

黄、东海夏季叶绿素 a 分布特征的初步探讨

王作华 石晓勇* 张传松 梁生康 王丽莎

(中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100)

摘要 2006 年 6~7 月对黄、东海海区叶绿素 a 现场取样分析。结果显示,叶绿素 a 的分布整体上呈现从近岸到远海降低的趋势。受长江冲淡水 and 上升流的影响,高值区主要在 $28^{\circ}\sim 32^{\circ}$ N, $122.5^{\circ}\sim 123^{\circ}$ E 之间。光照条件和营养盐等是影响夏季黄、东海海域叶绿素 a 分布的主要因素。

关键词 黄、东海 叶绿素 a 光照 营养盐

中图分类号 TS722.6;P734 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)02-0120-07

Primary study on characteristics of distribution of chlorophyll a in the Yellow Sea and East China Sea

WANG Zuo-hua SHI Xiao-yong* ZHANG Chuan-song
LIANG Sheng-kang WANG Li-sha

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100)

ABSTRACT The horizontal, vertical and sectional distribution of chlorophyll a was studied in detail based on the data obtained by field observations from June to July, 2006 in the Yellow Sea and East China Sea. It was found that, the values of chlorophyll a decreased from the shore to open sea in the horizontal distribution. Affected by Chang Jiang River and upwelling water, the high values were found at an area between $28^{\circ}\sim 32^{\circ}$ N, $122.5^{\circ}\sim 123^{\circ}$ E. The condition of illumination and nutrients was the main factors of chlorophyll a distribution.

KEY WORDS Yellow Sea and East China Sea Chlorophyll a Illumination Nutrients

浮游植物叶绿素特别是叶绿素 a, 是各门藻类都含有的光合作用色素, 是海洋中浮游植物现存量的一个良好指标, 通常可以用来估算初级生产力(费尊乐等 1997)。在 20 世纪 50 年代, 浮游植物的叶绿素尤其是叶绿素 a 的含量已经被用作海洋食物量的指示物(Richard *et al.* 1952)。关于黄、东海及其邻近水域中叶绿素 a 的分布情况已经做过一些研究(林学举等 2002; 夏滨 2001; 沈新强 1995), 但对于叶绿素 a 的分布都仅限于讨论一种分布状态或只对其中一部分海域做研究。近几年来, 由于陆源污染物大量超标排入近海, 尤其是东海地处我国经济较发达的地区, 每年排入东海的污染物占全国海域的 50% 以上(国家海洋局 2006), 导致东海的富营养化加剧, 邹景忠等(1983)根据我国颁发的渔业水质标准和海水水质标准, 提出叶绿素 a ($1\sim 10$) mg/m^3 、初级生产力 ($1\sim 10$) $\text{mg}/\text{d}\cdot\text{m}\cdot\text{h}$ 作为富营养化的阈值。鉴于叶绿素 a 对海洋生态及海洋污染评价

国家重点基础研究发展规划项目(2005CB422305)和国家自然科学基金重大项目(40490262)共同资助

* 通讯作者。E-mail: shixy@ouc.edu.cn

收稿日期: 2008-01-24; 接受日期: 2008-03-27

作者简介: 王作华(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事海洋污染生态化学研究。E-mail: messias1015@163.com, Tel: 13608984679

的重要意义,本文根据 2006 年 6 月底到 7 月中旬在黄、东海的调查,对黄、东海叶绿素 a 的分布特征进行了初步的分析,为黄、东海的环境演变分析提供基本的依据。

