

网络优先数字出版时间: 2015-08-19

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20150819.0947.012.html>

南黄海及长江口邻近海域夏季溶解有机碳的分布特征及其影响因素*

Distribution and Impact Factors of Dissolved Organic Carbon in the Southern Yellow Sea and the Changjiang Estuary in Summer

袁华茂, 宋金明**, 李学刚, 李 宁, 段丽琴, 曲宝晓, 卢 汐, 陈 鑫

YUAN Hua-mao, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, LI Ning, DUAN Li-qin, QU Bao-xiao, LU Xi, CHEN Xin

(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东青岛 266071)

(Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China)

摘要:【目的】海水中溶解有机碳(DOC)的研究对于碳的生物地球化学循环具有重要意义。通过对南黄海及长江口邻近海域夏季溶解有机碳的分布特征及其影响因素的研究,为进一步丰富我国陆架边缘海碳循环的研究提供数据支持和参考依据。【方法】利用高温燃烧氧化法对2013年夏季南黄海及长江口邻近海域水体中的DOC进行测定,初步分析夏季南黄海DOC的分布特征,并结合水文、化学、生物同步观测参数,探讨影响DOC分布的主要因素。【结果】2013年夏季南黄海及长江口邻近海域DOC的含量为0.24~2.37 mg/L,平均值为 (1.34 ± 0.42) mg/L。整体而言,调查海区平面分布呈现北部浓度高,向南部逐渐降低,近岸浓度高远岸浓度低的分布趋势。DOC的垂直分布呈现表层高,逐渐向底层减小,在底层又有所增加的趋势。【结论】研究海区DOC的分布受水团物理混合控制作用十分明显,近岸DOC高值区的分布主要受鲁北沿岸流和陆源输入影响,南部的低值区主要受黑潮表层水及台湾暖流的稀释作用影响,而生物作用对DOC的分布影响较弱。

关键词: 溶解有机碳 南黄海 长江口邻近海域

中图分类号: P734 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2015)03-0155-06

Abstract:【Objective】Dissolved organic carbon (DOC) is the biggest organic carbon reservoir in the ocean, and is a extremely important component in oceanic carbon cycling. 【Methods】The DOC concentrations were determined by high-temperature combustion with a TOC Analyzer. The physical, chemical and biological parameters such as salinity, chlorophyll a and dissolved oxygen were also determined to find their effects on the DOC distribution. 【Re-

sults】Results suggested that DOC concentrations ranged from 0.24 to 2.37 mg/L with the average value of (1.34 ± 0.42) mg/L. DOC concentrations in the north area and coastal waters were relative higher than those in the south area and open sea of the central area. In the vertical profile, the concentrations of DOC were higher in surface layer and decreased with the depth but slightly increased in the bottom layer. 【Conclusion】The distribution of dissolved organic carbon were obviously affected by the

收稿日期: 2015-04-10

作者简介: 袁华茂(1975-), 男, 研究员, 主要从事海洋生物地球化学研究。

* 中国科学院先导专项(XDA05030402, XDA11020102), 国家自然科学基金委山东省联合基金项目(U1406403)以及国家重点基础研究973课题(2011CB403602)共同资助。

** 通讯作者: 宋金明(1964-), 男, 研究员, 主要从事海洋生物地球化学研究, E-mail: jmsong@qdio.ac.cn.

hydrological water mixing and partly by the terrigenous resources while the effect biological production on the distribution of DOC was comparatively insignificant.

