

夏初海坛岛邻近海域上升流分布特征与叶绿素 a、浊度关系

胡毅, 陈坚

(国家海洋局 第三海洋研究所, 海洋与海岸地质环境开放实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 2005年6月初在台湾海峡海坛岛邻近海域进行了3个断面的水体温度、盐度、浊度、荧光叶绿素 a 调查, 通过上述要素分析, 阐述了该海域上升流发生阶段的分布特征以及荧光叶绿素 a、水体浊度的变化规律, 指出荧光叶绿素 a 的分布特征除与营养盐的限制相关外, 水体浊度对荧光叶绿素 a 的分布也起着控制作用, 同时在上升流涌升最强烈的地区往往出现了浊度最大值, 可能与底层物质的再悬浮相关。该研究对于深化认识区域海洋学过程以及影响具有积极意义。

关键词: 台湾浅滩; 悬浮物质; 浊度; 叶绿素 a

中图分类号: P736

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)04-0058-06

上升流能将富含营养盐的深层水带到上表层, 使上升流区成为海洋中生产力最高的区域之一, 引起了人们的普遍关注^[1]。海坛岛邻近海域的上升流区作为台湾海峡著名的上升流区之一, 曾得到广泛研究。肖晖^[2]分析了该区域上升流区的形成原因, 认为风、海流和地形等因子是该海域上升流形成的主因, 上升流的形成始于5月末, 至8月底消退; 杨玉玲^[3]进一步研究了该海域上升流的分布状况, 认为海坛岛上升流区的中心位置位于海坛岛以东约50 km 的海域。陈水土^[4]研究了该区域各种形态磷的存在分布形势, 认为上升流中心区具有溶解态无机磷(DIP), 总溶解态磷(TDP), 颗粒态磷(PP), 总磷(TP) 较高, 溶解态有机磷(DOP) 较低($0.27 \text{ mmol} / \text{m}^3$), 及 DIP/DOP 值(约为1)较高的特性, 局部高磷区与上升流的中心位置一致; 对氮、磷、硅等营养盐要素的化学特性进一步研究表明^[5], 近岸、底层区诸营养盐的含量较高, 而远岸、上层区营养盐含量较低。陈水土^[6]对表观耗氧量的研究认为, 该海域上升流的存在是夏季表观耗氧量分布特征的控制因素, 其与温度呈明显的负相关关系, 而与盐度呈正相关关系。张钊^[7]对该区域叶绿素 a 的研究表明, 高叶绿素 a 质量浓度均处于沿岸低温、高盐的上升流区。其垂直分布的最大值在10~20 m 层, 与上升流锋层的位置有较好的一致性。商少凌^[8]结合1998年2~3月台湾海峡的 SeaWiFS 水色数据与现场观测叶绿素数据, 对遥感与实测数据进行了初步的对照分析, 同时比较了遥测与实测叶绿素的分布状况, 分析结果表明 SeaWiFS 水色数据能够在相当程度上反映海域的实

际叶绿素 a 质量浓度。Tang^[9]通过卫星遥感提取出台湾海峡1998年夏季的海表面温度(SST)、叶绿素 a 等参数, 认为该区域可分为平潭岛外、湄洲到厦门沿岸近海、东山岛外、澎湖列岛附近、台湾浅滩等5个上升流区, 而结果表明这些上升流区具有明显的低温、高叶绿素 a 质量浓度特征。Shang^[10]通过遥感手段提取了1998年8月台湾海峡西部沿岸上升流区的 SST、叶绿素 a 短期变化特征, 结果认为台湾海峡西北部的上升流区主要受东海水体影响, 而西南部的沿岸上升流区主要受南海水体影响, 两者表现为不同的时间变化特征。

以上分析与研究的现场资料大多基于20世纪80年代的调查成果, 且分析的主要季节集中于上升流涌升最为强烈的月份(7~8月)。而对该海域上升流形成初始阶段(5月末, 6月初)的水体浊度和叶绿素 a 的分布规律及变化特征研究不多。通过研究上升流发生阶段的分布状况和对悬浮物质分布特征的影响将为区域海洋悬浮物质输移模式建立提供进一步的参考资料。作者主要通过对2005年6月初在海坛岛邻近海域现场同步获取的水体浊度、荧光叶绿素 a (下简称为叶绿素 a) 数据的研究, 初步阐明海坛岛邻近海域上升流初始形成阶段的分布状况, 叶绿素 a、水体浊度分布特征, 以及两者的相互作用关系。