1 样品采集与测定

从 6 月 28 日~7 月 15 日对 120.0°~126.0° E,25.0°~35.8° N 的黄、东海海域进行调查。此次调查共设定 8 个断面,46 个站位(图 1)。现场调查使用直读式温盐深仪(Seabird911-plusCTD)对温度、盐度和浊度进行测定。使用 CTD 附带的 12 联装 12 L 电控 Niskin 采水系统,按照《海洋监测规范》中规定的标准层次进行采水。叶绿素 a 的样品使用孔径 0.70 μm 的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜抽滤大约 500~1 500 L 水样,为防止叶绿素降解,抽滤前加入 1 ml MgCO₃ 悬浊液,滤膜样品避光、干燥和冷冻(-20 °C)保存。叶绿素 a 的测定采用荧光法(国家标准出版社 1991),用 90% 的丙酮萃取,低温避光萃取 24 h,使用便携式荧光计(Turner-Designs-Model 10)测定。样品测量前先用 Sigma 标准叶绿素 a 配制 0、11.5、45.9、91.9 和 138 μg/L 5 个浓度梯度的溶液。标准品根据 Jefferey-Humphrey(Jeffrey *et al.* 1975)的计算方程计算其浓度。根据标准溶液酸化前后的信号值(R_a 和 R_b 单位:μg/L)求其校正因子 $r = \frac{R_b}{R_a}$,叶绿素 a 的值由公式 $\text{Chl-a} = \frac{r}{r-1} \times (R_d - R_c)$ 计算得出(R_d 和 R_c 分别为酸化前后荧光仪的检测信号值,单位:μg/L),标准偏差为 0.025 μg/L。

2 结果与讨论

2.1 叶绿素 a 的平面分布特征

图 2 是 2006 年夏季黄、东海表层、10 m 和 30 m 叶绿素 a 的平面分布特征。2006 年夏季黄、东海叶绿素 a 的平面分布基本上都是从近岸到远海逐渐降低的趋势;叶绿素 a 的浓度最大范围基本上都在长江口附近和浙江沿岸的赤潮高发区以内,这与长江冲淡水及赤潮高发区内丰富的营养盐、合适的光照和温度有关。本航次所测得的表层叶绿素 a 的浓度范围为 0.01~12.78 μg/L,平均浓度为 1.20 μg/L,最高值出现在长江入海口附近的 S0501 站的 10 m 层(位于 122.3301° E,31.4916° N),为 33.38 μg/L。

表层叶绿素 a 在黄、东海的分布主要有两个高值区域,一个位于长江入海口附近,这主要是长江将大量营养物质从陆地带入长江口海域(王保栋 1998)。营养盐是浮游植物生长的基本物质,水体中营养盐的含量及其比值直接影响浮游植物的生长(张春雷等

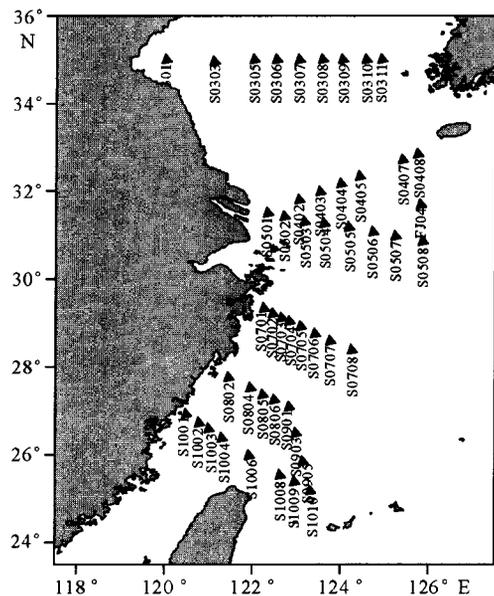


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations in the survey of 973 project in the Yellow Sea and East China Sea in 2006

2006)。此外,夏季合适的光照和温度,促使长江口附近海域的浮游植物大量繁殖,叶绿素 a 的含量较高。另一个高值区位于调查海区的南部舟山渔场附近,也是东海赤潮高发区(周名江等 2001),夏季长江冲淡水向东北方向偏转,故对该区域影响较小,推测该区叶绿素 a 较高可能与此处存在上升流有关。以 29° N 为中心,122° 30' E 以西的沿岸海区常年存在一上升流区(曹欣中 1986;许建平 1986)。早在 1964 年毛汉礼就指出在此附近存在上升流。此处上升流主要是由于台湾暖流在北进过程中,在接近长江口外时受到等深线发散的影响被迫抬升产生的。产生的上升流不断给海水表层补充营养盐使该区成为海洋生产力较高的海域,这与赵保仁(1993)和鲁北纬(1997)的报道一致。

10 m 层叶绿素 a 的平面分布特征与表层比较相似,高值范围分布在长江入海口和浙江沿岸附近。从数值上看,10 m 的最高值要比表层略高,这可能与表层光照强度太强有关,有大部分站位的最高值出现在 10 m 层