Key words: dissolved organic carbon, Southern Yellow Sea, Changjiang Estuary

0 引言

【研究意义】碳是生态系统中重要的生源元素之一。通过光合作用浮游植物可将海水中的无机碳转化为有机碳,另外浮游动物的摄食,浮游生物代谢产物的分泌,死亡后残体的分解等途径均会向海水中释放溶解有机碳(DOC)。DOC是海洋中最大的有机碳储库,约占总有机碳的90%(文献[1,2]),可用来表征水体中有机物含量和生物的活动水平。同时DOC的迁移转化对于海气界面碳交换、海洋的固碳和储碳过程以及海洋微食物环过程具有重要影响,并可在1000~10000年的时间尺度影响大气中CO₂的含量^[3,4],因此海水中溶解有机碳的研究对于碳的生物地球化学循环具有重要意义。**【前人研究进展】**黄海是典型的陆架边缘海,由于其半封闭性,水交换周期较长,海区内生物地球化学过程很大程度上取决于其内部自身冷暖水团的此消彼长与陆架峰的季节演化,具有明显的季节性变化^[5~7]。目前,对南黄海有机碳研究的报道并不多,李丽等^[8]对夏季南黄海表层海水DOC进行分析,发现DOC的含量为1.05~9.37 mg/L,平均值为4.08 mg/L;贺志鹏等^[9]测得秋季南黄海DOC含量为1.62~2.42 mg/L,平均值为2.02 mg/L,并指出1997~2004年间南黄海DOC含量有降低的趋势;谢琳萍等^[10]发现春季南黄海DOC的分布趋势主要受控于水文结构,生物生产对DOC含量也有一定的贡献。长江口及其邻近海域接受了大量长江径流带来的陆源有机碳,同时长江输送的营养物质丰富,造成该区域较高的浮游植物生产力,浮游植物对有机碳的贡献也相对较高。林晶等^[11]对长江口溶解有机碳的研究表明,该区域DOC与盐度有较好的相关性,整体呈现近岸高、远岸低的趋势,其分布主要受水文结构控制。**【本研究切入点】**利用2013年夏季航次对南黄海及长江口邻近海域调查所得的数据,初步分析夏季南黄海及长江口邻近海域DOC的分布特征,结合其他的水文、化学、生物同步观测参数,探讨影响DOC分布的主要因素。**【拟解决的关键问题】**通过对南黄海及长江口邻近海域夏季溶解有机碳的分布特征及其影响因素的研究,为我国陆架边缘海碳循环的研究提供数据支持和参考依据。

1 材料与方法

1.1 取样站位

2013年8月利用“北斗”号海洋科学调查船对南黄海及长江口邻近海域进行大面积调查,共进行10个断面、46个站位的采样调查,采样站位如图1所示。

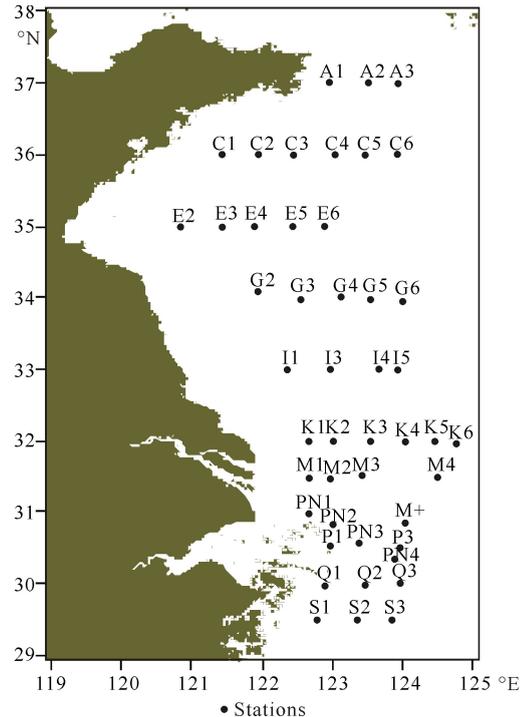


图1 研究区域及采样站位

Fig. 1 Study area and sampling locations

1.2 方法

利用Seabird 32CTD测定海水的温度、盐度和深度,并用Niskin采水器采集水样,水样采集后立即用GF/F玻璃纤维滤膜(预先于450℃高温下灼烧)过滤,收集100 mL滤液存储于450℃下灼烧过的玻璃瓶中,加入饱和HgCl₂固定,4℃密封保存。回到实验室后样品用浓硫酸酸化至pH值约为2后,使用Elementar总有机碳分析仪(vario TOC cube)以高温催化氧化-非色散红外吸收法测定DOC含量,同时以邻苯二甲酸氢钾标准溶液进行校准,测量精度为1%。

2 结果与分析

2.1 DOC的含量和水平分布

2013年夏季南黄海及长江口邻近海域DOC的

浓度为 0.24~2.37 mg/L,平均值为 (1.34 ± 0.42) mg/L。整体水平低于 1999 年夏季南黄海的 1.05~9.37 mg/L,平均值为 4.08 mg/L(文献[8]),略低于 2007 年春季的 0.91~2.69 mg/L,平均值为 1.62 mg/L(文献[10]),与黄东海 2007 年夏季的水平相当(0.66~3.05 mg/L,平均值为 1.10 mg/L)^[11]。表层 DOC 浓度平均值相对较高,为 (1.58 ± 0.44) mg/L;底层 DOC 的浓度变化范围较大,为 0.24~1.95 mg/L。图 2 为夏季南黄海及长江口邻近海域 DOC 含量的水平分布图,调查海区表层 DOC 的最高值出现在山东半岛的外部海域(A3 站),整体上呈现北部浓度高,向南部逐渐降低的分布趋势,在长江口邻近海域出现显著的低值区。底层 DOC 的高值区出现在山东半岛的南部近岸海域,低值区出现在南黄海的中北部和江苏外海以及舟山群岛外海。