收稿日期: 2008-11-28; 修回日期: 2009-12-19

基金项目: 国家海洋局青年海洋科学基金资助项目(2008316); 福建省自然科学基金资助项目(2009J01218); 福建省 908 专项资助项目(FJ908-02-02-06)

作者简介: 胡毅(1976-), 男, 湖南湘乡人, 工程师, 硕士, 现从事海洋地质地球物理研究, 电话: 0592-2195808, E-mail: hu1976yi@163.com

1 调查海域与调查方法

2005年6月8~10日,对海坛岛邻近海域进行了现场温度、盐度、深度、水体浊度、荧光叶绿素a等要素的调查,调查使用的仪器为挪威SAIV公司生产的SD204小型温盐深CTD探测仪,并装有SEAPOINT公司的浊度和叶绿素a荧光探头,通过叶绿素a荧光探头能测量海洋中浮游植物体内叶绿素a的浓度。浊度探头设置量程为0~75 FTU;叶绿素a荧光探头设置量程为0~7.5 mg/m³;采样频率1次/s,下放速度<1 m/s。调查取得的数据通过仪器自带软件导出成ASCII文件,对明显异常的跳点进行了人工改正和平滑。调查船为福建海洋研究所的“延平2号”。

此次调查布设了3条水体浊度、叶绿素a观测断面,断面走向与海峡走向基本垂直。A、B、C3条断面自北向南沿海坛岛东西向依次排列(图1)。海坛岛地处福建省中部沿海,与福建省第一大江闽江河口毗邻,其东侧与乌丘水道相接,北上的台湾海峡暖流在此处受地形抬升阻隔影响,底层水涌升,在爬坡过程中形成上升流。

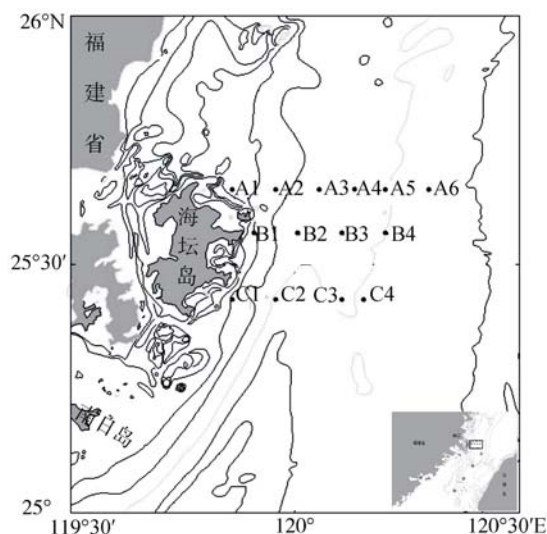


图1 调查站位分布

Fig.1 Location of survey stations

2 夏初海坛岛邻近海域上升流的分布特征

对闽中沿岸上升流区比较一致的看法是该上升流区形成于5月末6月初,7月达最盛,8月末衰退;上升流的分布位置一般认为分布于海坛岛近岸海域,

也有文献认为其中心区域位于海坛岛以东50 km处^[3]。同时以往针对该区域的调查研究往往是数站乃至一站之见,本文就夏初航次取得的3条断面的同步水文要素调查数据进行了分析。

图2为A、B、C3条断面的温度、盐度分布。从断面分布特征可以看出,温度分布近岸较低、外海逐渐升高;底层低于表层为基本分布特征。从南北向的断面分布而言,北部断面表底层之间温度梯度较小,往南温度梯度逐渐升高,海水底部为温度低于24℃的水体占据。在C断面水温低于24℃的水体可达5 m水层,往北在B断面可见24℃的低温水体顺坡爬升,在B2站附近可达18 m左右。再往北至A断面其爬升趋势呈尖锥状,在A3站附近爬升为最高,可至约22 m。就A、B两断面的涌升趋势而言,在B断面其头部涌升可向岸至10 km左右,而在A断面其向岸涌升趋势则在离岸约20 km。在盐度断面分布图上可以看到相似的分布状况。而C断面的温盐分布特征并没表现出较好的一致性。底层为高盐(>34)水体占据,呈水平层状分布,在断面温度分布图上,近岸水体呈较强的爬升趋势,在C1站可至5 m水层处。由于调查期间受东北季风影响^[11],闽江水沿岸南下。其低盐水体(<32)自北往南其向东延伸宽度依次递减,在A断面可达20 km,至B断面则仅15 km,而在C断面则已不足10 km宽度。C断面的温度分布特征表明在近岸附近底层水存在较为强劲的爬升能力,而受闽浙沿岸流南下影响,近岸10 m以浅盐度表现为低盐特征。从而二者在温盐分布的关系上并没表现出较好的一致性。而A、B两断面存在着较为明显的底层水由外海向近岸涌升的现象。