(如 S0501 站 10 m 叶绿素 a 浓度为 $33.85 \mu\text{g/L}$ 、S0702 站 10 m 叶绿素 a 浓度为 $13.81 \mu\text{g/L}$ 等)。但某些站位的 10 m 层可能受长江入海附近泥沙沉积造成水体混浊的影响,虽然营养盐比较丰富但仍然使浮游植物的生长受到了一定的限制,叶绿素 a 值比表层稍低(如 S0402 站 10 m 叶绿素 a 浓度为 $0.552 \mu\text{g/L}$ 、S0405 站 10 m 叶绿素 a 浓度为 $0.385 \mu\text{g/L}$ 等)。10 m 层平均浓度 $1.16 \mu\text{g/L}$,比表层稍低。

由于浮游植物的生长受光的影响比较大,基本上都生长在 30~50 m 以上区域,30 m 层叶绿素 a 的平面分布特征与 0 m 和 10 m 的平面分布从趋势上看基本相似,都是由近岸向远海降低,但是从图 2 中可以看出 30 m 层的叶绿素 a 的高值区域比较小,主要集中在 30.00°N 以南区域,此处水深较深,根据赵保仁等(1993)的研究结果,台湾暖流的透光性能较长江冲淡水好得多,从浊度的平面分布(图 2)也能看出 30 m 深时长江冲淡水影响区域浊度较大,而在 30.00°N 以南区域则很低。在营养盐不受限制的情况下,这对于 30.00°N 以南区域浮游植物的光合作用非常有利,因而此处叶绿素 a 的值较同深度其他区域高。从整个黄、东海看,30 m 层叶绿素 a 平均浓度仅为 $0.35 \mu\text{g/L}$,明显低于表层和 10 m 层,说明光照是影响浮游植物生长的重要因子。到 50 m 以下时叶绿素 a 的浓度更小,基本上都在 $0.30 \mu\text{g/L}$ 以下,平均值为 $0.18 \mu\text{g/L}$ 。更深层时,叶绿素 a 甚至低于检测限。