对于陆架海而言,DOC 的分布受到周边河流的输入和大气沉降以及海洋初级生产力的季节性影响,呈现河流>河口>近岸>远洋的趋势。近岸海域由于受人为活动的影响,营养盐比较丰富,浮游生物活动比较旺盛,可通过分泌代谢产物、浮游动物摄食和死亡后残体的分解等途径向海水中释放 DOC,同时河流和其他陆源输入也会造成近岸 DOC 的浓度较高。山东半岛石岛附近海域历次调查都是 DOC 的高值区,谢琳萍等^[10]认为浮游植物生产不是该海域 DOC 高值的主要原因,而沿北黄海、渤海沿岸南下的高 DOC 含量的鲁北沿岸流是造成该海域 DOC 浓度高值的主要原因。本次调查同样发现在山东半岛的石岛及其外海区出现 DOC 的高值,这可能与夏季鲁北沿岸流的流幅加宽有关^[12]。同时本次调查也发现该海区叶绿素 a 的浓度并不高,与 DOC 基本没有相关性,证实该海域 DOC 的高值并非来自浮游植物的生产活动。

已有研究认为,南黄海自北至南表层 DOC 的浓度下降,是由于南部主要由具有大洋水性质的较低 DOC 浓度的黑潮表层水及台湾暖流与东海陆架水混合构成,北部区域的水体主要由黄海冷水团及长江冲淡水向东北方向偏转形成的黄海混合水构成,而黄海水团和长江冲淡水由于接受陆源输入,其中 DOC 的含量比东海混合水体要高得多^[10,13]。本研究也表明,表层溶解有机碳的分布呈现北部南黄海较高,南部东海区较低的特征,与文献[10,13]所得的结果一致。

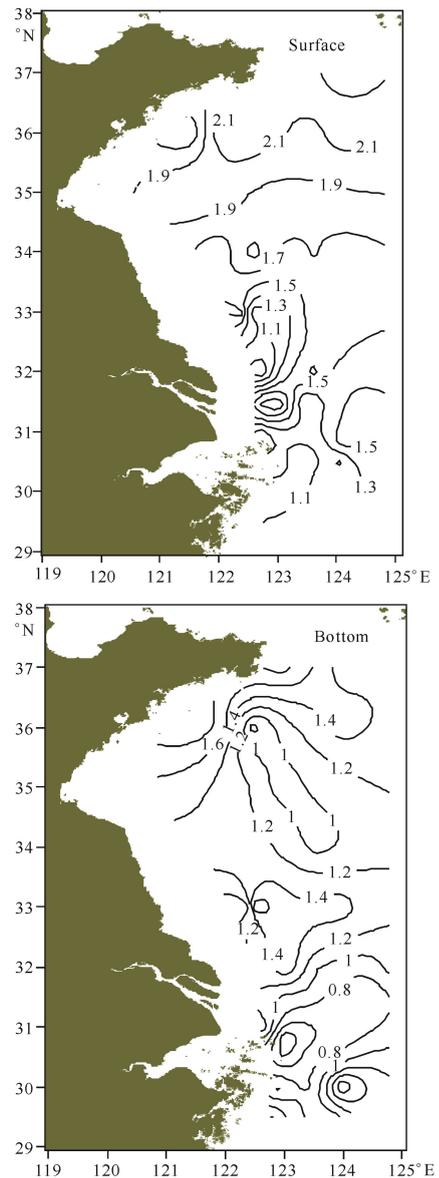


图 2 夏季南黄海及长江口邻近海域 DOC 的水平分布 (mg/L)

Fig. 2 Horizontal distribution of DOC in the Southern Yellow Sea and the Changjiang Estuary adjacent waters in summer

