

长江口上升流海区的生态环境特征*

赵保仁 任广法 曹德明 杨玉玲

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 根据 1985 年 8 月的调查资料,讨论了长江口上升流海区的生态环境特征。研究表明,在长江口外,大约在 $122^{\circ}20' - 123^{\circ}10' E$ 、 $31^{\circ}00' - 32^{\circ}00' N$ 海区存在着明显的下层高盐冷水的抬升现象;伴随这种上升运动,于 5—10m 层,在上述高盐冷水区明显地存在一个低溶解氧、高营养盐区。资料表明,该低氧、高营养盐海水不是直接来自表层的长江冲淡水,而是来自深底层的变性后的台湾暖流水。分析表明,长江口外的浮游植物高值区的分布位置与上升流区基本一致,两者比较浮游植物高值区略向东南方向偏移约 15—20km。作者认为形成这种偏离现象的原因可能与上升流中心区水温偏低有关。

关键词 上升流,生态环境,长江口

中图分类号 P731

根据长江口海区的温、盐分布特征,赵保仁等(1992, 1993)曾指出,长江口海区大约在 $31^{\circ} - 32^{\circ} N$ 、 $122^{\circ}20' - 123^{\circ}10' E$ 一带存在着明显的上升流现象。尽管人们对长江口的生态环境十分重视(乔方利等, 2000; 沈志良, 1991; 茅志昌, 1995),然而,迄今人们还没有对这一上升流现象产生的生态环境问题进行过任何讨论。本文根据 1985 年 8 月的一项综合调查资料,进一步阐明长江口上升流海区的生态环境特征。

1 长江口的上升流现象

将图 1 给出的 $31^{\circ}30' N$ 断面和 $31^{\circ}00' N$ 断面(即 E, G 断面)的温、盐度分布,作为本次调查观测得到的上升流现象代表。从图 1 可知,在 $123^{\circ} E$ 以西,两断面图上都明显存在下层高盐冷水(盐度大于 31, 温度小于 $22^{\circ} C$)的抬升现象,于 $122^{\circ}20' - 122^{\circ}45'$ 附近,下层高盐冷水至少可以抬升到 5m 层附近水域,从温度断面图可以看到抬升后的冷水已明显影响到表层的水温分布,使上升流区的表层水温较周围低 2— $3^{\circ} C$ 左右。

由图 1 还可以看到,可能是由于存在上升流形成的垂向环流的缘故,长江冲淡水(以盐度小于 31 的水域为例)断面分布的显著特征是:靠近河口一侧冲淡水的厚度普遍较薄;在 4 站附近,只有 5—10m 左右;而在其远岸一侧,即在该上升流区的东侧,冲淡水厚度可达 8m 左右。毛汉礼等(1963)早就指出了这一观测事实,但是他们没有从存在上升流这一观点来解释这一现象。

由表层的盐度分布(赵保仁等, 1992, 图 2a)可以看到,该月长江冲淡水在其离开河口

* 国家自然科学基金资助项目, 49676279 号, 国家重点基础研究发展规划项目, G1999043808 号。赵保仁, 男, 出生于 1939 年 10 月, 博士生导师, 研究员, E-mail: brzhao@ms. qdio. ac. cn