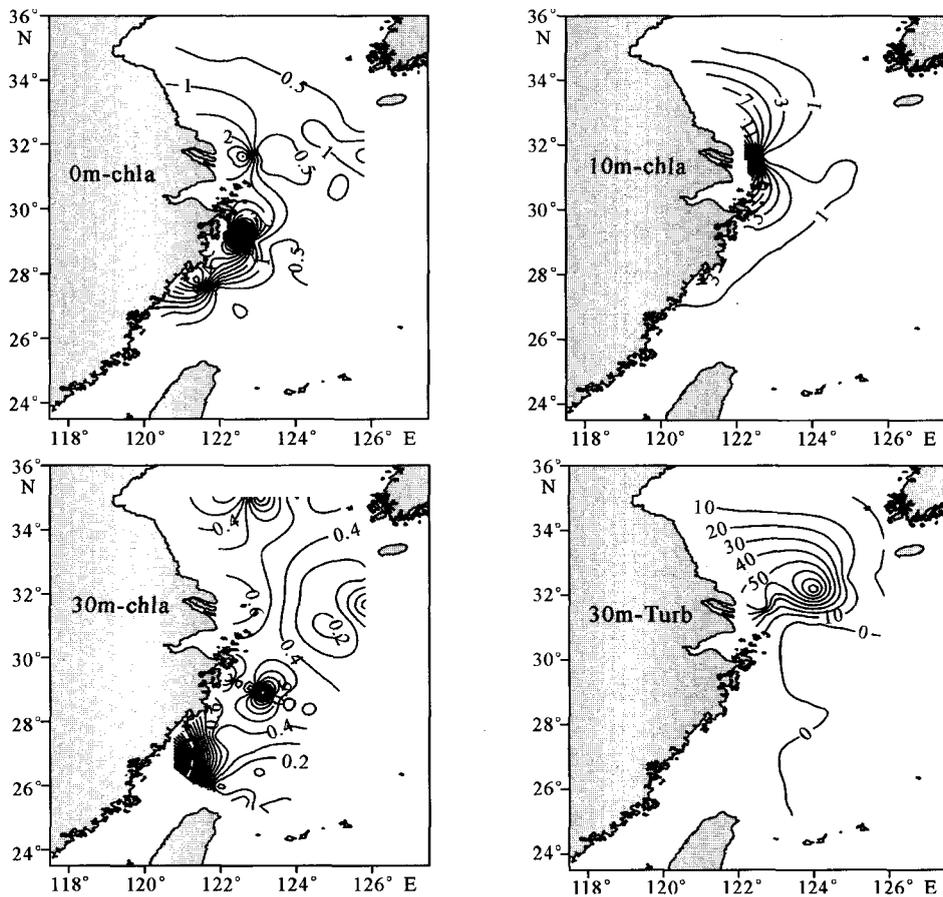


图 2 各层叶绿素 a 的平面分布及 30 m 层的浊度分布

Fig. 2 Horizontal distribution of chlorophyll a and turbidity at the depth of 30 m

2.2 叶绿素 a 的断面分布特征

各个断面分布特征如图 3 所示。从图 3 中可以看出各断面叶绿素 a 的分布呈现从近海到远岸降低的趋势,最大值基本上位于 0~50 m,在这个深度以下随着深度的增加逐渐降低。

从图 3 的断面分布特征来看, S04、S05 断面的叶绿素 a 分布特征比较类似。S04、S05 断面均受长江冲淡水的影响,使其在分布上具有相似的特征:两个断面均在 5~15 m 左右出现断面的最高值,且高值都集中在 123°N 以西到岸的区域;S04 断面西起长江口,往东到韩国济州岛附近区域,由于长江冲淡水在夏季向东北方向偏转(许建平 1986),给 S04 断面靠近沿岸附近区域带来了相对丰富的营养盐,有利于浮游植物的生长,使得 S04 断面沿岸的区域叶绿素 a 的值相对较高,S05 断面西起长江口,往东到 126°E,受长江冲淡水影响比较明显,长江冲淡水带来了大量的硝酸盐、硅酸盐和铵盐等浮游植物生长所必需的物质,是此处叶绿素 a 的浓度较高的主要原因。

S07、S08 断面比较类似,两个断面都受近岸水的影响比较大,而且此处台湾暖流抬升,对东海赤潮高发区磷的含量起到了补充作用(张春雷等 2006)。从浊度上来看此区浊度较低,便于浮游植物的光合作用,有利于浮游植物的生长,因此这两个断面的叶绿素 a 的含量也比较高。尤其是 S07 断面叶绿素 a 含量较高,与该区西