2.2 DOC 的垂直与断面分布

夏季南黄海及长江口邻近海域 DOC 的垂直分布呈现表层高,逐渐向底层减小,在底层又有所增加的趋势(图 3),体现了表层 DOC 在向下的输送过程中逐渐矿化分解的过程。造成 DOC 的浓度随着深度增加而逐渐降低的原因主要由其来源、迁移转化与水团性质所决定。表层和 10 m 层具有较高的浮游植物量,浮游植物通过光合作用分解产生大量的溶解有机碳;随着深度的增加,浮游植物的生长和光合作用受到光照等条件的限制,导致深层海水中溶解有机碳较低,而底层 DOC 的高值则可能是由于

底部沉积物的再悬浮造成有机质的溶解释放所导致的。另外,夏季海水层化现象的存在限制了表层与深层水的交换,使沿岸输入的较高浓度溶解有机碳滞留在较浅的深度,成为表层溶解有机碳浓度较高的又一重要原因。

另外,由图4可以看出,DOC的高值区分布在近岸和表层、次表层区域,在垂向上也表现出DOC逐渐降低的过程,反映DOC在近岸受陆源输入、在表层受生物活动的影响。黄海沿岸流能够把DOC限制在近岸,难以顺利扩散,易在近岸积累,是造成近岸DOC含量大于远海的原因。C断面和G断面DOC的分布也反映出夏季南黄海海水的层化现象;

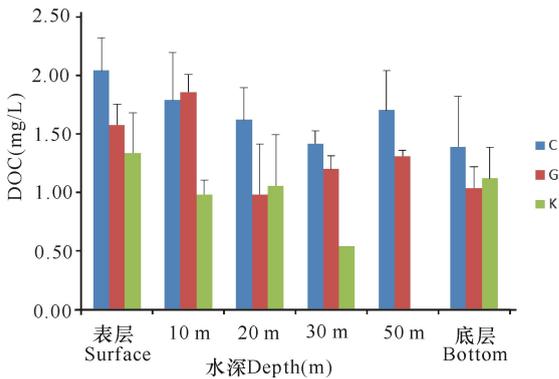


图3 夏季C、G、K断面不同层次的DOC浓度

Fig. 3 DOC concentration of the C, G and K sections in summer

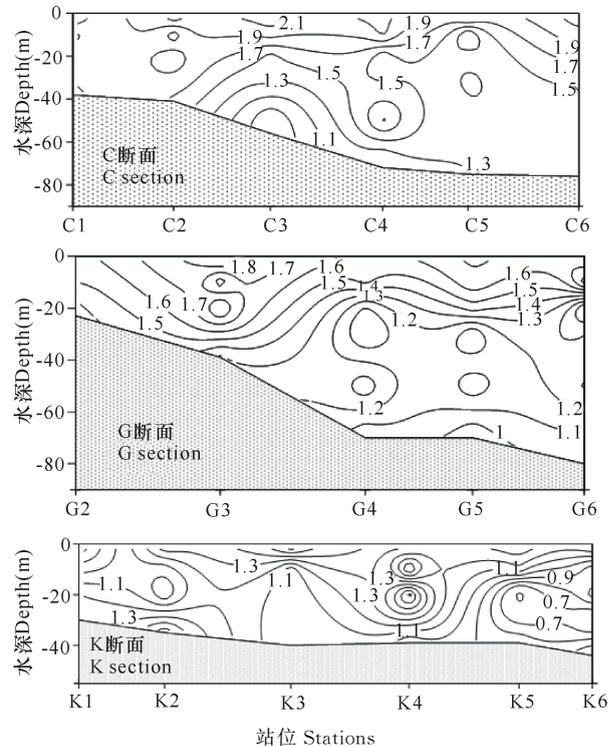


图4 夏季C、G、K断面的DOC分布(mg/L)

Fig. 4 Vertical distributions of DOC of C, G and K sections in summer

K断面由于水深较浅,同时受长江冲淡水的影响,层化现象不显著。

2.3 DOC浓度分布的影响因素

2.3.1 DOC与盐度的关系

DOC与盐度的关系常用于评价有机质从陆向海传输过程中是否具有保守行为^[14~16]。如图5所示,本次调查中DOC与盐度呈负相关,表明夏季研究海区DOC的分布受水团物理混合控制作用十分明显,体现了典型的随盐度增加河流源物质被低浓度的外海水稀释的过程。

