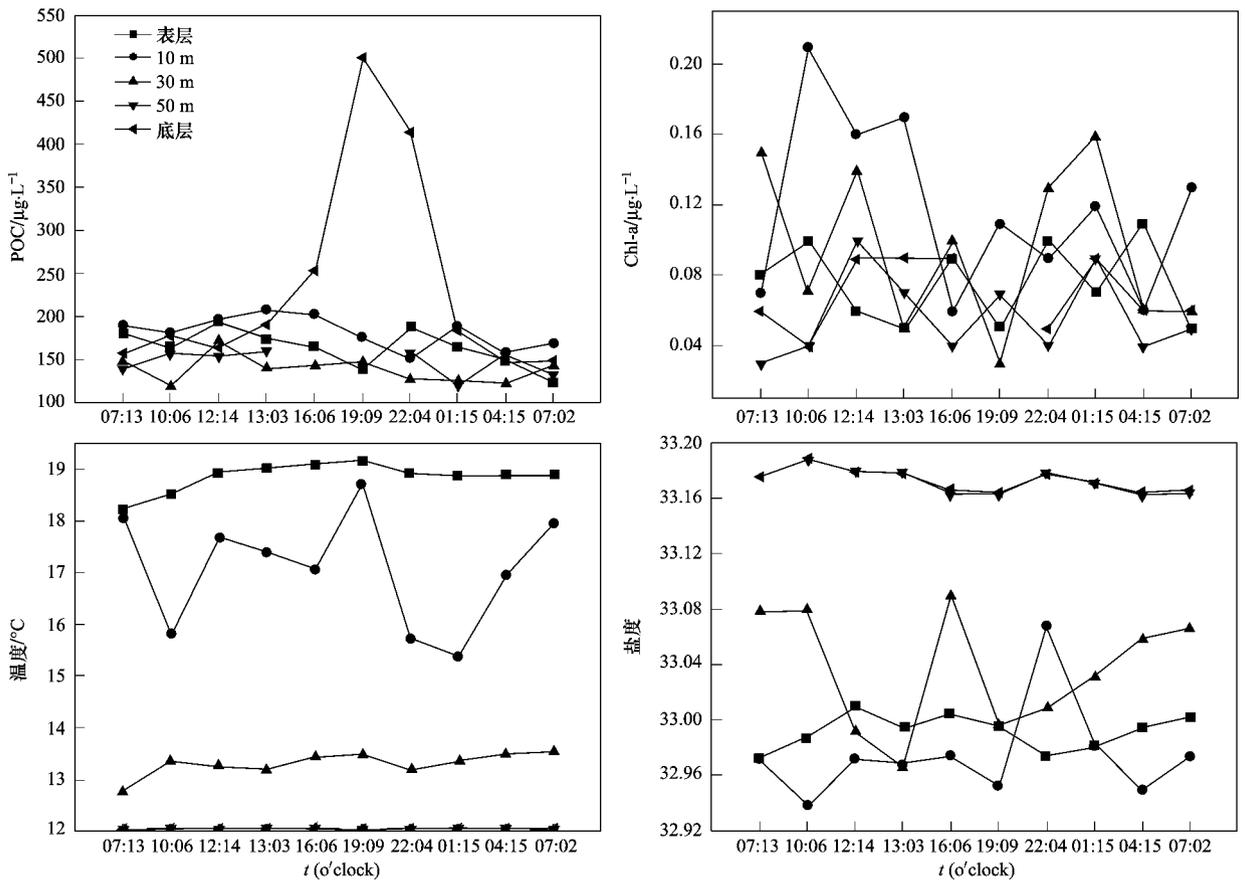


图4 C0508站POC、叶绿素、温度和盐度的周日变化

Fig.4 Diurnal change of POC, Chl-a, temperature and salinity at C0508 station

沿岸均存在 POC 的高值区,尤其是苏北沿岸,表层和底层 POC 浓度很高,这主要是受沉积物再悬浮的影响。

(3)垂直分布上,近岸浅水海域 POC 浓度高,水体上下分布均匀,POC 的主要来源是陆源输入和再悬浮作用;远岸深水区,POC 浓度  $<75 \mu\text{g/L}$ ,并随着水深的增加而逐渐降低,表现出大洋海水的性质,POC 的来源是海洋自生。

(4)周日变化上,在东海中部海域,除底层外,各层 POC 浓度整体上表现出半日周期变化,在午后和深夜出现高值,傍晚出现低值,这主要是受现场生物活动的影响。

致谢:感谢“东方红 2 号”上的全体工作人员在采样过程中给予的支持与帮助。

参考文献:

[ 1 ] Stramska M. The diffusive component of particulate organic carbon export in the North Atlantic estimated from SeaWiFS ocean color[J]. *Deep-Sea Research I*, 2010, **57**:284-296.  
 [ 2 ] Wiedinmyer C, Bowers R M, Fierer N, *et al*. The contribution of biological particles to observed particulate organic carbon at a

remote high altitude site[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(28):4278-4282.