收稿日期: 1999-04-02, 收修改稿日期: 2000-06-20

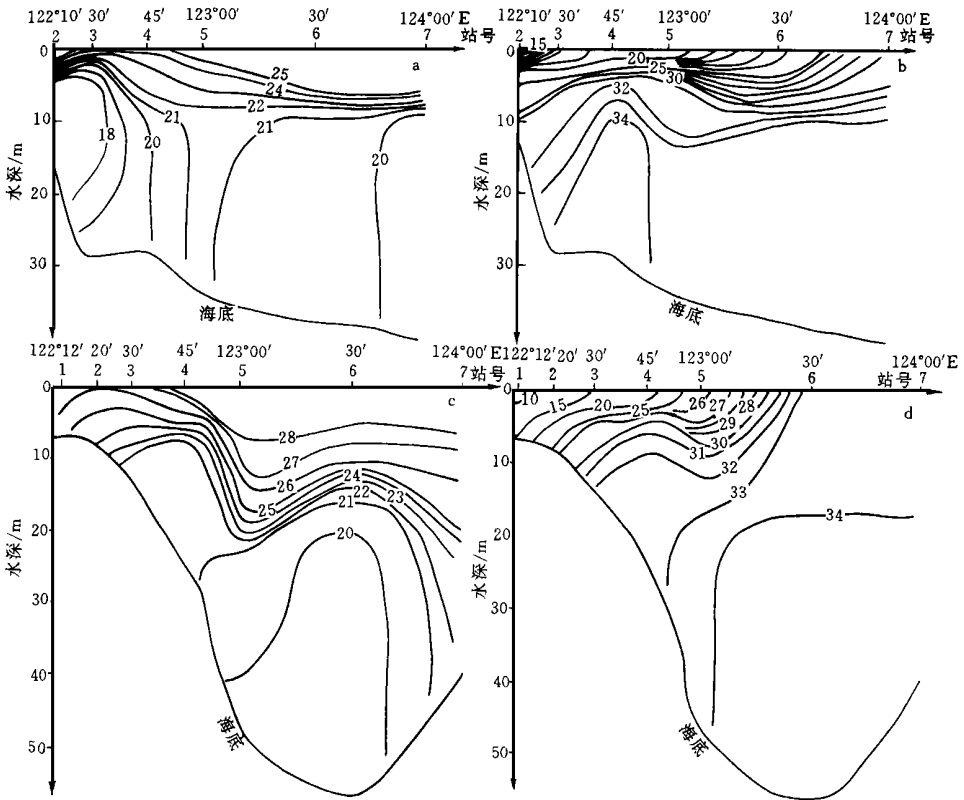


图 1 温、盐度断面分布

a. 31°30'N 温度; b. 31°30'N 盐度; c. 31°N 温度; d. 31°N 盐度

Fig. 1 Sectional distributions of temperature and salinity

不远处就转成东北方向, 冲淡水势力较强, 在东北部已溢出调查海区。但在 5m 层(图 2) 一个非常突出的事实是: 在调查海区的中部(122°20'—123°10' E 之间) 出现一温、盐度等值线成闭合状态的高盐冷水中心, 其最高盐度达 33.51。显然在长江口海区, 只有深底层的台湾暖流水才能达到这样高的盐度值, 从而表明在这一区域存在深底层高盐冷水的明显抬升现象。而在该高盐中心的东侧, 5m 层则存在属长江冲淡水的大片低盐(盐度小于 30) 水区。

以上观测事实表明, 夏季长江口海区确实存在着上升流现象。应当指出上述高盐冷水的抬升现象的所在位置同历史上其它几次调查结果(赵保仁, 1993; 邹娥梅等, 2001) 是一致的。

2 溶解氧分布特征与上升流

与温盐度同步的溶解氧观测主要集中在 123°E 以西海区, 作为代表, 图 3 给出了二条断面的溶解氧分布。

将图 3 与图 1 对比可看出, 在温、盐跃层的下面为低溶解氧区, 而从表层到跃层底部附近为高溶解氧区, 并且在各断面的左部, 大约在 E3、G2 站附近, 随着高盐冷水的抬升, 下层的低溶解氧水可抬升到 5m 层以上水域; 而在断面中部, 于 E5 和 G4 站附近表层出现

