

东海赤潮高发区春季溶解氧 和 pH 分布特征及影响因素探讨*

石晓勇 王修林 陆 茸 孙 霞

(中国海洋大学化学化工学院 青岛 266003)

提要 根据2002年4月27日—5月2日长江口邻近海域的大面调查,分析了东海溶解氧及pH值的分布特征,并对长江口外溶解氧低值区的成因及其与赤潮发生的关系进行了初步探讨。结果表明,调查海域pH值呈近岸低、外海高的分布趋势,溶解氧整体处于过饱和状态,呈近岸高、外海低的分布趋势。4月下旬在调查海区东南部底层已开始出现溶解氧低值区,面积约为15400km²,该水域表观耗氧量AOU一般在1.50mg/L以上,并伴随有氧的亏损发生,形成原因主要是水交换较弱和有机物分解耗氧。溶解氧低值区可能是有机碎屑的沉降汇集区,随着夏季温度的升高及长江丰水期的到来,有机碎屑有可能在台湾暖流的影响下产生西、北向的爬升而造成溶解氧低值区扩大和溶解氧含量的进一步降低。

关键词 溶解氧,溶解氧低值区,东海,长江口

中图分类号 P734.2

东海有着广阔的大陆架及丰富的海洋资源,在我国国民经济发展中起着重要作用。东海海域是许多经济发达城市生活污水及工业废水的排放地。这些都会给赤潮生物提供大量的营养物质,引起赤潮的发生。随着经济的发展,我国沿海海况日下,赤潮频发,尤其是东海在中国四大海区中赤潮发生情况最严重,东海赤潮发生数占全国总赤潮数的45%,而且赤潮爆发的时间和面积也在不断变长变大,危害加大(王修林等,2004)。赤潮的产生会对于海洋生物、水产养殖业、海洋环境造成不同程度的危害,甚至危及人类健康(张朝贤,2000;苏建强等,2003;颜天等,2003;陈善文,2004;白希尧等,2004)。

海水中的溶解氧与海洋生物的生长繁殖有着密切的关系,对于近岸海域而言,海水中溶解氧的分布变化除受生物活动、海水运动和温度影响外,径流和降雨等也会带入含有丰富氧气的水(吴玉霖等,2004),对沿岸海域海水中溶解氧的分布变

化也有较大影响。我国对东海溶解氧进行过多次调查,自1980年顾宏堪报道长江口外存在低溶解氧区以来(顾宏堪,1980),陆续有多人在调查中发现了长江口外的低溶解氧区(Limebumer *et al.*, 1983; 陈吉余等,1988;张竹琦,1990;Beardsley *et al.*, 1985;Tian *et al.*, 1993;蒲新明等,2001;杨庆霄等,2001;李道季等,2002)。但目前对长江口外海区春季溶解氧的分布规律报道较少,对溶解氧低值区开始形成的时间及机制等尚不清楚,作者在现场调查的基础上对此进行了探讨。

1 材料与方法

于2002年4月27日—5月2日在东海长江口外海域(29.0°—32.0°N, 122.0°—123.5°E)进行了现场调查,共设置7个断面28个测站(图1)。调查中使用20L Niskin采水器采集表、中、底三层水样(中层采样深度为水深的1/2),用于测定溶解氧(DO)、pH、营养盐(PO₄-P、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N和SiO₃-Si)、叶绿素 a (Chl. a)、初级生产力和总

* 国家973资助项目,2001CB409703号;国家自然科学基金资助项目,40136020号、49976027号;教育部重基金资助项目,01110号;山东省基金资助项目,L2000E01号。石晓勇,博士,副教授,E-mail: shixy@ouc.edu.cn