根据3条断面的温、盐分布特征,大致可以分出,C断面代表了南日岛—海坛岛一带上升流的涌升状况,其底层水沿岸边涌升,越靠近岸边涌升现象越为明显。而A、B两条断面代表了海坛岛外海上上升流的涌升现象,虽然正处于春末夏初的时候,上升流涌升现象并不十分强烈,仅可达约20 m水层,涌升中心并非处于地形坡折最大处,相反存在于40~50 m水深,但可以看出,夏初的上升流涌升中心并没处于近岸边缘,而是向外海倾斜,往北其中心东移,夏季初其中心位置约离海坛岛20 km附近。这与闽浙沿岸流受东北季风影响沿岸南下相关,相信随着西南季风的出现,上升流将进一步向西近岸扩展。显然,调查的3条断面代表了两处的上升流现象,而在

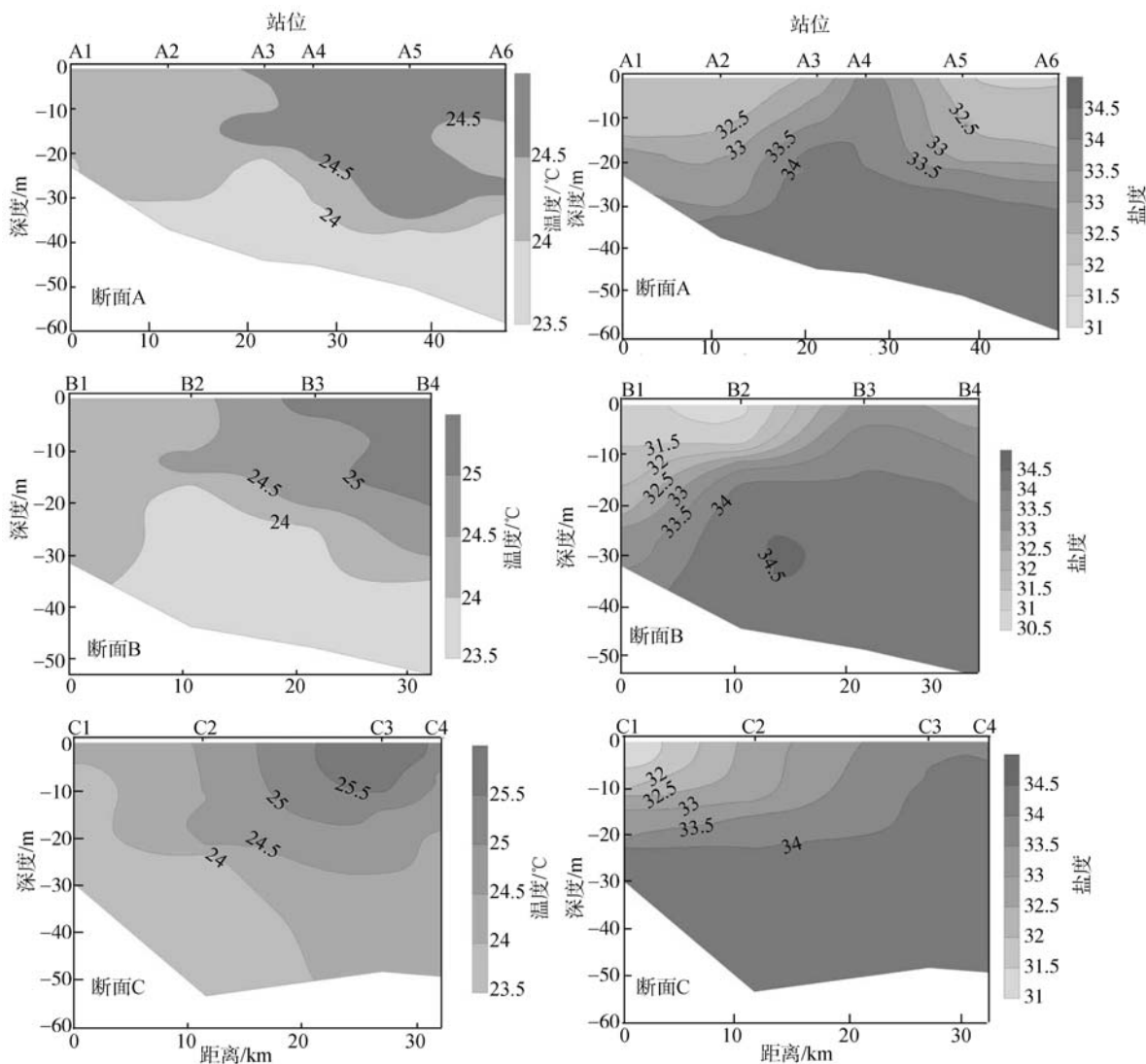


图2 A, B, C断面温度、盐度分布

Fig. 2 Temperature and salinity distributions of profile A, B and C