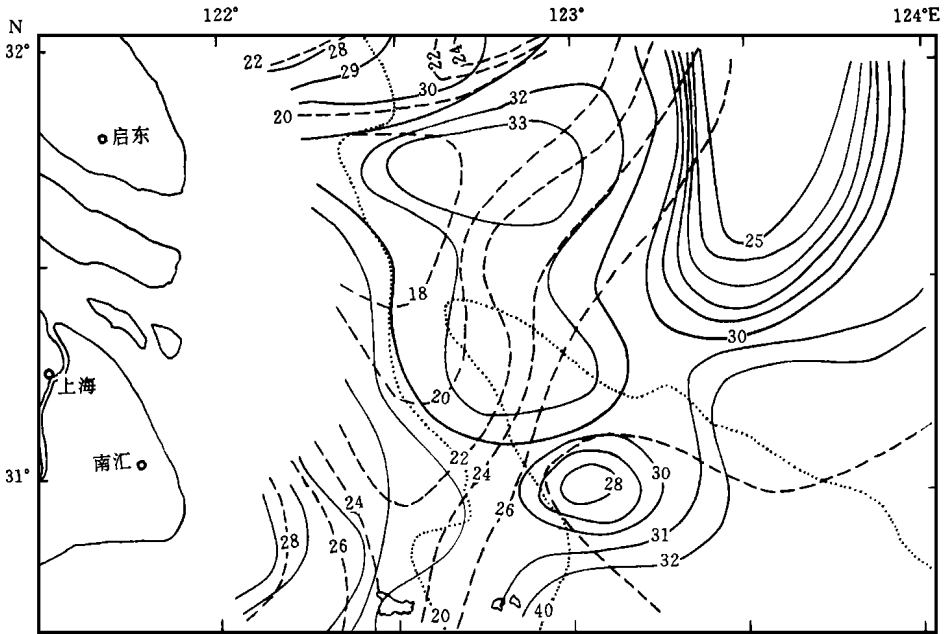


图 2 5m 层长江口海区温度、盐度的平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of temperature and salinity in the 5m layer

—— 温度; - - - 盐度; ——— 等深线(m) (图 4, 6, 7 相同)

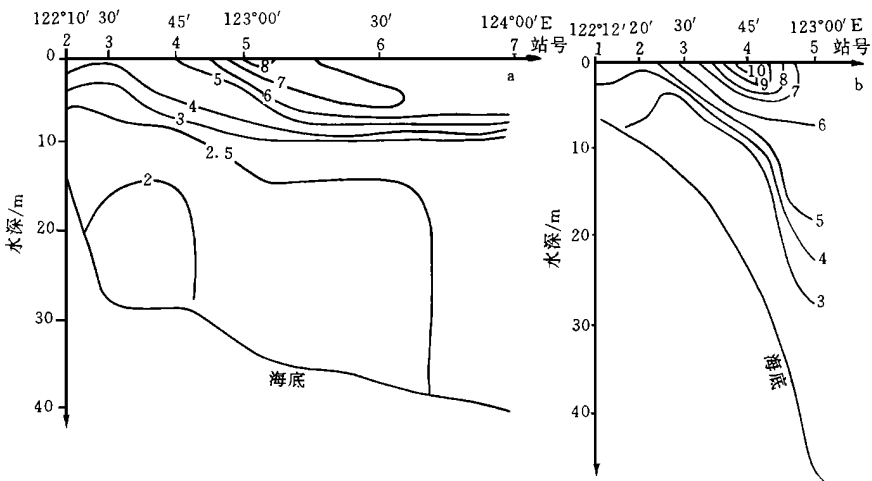


图 3 溶解氧断面分布(mL/L)

Fig. 3 Sectional distributions of dissolved oxygen

a. 31°30'N 断面(E 断面); b. 31°N 断面(G 断面)

异常高溶解氧区, 31°N 断面(G 断面) 溶解氧含量最高达 10.7mL/L, 饱和度高达 220.6%, 早已达到过饱和状态。可以看到, 从左向右该高溶解氧区有逐渐下沉之势。根据叶绿素和浮游植物分布, 任广法(1992)认为该高氧区是因浮游植物大量繁殖而形成的。作者认

为图 3 所示的溶解氧断面分布特征, 除与浮游植物的光合作用有关外, 还与调查海区特有的垂向环流特征有关, 即断面左部由于存在着上升流, 使下层的低氧水抬升至 5m 层以上水域, 而断面右部则由于上升后海水的下沉作用, 使表层的低盐高溶解氧海水可下沉到 10—25m 层附近, 溶解氧的这一分布特征同图 1 的温、盐分布是一致的。