[ 3 ] Gervantes D X F, Plata D L, MacFarlane J K, *et al*. Black carbon in marine particulate organic carbon:Inputs and cycling of highly recalcitrant organic carbon in the Gulf of Maine[J]. *Marine Chemistry*, 2009, **113**(3-4):172-181.  
 [ 4 ] Hung J J, Wang S M, Chen Y L. Biogeochemical controls on distributions and fluxes of dissolved and particulate carbon in the Northern South China Sea[J]. *Deep-Sea Research II*, 2007, **54**:1486-1503.  
 [ 5 ] Gianì M, Savelli F, Berto D, *et al*. Temporal dynamics of dissolved organic carbon and particulate carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events[J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **353**:126-138.  
 [ 6 ] Bates N R, Hansell D A, Moran S B, *et al*. Seasonal and spatial distribution of particulate organic matter (POM) in the Chukchi and Beaufort Seas[J]. *Deep-Sea Research II*, 2005, **52**:3324-3343.  
 [ 7 ] Wang X C, Chen R F, Gradner G B. Sources and transport of dissolved and particulate organic carbon in the Mississippi River estuary and adjacent coastal waters of the northern Gulf of Mexico [J]. *Marine Chemistry*, 2004, **89**:241-256.  
 [ 8 ] Gebhardt A C, Haake B G, Unger D, *et al*. Recent particulate

- organic carbon and total suspended matter fluxes from the Ob and Yenisei Rivers into the Kara Sea (Siberia) [J]. *Marine Geology*, 2004, **207**:225-245.
- [ 9 ] Mishonov A V, Grandner W D, Richardson M J. Remote sensing and surface POC concentration in the South Atlantic [J]. *Deep-Sea Research II*, 2003, **50**: 2997-3015.
- [ 10 ] Hung J J, Lin P L, Liu K K. Dissolved and particulate organic carbon in the southern East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, **20**:545-569.
- [ 11 ] 梁成菊, 王江涛, 谭丽菊. 青岛近海夏冬季颗粒有机碳的分布特征[J]. *海洋环境科学*, 2010, **29**(1):12-16.
- [ 12 ] 熊林芳, 刘季花, 白亚之, 等. 南黄海与东海北部春季悬浮体颗粒有机碳分布[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, **30**(3): 7-14.
- [ 13 ] 金海燕, 林以安, 陈建芳, 等. 黄海、东海颗粒有机碳的分布特征及其影响因子分析[J]. *海洋学报*, 2005, **27**(5):46-53.
- [ 14 ] 胡利民, 邓声贵, 郭志刚, 等. 夏季渤海湾及邻近海域颗粒有机碳的分布与物源分析[J]. *环境科学*, 2009, **30**(1):39-46.
- [ 15 ] 白洁, 李焯然, 李正炎, 等. 渤海春季浮游细菌分布与生态环境因子的关系[J]. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2003, **33**(2):841-846.
- [ 16 ] Zhu Z Y, Zhang J, Wu Y, *et al.* Bulk particulate organic carbon in the East China Sea: Tidal influence and bottom transport [J]. *Progress in Oceanography*, 2006, **69**:37-60.
- [ 17 ] Zhu Z Y, Wu Y, Zhang J, *et al.* Spatial and temporal variation of particulate organic carbon in the PN section of East China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, **24**(5):89-99.
- [ 18 ] 尹维翰, 曹志敏, 蓝东兆, 等. 象山港颗粒有机碳的分布及其影响因子[J]. *海洋环境科学*, 2007, **26**(6):550-552.
- [ 19 ] 赵继胜, 姬泓巍, 郭志刚. 冬季东海典型海域颗粒有机碳的垂直分布[J]. *海洋科学*, 2003, **27**(6):59-63.
- [ 20 ] 陈敏, 黄奕普, 邱雨生. 厦门湾水体中颗粒有机碳的垂向输出通量: $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 不平衡的应用[J]. *海洋学报*, 2002, **24**(2): 66-76.
- [ 21 ] 刘占飞, 彭兴跃, 徐立, 等. 台湾海峡 1997 年夏季和 1998 年冬季两航次颗粒有机碳研究[J]. *台湾海峡*, 2000, **19**(3):95-101.
- [ 22 ] 薛健宏, 杨逸萍, 郭卫东, 等. 9810 号台风过程厦门近岸海域 POC 的变化特征[J]. *台湾海峡*, 2000, **19**(3):269-275.
- [ 23 ] 蔡阿根, 李文权, 陈清花, 等. 厦门西港和九龙江口颗粒有机碳的研究[J]. *海洋科学*, 1998, (5):46-50.
- [ 24 ] 刘文臣, 王荣, 李超伦. 东海颗粒有机物中的碳氮比[J]. *海洋与湖沼*, 1998, **29**(5):467-470.
- [ 25 ] 刘文臣, 王荣, 吉鹏. 东海颗粒有机碳的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1997, **28**(1):39-43.
- [ 26 ] 黄自强, 傅天保, 张远辉. 东海水体中 POC 的分布特征[J]. *台湾海峡*, 1997, **16**(2):145-152.
- [ 27 ] 宁修仁, 库蒂 C. 长江口及冲淡水区叶绿素 a、细菌、ATP、POC 及微生物呼吸作用速率之间的关系[J]. *海洋学报*, 1991, **13**(6):831-837.
- [ 28 ] GB 12763.6-2007-T, 海洋调查规范[S].
- [ 29 ] Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M. *Methods of Seawater Analysis* [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 201-223.
- [ 30 ] Parsons T R, Maita Y, Lalli C M. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis* [M]. New York: Pergamon Press, 1984.
- [ 31 ] 刘青林. 南海与台湾海峡溶解态和颗粒态有机碳、氮、磷之分布[D]. 高雄: 台湾国立中山大学海洋地质及化学研究所, 2001.
- [ 32 ] Parsons T R. *Chemical Oceanography* [M]. New York: Academic Press, 1975. 365-383.
- [ 33 ] 魏建伟, 方习生, 石学法, 等. 海水光衰减变化与颗粒有机碳的估算——以菲律宾海为例[J]. *海洋科学进展*, 2007, **25**(4):460-467.
- [ 34 ] 张乃星, 宋金明, 贺志鹏. 海水颗粒有机碳(POC)变化的生物地球化学机制[J]. *生态学报*, 2006, **26**(7):2328-2339.