收稿日期:2004-06-12,收修改稿日期:2005-04-16

悬浮颗粒物(TSP), 其中 DO 和 pH 分别采用 Winkler 法和 pH 计法(Fisher Accument 925) 测定。现场水样经 GF/F 滤膜(450 °C 灼烧 4h) 过滤, 水样及膜样品均于- 20 °C 下保存至分析。在陆地实验室采用 Technicon AAII 营养盐自动分析仪测定营养盐, 采用荧光法和¹⁴C法测定 Chl. *a* 及初级生产力, 重量法测定 TSP。现场使用 YSI6600 多参数水质仪测定剖面 *T*、*S*、pH 和 DO 数据, 精度分别为 ±0.1 °C、±0.1、±0.02 和 ±0.2mg/L, 并使用 Winkler 法和 pH 计对剖面 DO 和 pH 数据进行校正。

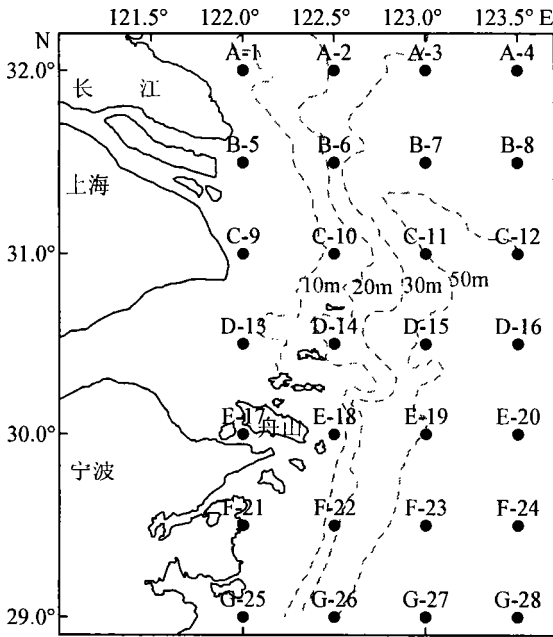


图 1 调查站位及水深
Fig. 1 Sampling stations and depth

2 结果与讨论

2.1 温、盐特征

调查海区温度和盐度分布见图 2 和图 3。温度和盐度范围分别介于 16.23—20.44 °C 和 5.03—34.64 之间, 二者均呈近岸低、外海高的趋势。由图 2 和图 3 可知, 调查海区温、盐参数主要受长江冲淡水等和台湾暖流等外海水共同影响。其中, 近岸区域受长江冲淡水影响显著, 且由表至底逐渐减弱; 外海区特别是调查海区东南部明显存在温、盐均较高的区域, 与近岸水和上层水体间存在温、盐梯度, 表明该水域受长江冲淡水的影响较小, 受台湾暖流影响相对较大, 该水域是台湾暖流与径流交汇的前沿区, 底层水体应相对平稳, 没有强烈的水交换发生, 而且该区域处于大陆架迅速

下降并开始趋于平缓的坡底处, 即长江三角洲前沿的低凹处, 高盐度的台湾暖流在这里与径流混合后形成小范围的上升, 但未达到表层, 表层水仍主要被长江冲淡水所控制, 强烈的层化限制了表层水与底层水的氧交换 (Beardsley *et al.*, 1985)。