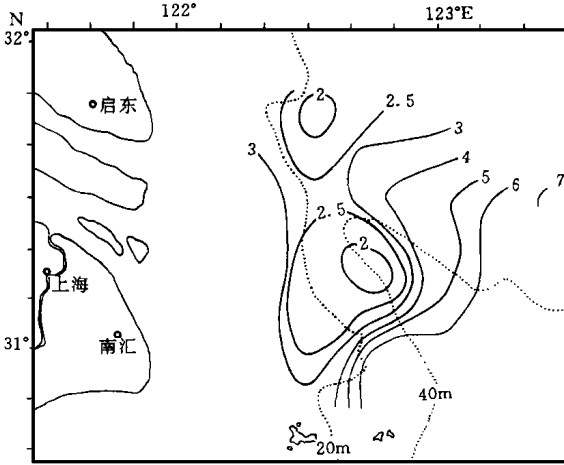


图 4 5m 层溶解氧平面分布(mL/L)

Fig. 4 Horizontal distribution of dissolved oxygen in the 5m layer (mL/L)

为了揭示低溶解氧海水上升的水平范围, 图 4 给出 5m 层溶解氧平面分布, 可看出在调查海区的中部, 大约在 122°20′—122°55′ E 之间存在着一低溶解氧区, 该低氧区的位置同图 2 所示的高盐水区是比较一致的, 从而溶解氧的上述分布特征也较好地佐证了长江口海区存在的上升流现象。

3 营养盐的分布特征与上升流

关于长江口调查时所用的营养盐分析方法和河口径流输入对营养分布特征的影响, 沈志良等(1992)已作了较多的论述, 这里只论述与上升流现象有关的营养盐分布特征, 并且只涉及 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 三种无机盐。

图 5 给出了上述三种营养盐在 31°30′ 断面(E 断面)上的分布, 作为典型代表。

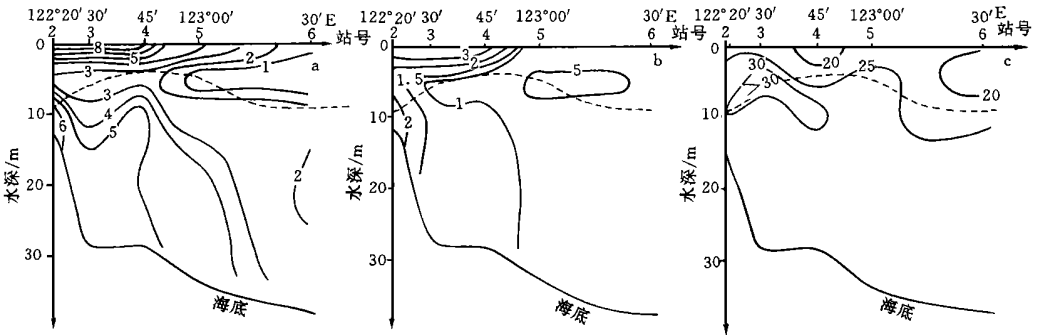


图 5 31°30′ N 断面(E 断面)营养分布(mg/m^3) (虚线为 31 等盐线)

Fig. 5 Sectional distributions of nutrients along 31°30′ N

a. $\text{SiO}_3\text{-Si} \times 10^2$; b. $\text{NO}_3\text{-N} \times 10^2$; c. $\text{PO}_4\text{-P}$

从图 5a 可以看到 31°30′ 断面(E 断面)的硅酸盐-硅的垂直分布有如下特征: (1) 上层的高硅酸盐水只占据 5m 层以浅水域, 对照图 1 可知该高硅酸盐水是直接由长江冲淡水带来的; (2) 深底层的高硅酸盐水属高盐水范畴, 在 E4 站及其以西水域, 它可抬升到 10m 层以上水域; (3) 5m 层为一低硅酸盐区, 自东向西楔入, 将上下两层不同来源的高硅