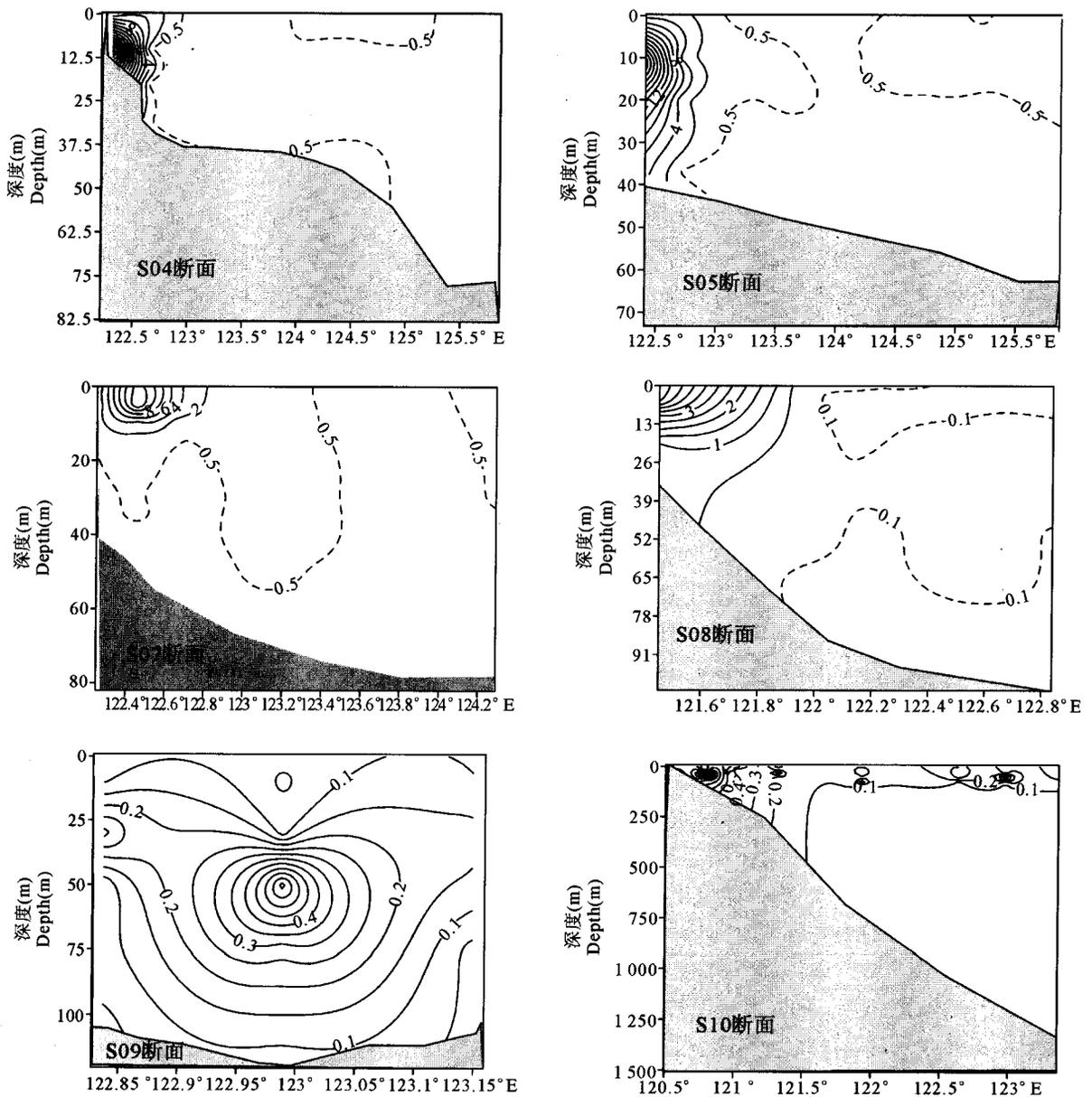


图 3 各断面叶绿素 a 的断面分布特征

Fig. 3 Sectional distribution of chlorophyll a

侧南下的长江冲淡水与高盐的台湾暖流混合形成一盐度锋面及此处所存在的浙江沿岸的上升流有关。此外由于盐度锋面的形成,沿岸水很难进行垂直混合,只能在水平方向上进行扩展,深度小于10 m。因此这两个断面叶绿素 a 的高值出现的深度较浅,基本上都在10 m 以上深度。

S10 断面位于台湾海峡北出口,西起福建省福鼎市,东至冲绳海槽西部。S09 断面南起冲绳海槽西部,北至27°N。由于这两个断面受近岸水的影响比较弱,加之此两个断面很多站位位于黑潮区,黑潮区表层的营养盐含量非常低(王玉衡等 1992),不利于浮游植物的生长,因此 S09、S10 两个断面的叶绿素 a 含量很低,即使在近岸和表层叶绿素 a 的值也较低。除 S1002 站以外,叶绿素 a 的值在表层基本上低于0.40 μg/L。在深度为50 m 左右时由于生物分解释放,营养盐含量较高,叶绿素 a 的值出现相对高的值。到50 m 以下虽然营养盐含量变高,但由于光照较差,不能有效进行光合作用,叶绿素 a 的值比较低。

2.3 叶绿素 a 含量的垂直分布

由于本文所涉及站位比较多,对垂直分布,主要按照各水团及地理位置的不同并参照吴荣军等(2002)在黄、东海所做的海水的混合和层化对叶绿素 a 的垂向分布的影响选取4个代表性站位作为研究对象,分别是位于黄海冷水团区的 S0310 站,长江入海口附近的 S0502 站,东海沿岸区的 S0702 站以及处于远海区的水深较深的 S1009 站,图4 分别是 S0310、S0502、S0702 和 S1009 站的叶绿素 a、温度及盐度的垂直分布情况及 S1009 站的磷酸盐、硝酸盐和硅酸盐的垂直分布特征。