海坛岛邻近海域的上升流应该是指B断面B2站和A断面A3站连线及其附近的狭长区间,当然,随着上升流区域的进一步扩展,二者可能会如文献[9]显示的一样连成一片。

3 悬浮物质叶绿素 a、浊度的垂向特征

3.1 叶绿素 a 垂直分布

海坛岛邻近海域夏季初典型测站叶绿素 a 垂直分布如图3所示。由图3可见,该海域主要存在3种类型的叶绿素 a 垂直分布。

3.1.1 跃变型

这种类型主要出现在近岸水域测站。如C1站叶绿素 a 垂向最大值(1.4 mg/m^3)出现在表层,随着深度

递增,至15 m水层已降低至质量浓度不足 0.5 mg/m^3 。在11~12 m之间叶绿素 a 浓度从 1.0 mg/m^3 骤降至 0.7 mg/m^3 ,显示为较强的跃变性。

3.1.2 单峰型

这种类型出现在断面东侧。其峰值强度不一,有的表现为强峰型,如B3测站,峰值可达 1.2 mg/m^3 ;有的则表现为弱峰型,如A6测站,峰值仅为 0.5 mg/m^3 。峰值出现的水层主要位于20~30 m水层,最大值水层以上和以下水体中的叶绿素 a 都迅速降低,降到 0.4 mg/m^3 以下。