酸盐水明显地区分开来; (4) 在 E5 站及其以东水域, 尽管冲淡水在那里有明显的增厚加深现象, 但相应的硅酸盐分布并未显示出这一增厚特征, 而且这里的硅酸盐含量已明显减少, 这可能与下面将要谈到的浮游植物大量繁殖、光合作用时被吸收有关。

E 断面的 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 分布特征与硅酸盐- 硅极为相似。即 5m 层以浅断面左侧为高 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 区, 显然这是冲淡水带来的; 5m 层附近有低硝酸盐水, 自东向西楔入; 深底层的高硝酸盐水在 E4 站及其以西水域, 可抬升到 10m 层以上水域; 断面东部的整个水体(包括上层的冲淡水区), $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量均较低。

由于冲淡水中的磷酸盐含量不高, 从图 5c 可以看到在上层的冲淡水范围内, 磷酸盐含量较低。来自深底层的高磷酸盐水可抬升到 5m 层附近水域。难以使人理解的是, 在断面左部 5—10m 层附近出现一等值线闭合的高值区, 其值略高于底层。

由于多数断面没有在 5m 层采样分析营养盐, 只得利用图 6 所示 10m 层资料来分析长江口海区的上升流现象对营养盐平面分布的影响。

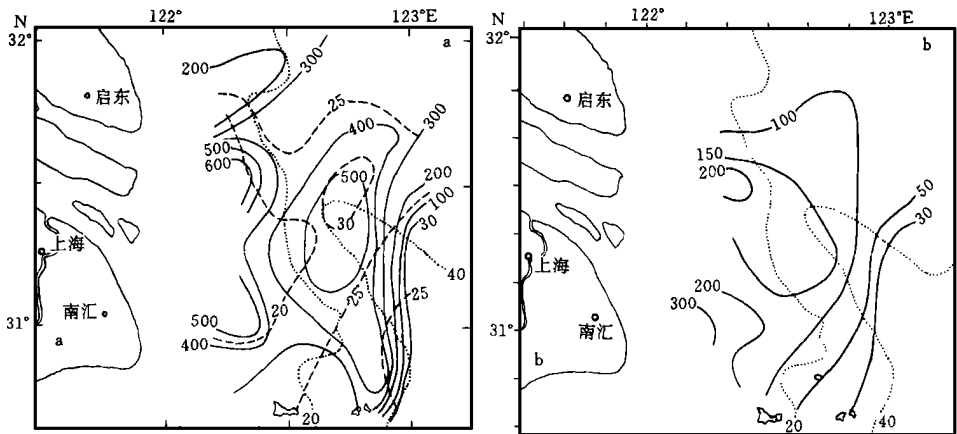


图 6 10m 层营养盐水平分布(mg/m^3)

Fig. 6 Horizontal distributions of nutrients in the 10m layer

a. $\text{SiO}_3-\text{Si} \times 10^2$ (实线), PO_4-P (虚线); b. $\text{NO}_3-\text{N} \times 10^2$

由图 6 可知, 在 10m 层, 于 $122^\circ 25' - 123^\circ \text{E}$ 之间, 明显地存在着—高营养盐区。其中高 SiO_3-Si 和高 PO_4-P 的分布中心位置几乎同图 2 中的高盐水区及图 4 的低溶解氧区完全一致, 而高 NO_3-N 的核心区在 E2 站, 略偏向河口一侧。但 E2 站 10m 层的盐度为 31.40, 已属高盐水影响范围。对比上述营养盐与温盐断面分布图可知, 上述等值线封闭的高营养盐不是直接来自上层的长江冲淡水, 而是来自下层的高盐冷水。综上所述, 长江口外的上升流现象对营养盐的水平和断面分布确有明显影响。

4 浮游植物的水平分布与上升流

郭玉洁等(1992a)曾详细报道过三峡工程对河口生态环境影响的调查结果, 认为在长江口海区, 浮游植物的生长主要受光照控制, 即受海水透明度的控制。他们还指出: 在“长江丰水期(6—9月), 海中叶绿素 a 含量与浮游植物个体数量的高值区都出现于调查海区