S0310 位于黄海冷水团所经过区域,黄海冷水团是以低温为主要特征的季节性水团,内部的温、盐性质不均匀,且分布范围广,位于33°N 以北海域的深底层。与黄海水、青岛冷水团和黄海暖流水等水团相邻(翁学传 1988)。在此区温、盐垂直分布的突出特点是:除了沿岸区,因潮混合作用形成垂直均匀分布外,大部分海域皆呈现双层结构,且愈向北,跃层的强度愈大(汤毓祥等 2000)。如图4-b 所示,S0310 站在35 m 左右有一个明显的跃层,在这个跃层以下温度迅速降低、盐度增大,受此影响叶绿素 a 的垂直变化较明显,叶绿素 a 在30 m 也出现最大值,为0.58 μg/L,表层和底层都低于0.20 μg/L。此区水深较浅,透明度较低,因此跃层以下,受光照限制叶绿素 a 的值逐渐降低。

S0502 站位于长江入海口附近。长江口海区中的长江冲淡水,是由长江的陆源径流与海水混合形成的,分布于长江口及其以北近岸水域,呈舌状向东北方向伸展(张启龙等 1996),低盐的冲淡水通常只浮置于表层10 m 以内,其下为极强的盐度跃层(苏纪兰等 2005)。夏季,长江径流水温比海水温度高,冲淡水入海后仍以高温的形式体现,水温垂向变化较大,形成温度跃层。温度跃层的形成,有利于水体的稳定。在这样较为稳定的水体状况下,浮游植物在真光层中的平均滞留时间会延长,再加上冲淡水中富含大量的溶解营养盐,有利于浮游植物生长(浦薪明等 2001; Kosef *et al.* 1993)。在10 m 左右出现一个明显的温度和盐度的跃层,相对应地在10 m 左右叶绿素 a 出现一个最大值,随着深度的加深,跃层以下叶绿素 a 的值逐渐减小。

位于东海沿岸区的 S0702 站(122.454°E,29.2084°N),受沿岸水影响比较大,同时台湾暖流深层水在该区域发生强烈抬升,形成“上升流锋面”。由于密度锋的存在,沿岸水很难进行垂直混合,只能在水平方向上进行扩展,深度小于10 m。如图4-b 和图4-c 所示。在大约5 m 处出现一个温度和盐度的跃层,在这个跃层以上由于沿岸流带来充足的营养盐加上合适的温度和光照,有利于浮游植物的生长,因此在跃层以上深度如图4 所示,叶绿素 a 的浓度都比较大。在此跃层以下,随着跃层消失、透明度降低,叶绿素 a 的值迅速降低。

S1009 站位于东海的远海区域,水比较深。受黑潮影响,该区的表层营养盐含量很低(张春雷等 2006),50 m 以上区域,各营养盐的含量都很低,限制了浮游植物的生长,因此叶绿素 a 的整体值都比较低。从图2 中可以看出这个区域的浊度比较低,有利于光合作用。而且在30~50 m 水深时,营养盐浓度随生物分解释放明显高于表层,因此叶绿素 a 在此深度有一个较高值。更深处,由于光照较弱、温度较低,不利于浮游植物的生长,叶绿素 a 的含量逐渐降低。该分布形式与林学举等(2002)在黑潮区域利用荧光探头所做的结果基本一致。

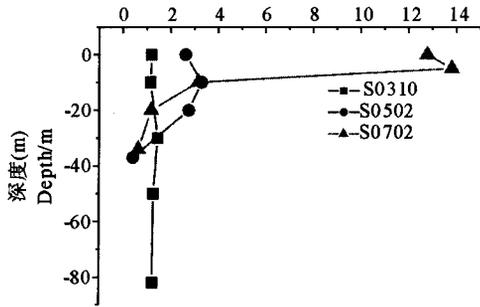


图 4-a S0310, S0502, S0702 站叶绿素 a 的垂直分布
Fig. 4-a Vertical distribution of chlorophyll a at stations S0310, S0502, S0702

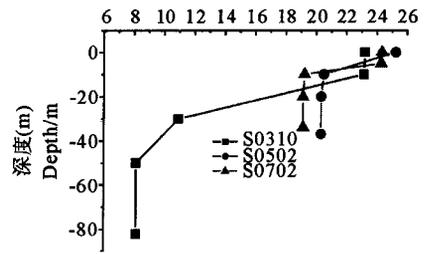


图 4-b S0310, S0502, S0702 站的温度的垂直分布
Fig. 4-b Vertical distribution of temperature at stations S0310, S0502 and S0702