3.1.3 弱双峰型

该类型仅在A2出现,其峰值均不大,约处于 $0.5 \sim 0.6 \text{ mg/m}^3$ 之间,峰值一处出现于10 m水层,另

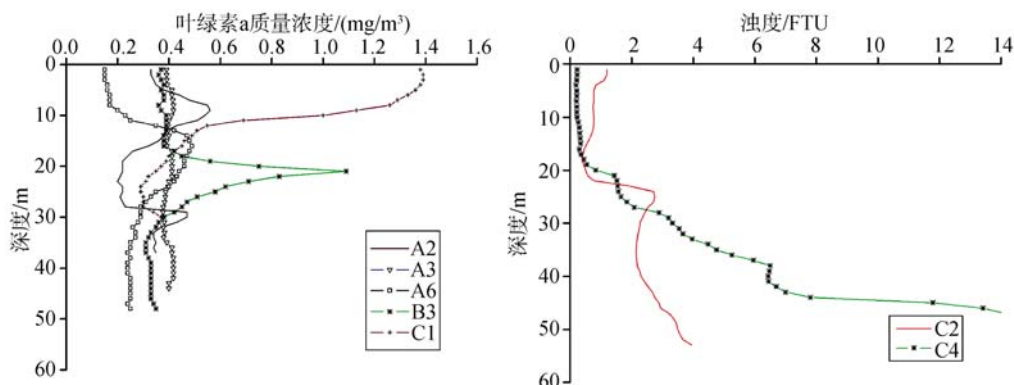


图 3 叶绿素 a、浊度垂直分布
Fig. 3 Vertical distributions of Chl-a and turbidity

一处出现于 30 m 水层。

3.1.4 垂直均匀型

这种类型出现于 A3 站，叶绿素 a 质量浓度呈垂直均匀分布，其波动约在 0.4 ~ 0.5 mg/m³ 之间。

3.2 浊度垂直分布

浊度分布以一种类型为主，均表现为表层浊度低于底层浊度，呈递减型。或呈阶梯状递减，如 C2 站，或逐步递减，如 C4 站。

4 悬浮物质叶绿素 a、浊度断面分布特征

悬浮物质叶绿素 a 总体呈近岸高、外海低，表层高、底层低的分布特征(图 4)。A 断面极大值出现于 A1 站上层水体，在 A3 ~ A4 站约 20 m 水深处分布着次极大值水团(> 0.6 mg/m³)。断面其他区域为叶绿素 a < 0.6 mg/m³ 的水体占据。B 断面叶绿素 a 分布特征与 A 断面相似，只是在东侧调查站位 20 ~ 30 m 水深之间其叶绿素 a 次高值呈串珠状分布。C 断面叶绿素 a 除在 C1 站表层出现极大值外，在外海及近岸底层均出现极小值分布(< 0.4 mg/m³)。

断面浊度表层低于底层，近岸高于外海，在上升流涌升强烈的站位底层一般都出现了浊度极大值，如 C1, B2, A3 等站。浊度等值线沿地形呈层状分布。

5 讨论

从悬浮物质的浊度、叶绿素 a 分布可以看出，断面的叶绿素 a 分布特征深受断面的浊度分布特征影响。叶绿素 a 是表征浮游植物生物量的一个重要指标。而且可用它估算水域初级生产力^[12]。限制浮游

植物生长的 3 大要素包括营养盐、光照和温度。在夏初时节，位于海坛岛邻近海域的表底温度梯度并不太大，同一测站的表底温差一般为 2℃ 左右，尤其在近岸测站，如 C1 站，其温度垂向分布变化不大，上下层水温温度差值较小(< 0.3℃)，但悬浮物质的叶绿素 a 则可从次表层的 1.6 mg/m³ 降至中下层 < 0.4 mg/m³ 水平。显然，调查期间温度并非限制浮游植物生长的主要因素。

从叶绿素 a 的分布特征来看，营养盐可能是限制浮游植物生长的一个因素。在近岸测站表层至次表层之间，无一例外地出现了叶绿素 a 的极大值分布。其原因在于一方面由于近岸测站受人为活动影响较大，人类排放的富营养物质是浮游植物生长的极好原料^[5]；另一方面受浙闽沿岸流影响，从河流带来的营养盐物质也将促进浮游植物的生长。但从叶绿素 a 分布来看，如以叶绿素 a 大于 0.5 mg/m³ 为相对高值区，则 C 断面表层叶绿素 a 的高值范围可向东达 20 km 左右，而往北依次递减，至 A 断面仅局限于 10 km 左右。而从盐度的断面分布图可知，A 断面受浙闽沿岸流的影响显然大于 C 断面，从中可以得出：近岸站位表层(次表层)的极大值主要受人类活动影响，浙闽沿岸流对其的影响处于次要位置。

浊度对浮游植物生长则起着限制作用。以 C1 站为例，该站温度梯度较小，营养盐较为丰富，但叶绿素 a 高值区仅局限于次表层 13 m 以上水体，而在其下，由于水体浊度急剧增加(> 4 FTU)，使浮游植物缺少必要的光源照射，从而造成叶绿素 a 数值的骤减。而 A, B 断面中部站位的叶绿素 a 分布特征受营养盐与浊度的双重限制。由于断面中下层水体温度变化较小，而在涌升水涌升的整个区间，应存在大