的中部长江冲淡水区(即 $122^{\circ}20' - 123^{\circ}00' E, 31^{\circ} - 31^{\circ}30' N$ 一带,海水盐度为 $15 - 23$)”;“此水域以西的长江口门区,因海水透明度太低(不足 $1m$),而盐度大于 30 的东部和北部海域,因受低营养盐的外海水影响,叶绿素 a 和浮游植物个体数量都明显减少”。很显然,上述高叶绿素 a 含量区和高浮游植物个体数量分布区同我们前面提到的上升流区是一致的,但郭玉洁等没有从长江口外存在着上升流现象来解释浮游植物的这一分布特征。

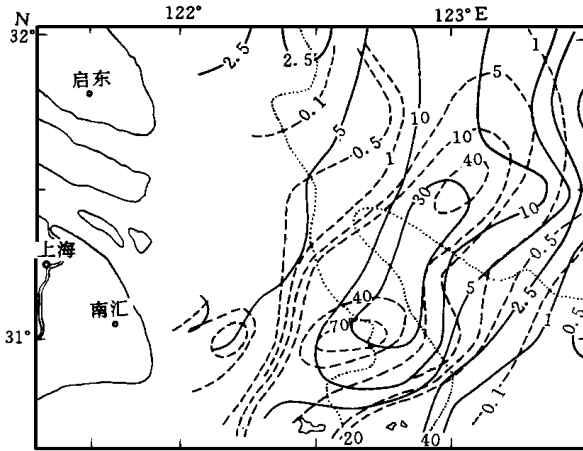


图 7 调查水域叶绿素含量(mg/m^3 , 采样深度 $0.5m$)及网采浮游植物个体数($\times 10^7$ 个/ m^3)的平面分布 (引自郭玉洁等, 1992a)

Fig. 7 Horizontal distributions of chlorophyll- a contents (mg/m^3) in the $0.5m$ layer and phytoplankton cells ($\times 10^7/m^3$) collected by net
——叶绿素; ——网采浮游植物个体数

为了说明上升流现象同浮游植物分布特征之间的关系,图 7 给出这次调查取得的叶绿素 a (取样深度为 $0.5m$)及在整个深度上网采浮游植物个体数的平面分布图。可以看到尽管两者的取样深度不尽相同,但两者高值区的分布区是十分一致的。与 $5m$ 层高盐区相比,浮游植物高密度分布区大约向东南方偏离 $15 - 20km$ 。造成这种偏离的原因可能与上升流中心区温度较低有关。就本次调查而言,比较图 2 和图 7 可知,在 $5m$ 层高盐中心处的温度较高浮游植物中心区约低 $6^{\circ}C$ 左右。而在表层两中心处的温度差约为 $2^{\circ}C$ 。按郭玉洁等(1992b)得到的长江口海区水温季节变化与浮游生物生产率季节变化之间的经验关系式: $P = 122.5t - 1209.55$,则在上述上

升流中心区域的生产率应较浮游植物高值分布区低 $12\% - 35\%$,由此,浮游植物高中心区偏离上升流中心区是在情理之中的。应当指出,为深入了解长江口上升流区域的生态特征,仅利用表层的叶绿素资料和整个深度上的网采生物资料是很不够的,今后的调查工作生物采样也应分层进行。

还应当指出,根据赵保仁等(1986)和朱兰部等(1991)的研究结果可以得知,台湾暖流的透光性能较长江冲淡水好得多;由此可知,当台湾暖流水涌升到 $5m$ 层以上水域,并进一步稀释上层的冲淡水时,对改善上层冲淡水影响区的光照条件也是非常有利的。因此,上述上升流现象还能在长江口为浮游植物的光合作用提供较好的光照条件。

5 结论

5.1 1985 年 8 月的调查资料表明,在长江口海区大约在 $122^{\circ}20' - 123^{\circ}10' E, 31^{\circ} - 32^{\circ} N$ 之间存在着明显的上升流现象,而在其东侧为下降流区。