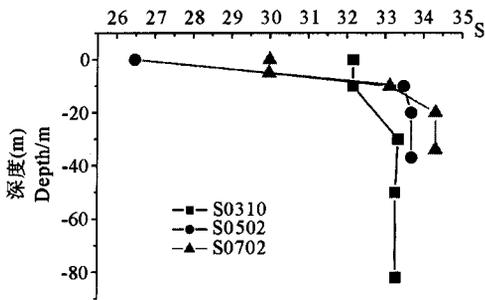


图 4-c S0310, S0502, S0702 站的盐度垂直分布
Fig. 4-c Vertical distribution of salinity at stations of S0310, S0502, S0702

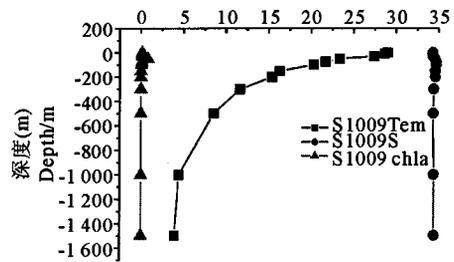


图 4-d S1009 站温度、盐度和叶绿素 a 的垂直分布
Fig. 4-d Vertical distribution of temperature, salinity and chlorophyll a at station S1009

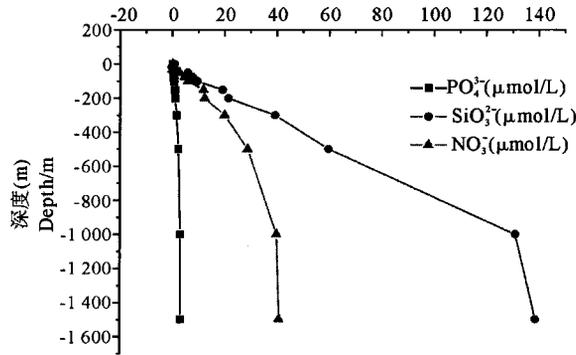


图 4-e S1009 站各项营养盐含量的垂直分布
Fig. 4-e Vertical distribution of nutrition at station S1009

图 4 S0310, S0502, S0702 和 S1009 站的叶绿素 a ($\mu\text{g/L}$)、温度 ($T/^{\circ}\text{C}$)、盐度及 S1009 站的磷酸盐 ($\mu\text{mol/L}$)、硝酸盐 ($\mu\text{mol/L}$) 和硅酸盐 ($\mu\text{mol/L}$) 的垂直分布特征

Fig. 4 Vertical distribution of chlorophyll a, temperature and salinity at stations S0310, S0502, S0702, S1009 and that of different nutrients at station S1009

3 结语

3.1 黄、东海夏季叶绿素 a 的平面分布整体上呈现从近岸海域叶绿素 a 的含量较高, 向外海逐渐降低的趋势, 黑潮区流域的叶绿素 a 的含量最低。受长江冲淡水 and 上升流的影响, 叶绿素 a 的高值区域主要分布在 $28^{\circ}\sim$

32°N, 122.5°~123°E 之间。

3.2 叶绿素 a 的断面特征由于各断面所处的地理位置不同而不同。其中 S04 和 S05 断面因长江冲淡水带来丰富的营养盐、合适的温度等使这两个断面近岸叶绿素 a 含量较高。S07 和 S08 断面由于上升流补充了营养盐,因此叶绿素 a 的含量也比较高。S07 断面盐度锋面的形成限制了沿岸水的垂直混合,叶绿素 a 高值一般出现在 0~10 m 深度。S09 和 S10 两个断面大部分站位位于黑潮区域并且受沿岸流的影响很弱,尤其是 100 m 以上区域呈现高温高盐低营养盐的特征不利于浮游植物的生长,叶绿素 a 的高值基本上出现在 50~100 m 深度。

3.3 从选取的黄、东海海域典型站位中叶绿素 a 含量的垂直分布来看,叶绿素 a 的最大值基本上都出现在表层以下,但由于各站位处的水团、水文性质不同及各站位的浊度不同,高值出现的深度也不同。S0310 处黄海冷水团区域,在约 35 m 时出现温跃层,相应的叶绿素 a 也在此深度出现最高值。S0502 站受长江冲淡水影响在约 10 m 左右出现最大值,S0702 受沿岸流和上升流影响在约 5m 时出现最大值。S1009 站处黑潮区域,表层营养盐含量比较低,表层以下由于浮游生物的分解释放营养盐含量增大,同时此区域浊度比较低,因此叶绿素 a 在约 50 m 左右时出现最高值。