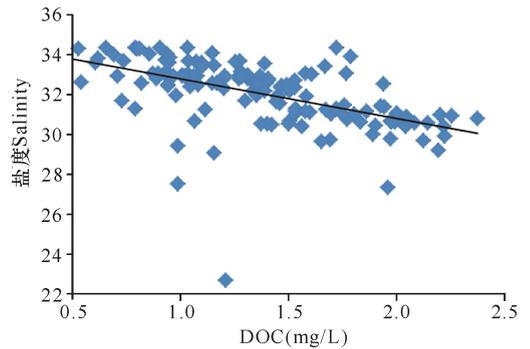


图5 DOC与盐度的相互关系

Fig. 5 The relationship between DOC and salinity

2.3.2 DOC与叶绿素a的关系

浮游植物的初级生产是海洋生态系统中有有机物的最初来源,担负着海洋中90%以上的有机物质的生产,是供养和维持海洋生物资源的物质基础。叶绿素a是表征海洋浮游植物现存量的一个良好指标,它与DOC之间的关系体现了新鲜有机物信息^[11]。将本次调查海区的DOC与叶绿素a数据进行相关性分析,结果发现二者之间不存在明显的相关关系($r = 0.061, n = 129$),这与以往南黄海春季^[10]、夏冬季^[11]的研究结果一致。叶绿素a与DOC的分布特征并不保持一致,说明浮游植物现场生产对DOC分布的影响较弱。易分解DOC的快速转换、浮游动物对浮游植物的摄取以及不同程度的水动力作用,削弱了DOC与叶绿素a之间的关系^[10]。由浮游植物现场生产释放进入水体的DOC活性较高,易被异养微生物所利用并将其氧化为二氧化碳而移出;或者转化为细菌的生物量,产生活性较低的DOC。因此其周转速度很快,在总DOC中的比例较低,因而其与叶绿素a的关系并不显著。结合上述DOC与盐度的分析,研究海区DOC的分布受水团物理混合控制作用十分明显,说明调查海域夏季DOC的分布主要受到物理因素的控制,生物作用的影响较弱。

2.3.3 DOC与表观耗氧量(AOU)的关系

DOC与表观耗氧量(AOU)之间存在一定的关系,可用于间接评价水柱中的生物氧化过程。由图6可以看出,调查海区各断面的DOC与AOU之间存在较好的负相关关系。DOC和AOU间的负相关可能有4方面的原因:(1)不同水团的混合;(2)DOC的氧化;(3)沉降颗粒有机物的氧化;(4)动物的呼吸作用^[17]。AOU可能来源于溶解有机物质氧化和沉降颗粒有机物氧化的共同作用^[18]。本次调查DOC/AOU的比值为-0.08,根据Redfield比值: $\Delta C/\Delta O_2 = -0.72$ (文献[19]),估算南黄海及长江口邻近海域DOC降解所消耗的氧占表观耗氧量的11%,低于东海陆架、浙江沿岸和长江口附近(各海域DOC降解所消耗的氧分别占表观耗氧量的24%,26%和31%),同时也低于南黄海春季的33%(文献[17])。

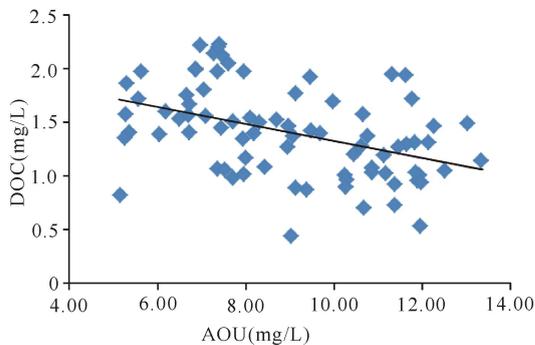


图6 DOC与AOU的相互关系

Fig. 6 The relationship between DOC and AOU

3 结论

通过对南黄海及长江口邻近海域夏季溶解有机碳的分布特征及其影响因素的研究,获得以下主要结论:

(1)2013年夏季南黄海及长江口邻近海域DOC的含量为0.24~2.37 mg/L,平均值为(1.34±0.42)mg/L。整体而言,调查海区平面分布呈现北部浓度高,向南部逐渐降低,近岸浓度高远岸浓度低的分布趋势。DOC的垂直分布呈现表层高,逐渐向底层减小,在底层又有所增加的趋势。

(2)研究海区DOC的分布受水团物理混合控制作用十分明显,近岸DOC高值区的分布主要受鲁北沿岸流和陆源输入影响,南部的低值区主要由受黑潮表层水及台湾暖流的稀释作用影响,而生物作用对DOC的影响较弱。

参考文献:

[1] Packard T, Chen W, Savenkoff C, et al. Dissolved or-

ganic carbon in the Gulf of St. Lawrence[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2000, 47(3-4): 435-459.