5.2 该上升流的存在使深底层的低溶解氧水抬升到 $5m$ 层以上水域,而在其东侧由于下降流影响,表层的高氧水可下沉到 $10 - 25$ 层水域。

5.3 上升流现象使深底层的高营养盐水抬升到 $10m$ 层以上水域,并在 $10m$ 层可形成等值线封闭的高营养盐中心。

5.4 在长江口海区观测到的高叶绿素区和高浮游植物个体数分布区同上升流分布区的位置基本一致, 两者大约只差 15—20km 左右, 造成这种偏离的原因可能与上升流中心区温度较低有关, 影响了浮游植物的生长。

5.5 长江口上升流现象还将改善上层冲淡水区的光照条件, 这对初级生产力的发展也是十分关键的。

参 考 文 献

- 毛汉礼, 甘子钧, 兰淑芳, 1963. 长江冲淡水及混合问题的初步探讨. 海洋与湖沼, 5(3): 183—206
- 任广法, 1992. 长江口及邻近海域溶解氧的分布变化. 海洋科学集刊, 33: 139—152
- 朱兰部, 赵保仁, 1991. 黄、东海透明度的分布与变化. 海洋湖沼通报, 3: 1—10
- 乔方利, 袁业立, 朱明远等, 2000. 长江口海域赤潮生态动力学模型及赤潮控制因子研究. 海洋与湖沼, 31(1): 93—100
- 沈志良, 1991. 三峡工程对长江口及附近海域营养盐分布变化影响的研究. 海洋与湖沼, 22(6): 540—546
- 沈志良, 陆家平, 刘兴俊等, 1992. 长江口区营养盐的分布特征及三峡工程对其影响. 海洋科学集刊, 33: 109—130
- 邹娥梅, 郭炳火, 汤毓祥, 2001. 南黄海及东海北部夏季若干水文特征和环流的分析. 海洋与湖沼, 32(3): 340—348
- 茅志昌, 1995. 长江河口盐水入侵锋研究. 海洋与湖沼, 26(6): 643—649
- 赵保仁, 1993. 长江口外的上升流现象. 海洋学报, 15(2): 106—114
- 赵保仁, 胡敦欣, 熊庆成, 1986. 秋末南黄海的透光度及其与环流的关系. 海洋科学集刊, 27: 97—105
- 赵保仁, 乐肯堂, 朱兰部, 1992. 长江口海域温、盐度分布的基本特征和上升流现象. 海洋科学集刊, 33: 15—26
- 郭玉洁, 杨则禹, 1992a. 长江口浮游植物的数量变动及生态分析. 海洋科学集刊, 33: 167—190
- 郭玉洁, 潘友联, 1992b. 长江口初级生产力的研究. 海洋科学集刊, 33: 191—200

CHARACTERISTICS OF THE ECOLOGICAL ENVIRONMENT IN UPWELLING AREA ADJACENT TO THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY

ZHAO Bao-Ren, REN Guang-Fa, CAO De-Ming, YANG Yi-Ling
(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract According to the comprehensive investigation data for the Changjiang River Estuary area of August, 1985, the upwelling and its impacts on the ecological environment were analyzed. Outside the Changjiang River Estuary, in the area of $122^{\circ}20' - 123^{\circ}10' E$, $31^{\circ}00' - 32^{\circ}00' N$, an upwelling of cold and saline water was present. With this upwelling a low dissolved oxygen and high nutrient water appeared in the same area in the 5—10m layers. The low dissolved oxygen and high nutrient water did not come directly from the Changjiang River diluted water in the upper layer, rather it comes from the modified high saline Taiwan Warm Current Water in the deep and bottom layers. Further, the area with high chlorophyll *a* contents and high phytoplankton cells was deviated to the southeast about 15—20km from the upwelling centre part. A possible reason for this location deviation may be the upwelling which results in a decrease the water temperature in the upper layer, thus slowing down the phytoplankton growth.

Key words Upwelling, Ecological environment, Changjiang River Estuary