3.4 影响叶绿素 a 分布的主要因素是营养盐、光照和温度等,但各个不同性质的水团相遇时由于温度和盐度的差别形成的温跃层和盐跃层使浮游植物只能浮置于跃层以上,也是影响叶绿素 a 分布的主要因素。

参 考 文 献

- 王保栋. 1998. 长江冲淡水的扩展及其营养盐的输运. 黄渤海海洋, 16(2):41~47
- 王玉衡,董恒霖,任典勇. 1992. 夏、冬季东海营养盐锋区及水系特征的研究. 海洋学报,14(4):51~60
- 毛汉礼. 1964. 用温盐相关性对浅海水团的初步定量分析. 海洋与湖沼,6(1):1~23
- 许建平. 1986. 冬季浙江沿岸上升流水团结构的初步分析. 东海海洋, 4(3):18~24
- 汤毓祥, 邹娥梅, 李兴幸, 李载学. 2000. 南黄海环流的若干特征. 海洋学报,22(1):1~16
- 沈新强,胡方西. 1995. 长江口外海域叶绿素 a 分布的基本特征. 中国水产科学,2(1):71~80
- 苏纪兰,袁业立. 2005. 中国近海水文. 北京:海洋出版社,245~249
- 邹景忠,董丽萍,秦保平. 1983. 富营养化和赤潮问题的初步研究. 海洋环境科学, 2(2):41~54
- 吴荣军,吕瑞华,朱明远,夏 滨,胡正华. 2004. 海水混合和层化对叶绿素 a 垂直分布的影响. 生态环境,13(4):515~519
- 张春雷,石晓勇,韩秀荣,陆 茸,王修林. 2006. 营养盐对东海赤潮优势藻种生长影响的船基围隔实验. 海洋水产研究,27(4):29~35
- 张启龙,翁学传,杨玉玲. 1996. 南黄海春季水团分析. 海洋与湖沼,27(4):421~428
- 周名江,朱明远,张 经. 2001. 中国赤潮的发生趋势和研究进展. 生命科学,13(2):54~60
- 林学举,黄邦钦,洪华生,王大志,肖 天. 2002. 东、黄海典型海域叶绿素 a 含量的垂向变化与周日波动. 海洋科学, 26(11):57~63
- 国家海洋局. 2006. 2005 年中国海洋环境质量公报
- 赵保仁. 1993. 长江口外上升流现象. 海洋学报, 15(2):108~114
- 费尊乐, C. C. Trees, 李宝华. 1997. 利用叶绿素资料计算初级生产力. 黄渤海海洋,15(1):35~47
- 海洋调查和海洋生物学调查规范. 1991. 国家技术监督局 GB212763. 北京:国家标准出版社, 4~10
- 翁学传. 1988. 黄海冷水团的变化特征. 海洋与湖沼,19(4):368~379
- 浦薪明,吴玉霖,张永山. 2001. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究 II. 春季的营养限制情况. 海洋学报,23(3):57~65
- 曹欣中. 1986. 东海浙江沿岸上升流季节变化的初步研究. 水产学报, 10(1):51~69
- 夏 滨,吕瑞华,孙丕喜. 2001. 2000 年秋季黄、东海典型海区叶绿素 a 的时空分布及其粒径组成特征. 黄渤海海洋,19(4):37~42
- 鲁北纬,王 荣,王文琪. 1997. 春季东海不同海域叶绿素 a 的分布特征. 海洋科学,5:53~55
- 潘玉球,王康土善,黄树生. 1997. 长江冲淡水输运和扩散途径的分析. 东海海洋,15(2):25~34
- Jeffrey, S. W., and Humphrey, G. F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physiol. Pflanzen, 167: 191~194
- Kosef, J. R.,Holen, J. K.,Monismith, S. G. et al. 1993. Coupled effects of vertical mixing and benthic grazing on phytoplankton populations in shallow, turbid estuaries. Journal of Marine Systems,51:843~868
- Richard, F. A., and Thompson, T. G. 1952. The estimation and characteration of plankton populations by pigment analysis II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. Journal of Marine Research, 11: 156~172