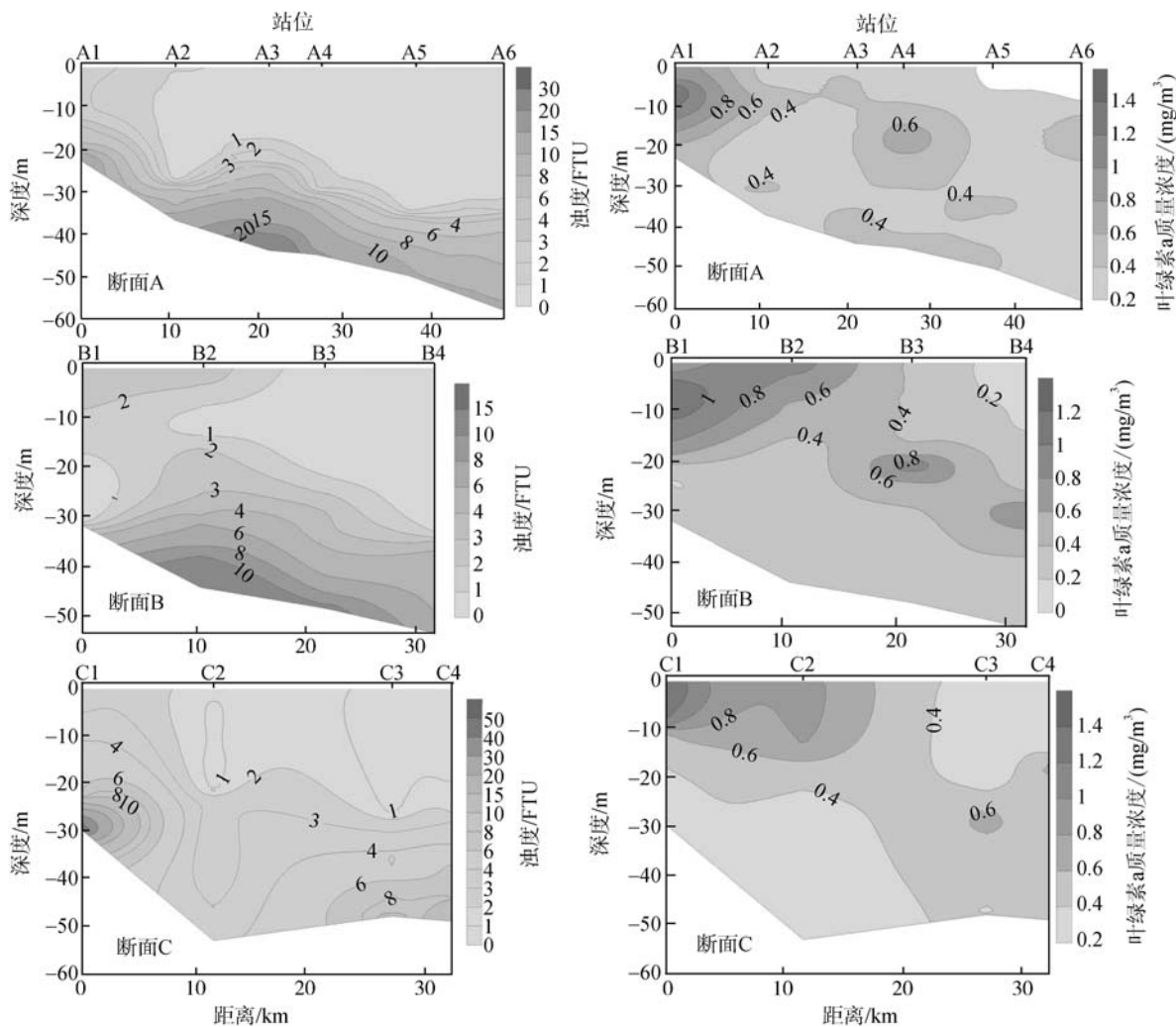


图 4 A,B,C 断面浊度、叶绿素 a 分布

Fig. 4 Turbidity and Fluorescence Chl-a distributions of profile A, B and C

体一致的营养盐分布，甚至底部的营养盐分布更应高于其顶部。但在底层水体并没有发现一致的叶绿素 a 分布状况。显然涌升的头部(顶端)由于更接近水面，近底物质的再悬浮对其影响又小，因此，有利于浮游植物的生长；下层水体受光照限制影响，加上底部物质再悬浮造成的浊度异常增大，将会显著抑制浮游植物的生长。而在涌升水头部以上，由于缺少相应的营养盐供应，叶绿素 a 表现为低值。这就是叶绿素 a 极值形成于中部 20 m 水层的原因。涌升水上部受营养盐限制，而涌升水下部受浊度限制。

而浊度极大值往往出现于涌升现象最为强烈的测站底层，这一方面可能由于底层水顺坡爬升，在涌升最为强烈的地方可能相应的水动力更强，另一方面也与底层的沉积物结构有关。由于缺少相应的现场观测资料，在此不做讨论。