[2] Guo L, Peter H S, Kent W W. Dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in oceanic environments[J]. Limnology and Oceanography, 1995, 40: 1392-1403.

[3] Vittor C D, Paoli A, Umami S F. Dissolved organic carbon variability in a shallow coastal marine system (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea)[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 78 (2): 280-290.

[4] Hedges J I. Global biogeochemical cycles: Progress and problems[J]. Marine Chemistry, 1992, 39: 67-98.

[5] Hu D X. Some striking features of circulation in Huanghai Sea and East China Sea[M]// Zhou D, Liang Y B, Zeng C Q (eds.). Oceanology of China Seas. Berlin: Springer Netherlands, 1994: 27-38.

[6] 汤毓祥, 邹娥梅, 李兴宰, 等. 南黄海环流的若干特征[J]. 海洋学报, 2000, 22(1): 1-16.

Tang Y X, Zou E M, Li X Z, et al. Some features of circulation in the southern Huanghai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22(1): 1-16.

[7] 韦钦胜, 吕新刚, 王宗兴, 等. 黄海陆架锋特征及其生态效应的初步分析[J]. 地球科学进展, 2010, 25(4): 435-443.

Wei Q S, Lv X G, Wang Z X, et al. A preliminary analysis of the characteristics of the continental shelf front and its ecological effects in the Yellow Sea[J]. Advances in Earth Science, 2010, 25(4): 435-443.

[8] 李丽, 张正斌, 刘莲生, 等. 南黄海胶体有机碳和溶解有机碳的分布[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(2): 321-324.

Li L, Zhang Z B, Liu L S, et al. The distribution of colloidal and dissolved organic carbon in the Southern Yellow Sea[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1999, 29(2): 321-324.

[9] 贺志鹏, 宋金明, 张乃星. 南黄海溶解有机碳的生物地球化学特征分析[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 477-488.

He Z P, Song J M, Zhang N X. Analysis of biogeochemical characteristics of dissolved organic carbon in the Southern Yellow Sea[J]. Advaver in Marine Science, 2006, 24(4): 477-488.

[10] 谢琳萍, 王宗灵, 王保栋, 等. 春季南黄海溶解有机碳的分布特征及其受控因素[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(5): 636-640.

Xie L P, Wang Z L, Wang B D, et al. Distribution and controlled factor of dissolved organic carbon in Southern Yellow Sea in spring[J]. Marine Environmental

- Science, 2010, 29(5):636-640.
- [11] 王作华. 黄东海叶绿素 a 和溶解有机碳分布特征及固碳强度初探[D]. 青岛:中国海洋大学, 2008.
Wang Z H. The Primary Study of Distribution of Chlorophyll a, Dissolved Organic Carbon in Yellow-East China Sea and the Carbon Fixed Production of Phytoplankton [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [12] 宋新. 渤海盐度年际变化与黄海暖流、黄海冷水团年际变化的关系[D]. 青岛:中国海洋大学, 2009.
Song X. The Correlation of Interannual Variation of the Yellow Sea Cold Water Mass and the Yellow Sea Warm Current and Interannual Variation of the Salinity of the Bohai Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [13] 张婷, 王作华, 石晓勇, 等. 黄海、东海溶解有机碳的分布特征[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(2):162-166.
Zhang T, Wang Z H, Shi X Y, et al. Spatial distribution of dissolved organic carbon in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(2):162-166.
- [14] Alvarez-Salgado X A, Miller A E J. Dissolved organic carbon in a large macrotidal estuary (the Humber, UK): Behaviour during estuarine mixing[J]. Marine Pollution Bulletin, 1998, 37(3-7):216-224.
- [15] Miller A E J. Seasonal investigations of dissolved organic carbon dynamics in the Tamar estuary, UK[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1999, 49: 891-908.
- [16] Miguel A G, Maria J T, David W P. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 57:1023-1048.
- [17] 田丽欣. 东、黄海及海南近海有机碳的分布[D]. 上海:华东师范大学, 2009.
Tian L X. Distributions of Organic Carbon in the East China Sea, Yellow Sea, Northeastern Hainan Rivers and Coasts[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009.
- [18] Ogawa H, Usui T, Koike I. Distribution of dissolved organic carbon in the East China Sea [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2003, 50(2):353-366.
- [19] Anderson L A. On the hydrogen and oxygen content of marine phytoplankton[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1995, 42(9): 1675-1680.

(责任编辑:米慧芝)