6 结论

(1)通过春末夏初海坛岛邻近海域 3 个断面的水体浊度、叶绿素 a 调查，认为该时段海坛岛上升流主要分布于海坛岛中北部地区，其涌升中心并非处于地形坡折最大处，相反存在于 40~50 m 水深；而南端的近岸上升流应属于南日岛-海坛岛上升流系。(2)叶绿素 a 的分布表明，受近岸人为富营养化、及闽浙沿岸流影响，其叶绿素 a 极大值往往出现于近岸表层水体，在 A, B 断面上涌升涌升中心的顶部会出现相应的叶绿素 a 次极值中心，以 B 断面表现更为强烈。C 断面近岸次表层分布着叶绿素 a 极大值，而在断面其他区域，相应的次极大值出现并不明显。(3)底层物质的再悬浮显著影响着水体浊度的分布特征。在上升流涌升强烈的数站均出现了浊度的极大

值中心, 浊度自底向表的增高反映了再悬浮作用对水体浊度的影响。由于底层水体浊度过高 (> 10 FTU), 形成了光照限制, 其存在限制了水体中浮游生物的生长, 造成叶绿素 a 次极大值往往只能形成于上升流的顶部。显然, 在夏初上升流刚刚出现的阶段, 浊度成为限制浮游植物生长的主要因子。

致谢: 汪卫国博士、黄财宾工程师与“延平 2 号”诸多船员在采样过程中提供了大力帮助, 在此谨致谢忱!

参考文献:

- [1] Pennington J T, Chavez F P. Seasonal fluctuations of temperature, salinity, nitrate, chlorophyll and primary production at station H3/M1 over 1989–1996 in Monterey Bay[J]. *Deep Sea Research Part II*, 2000, 47: 947-973.
- [2] 肖晖. 台湾海峡西部沿岸上升流研究[J]. 台湾海峡, 1988, 7(2): 135-142.
- [3] 杨玉玲, 吴永成. 台湾海峡西部沿岸上升流的中心位置和共同特征探讨[J]. 海洋科学, 1996, 6: 45-49.
- [4] 陈水土. 台湾海峡中北部上升流区各种形态磷的化学特性[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 664-670.
- [5] 陈水土, 阮五崎. 台湾海峡上升流区氮, 磷, 硅的化学特性及输送通量估算[J]. 海洋学报, 1996, 18(3): 36-44.
- [6] 陈水土. 台湾海峡海域表观耗氧量之研究[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(3): 287-295.
- [7] 张钊, 杨尧. 台湾海峡中, 北部夏季叶绿素 a 分布与上升流的关系[J]. 热带海洋, 1994, 13(1): 91-95.
- [8] 商少凌, 洪华生, 张彩云. 1998 年冬季台湾海峡遥测叶绿素分布特征[J]. 海洋通报, 2001, 20(2): 25-29.
- [9] Tang Danlin, Kester D R, Ni I-Hsun. Upwelling in the Taiwan Strait during the summer monsoon detected by satellite and shipboard measurements[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 457-471.
- [10] Shang Shaolin, Zhang Caiyun, Hong Huasheng. Short-term variability of chlorophyll associated with upwelling events in the Taiwan Strait during the southwest monsoon of 1998[J]. *Deep Sea Research Part II*, 2004, 51(10-11): 1113-1127.
- [11] 厦门大学海洋遥感与信息模拟组. NASA QuikSCAT L3 级风场 [EB/OL]. <http://ois.xmu.edu.cn/quikscatL3China/asp/advanced.htm>, 2005-06-08.
- [12] 费尊乐, Trees C C, 李宝华. 利用叶绿素资料计算初级生产力[J]. 黄渤海海洋, 1997, 15(1): 35-47.

Distributions of upwelling with relation to the turbidity and chlorophyll a fluorescence of the suspended matter near Haitan Island in early summer

HU Yi, CHEN Jian

(Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Coast and Ocean Environmental Geology Open Laboratory, Xiamen 361005, China)

Received: Nov., 28, 2008

Key words: Haitan Island; upwelling; turbidity; chlorophyll a fluorescence

Abstract: Three sections was investigated about the water temperature, salinity, turbidity and chlorophyll a (Chl-a) fluorescence of the suspended particulate matter (SPM) in the adjacent waters near the Haitan Island in June, 2005. Relationships of the distribution of upwelling and the turbidity and Chl-a fluorescence of SPM during the beginning formation of upwelling were explained. The distribution of Chl-a fluorescence is controlled by not only nutrients but also turbidity. The maximum turbidity always emerges where have the strongest climbing trend of upwelling along the seabed occurs, and is affected by the re-suspended in seabed. This research improves the understanding of the regional oceanography.

(本文编辑: 刘珊珊)