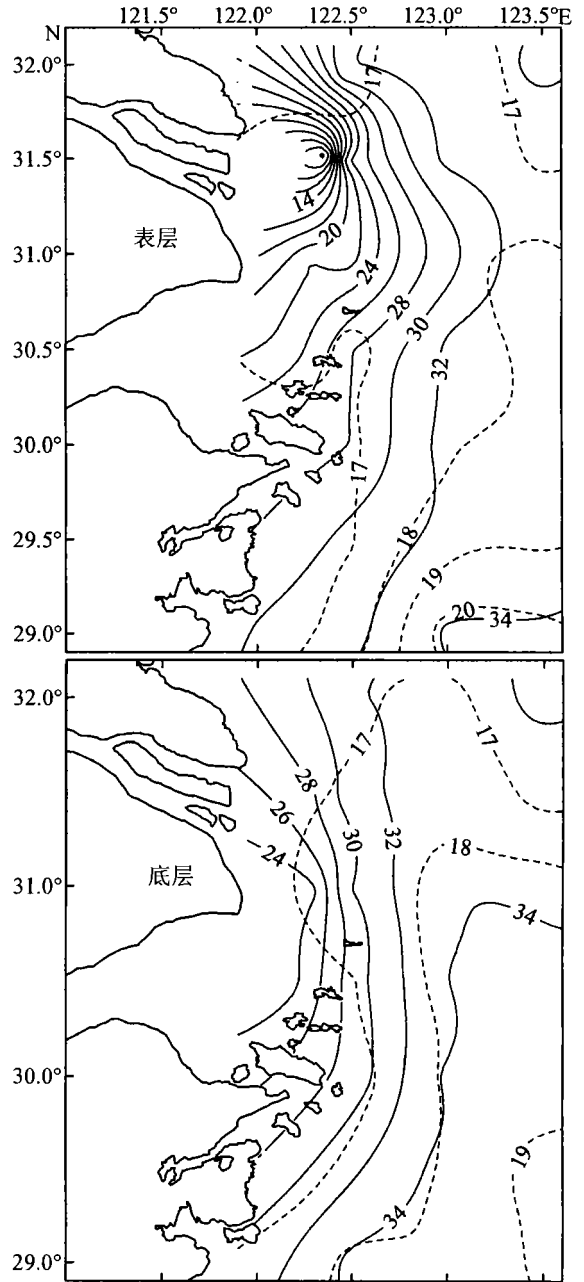


图 2 2002 年春季东海盐度(---)和温度(—)平面分布
Fig. 2 Horizontal distributions of Salinity(---) and temperature(—) in spring, 2002

2.2 溶解氧

由调查海区溶解氧平面分布(图 4)可知, 调

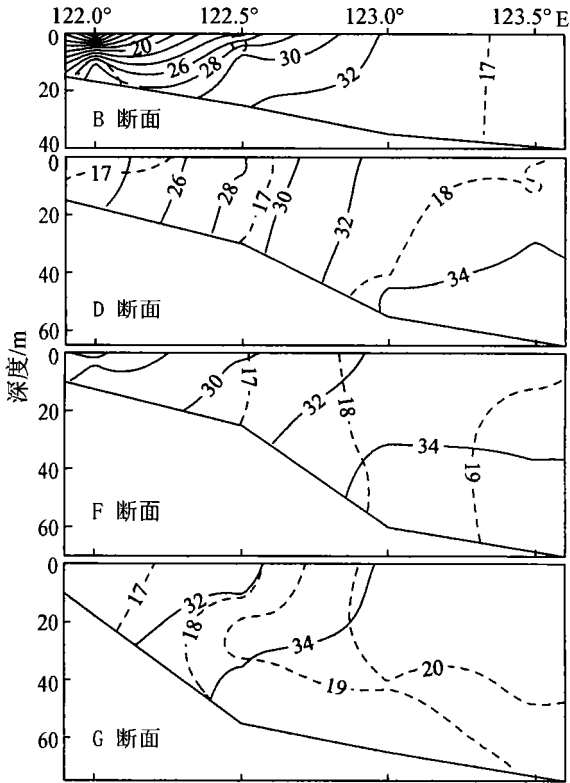


图3 2002年春季东海盐度(—)和温度(---)断面分布
 Fig. 3 Vertical distributions of Salinity (—) and temperature(---) in spring, 2002

查海区溶解氧基本上呈近岸高、外海低的分布趋势,其含量范围在 5.14—11.7mg/L 之间,平均为 (8.14 ± 0.06) mg/L,与文献报道基本一致(蒋国昌等,1991)。表层溶解氧平均为 (8.62 ± 0.70) mg/L,近岸区含量高,杭州湾附近出现 11.17mg/L 的最高值,表明径流对该海区溶解氧含量有较大的影响。中层溶解氧较表层略低[平均为 (8.22 ± 0.57) mg/L],亦呈西高东低的趋势,调查海域东南部含量较低。底层溶解氧含量最低[平均(7.53 ± 1.43) mg/L],分布趋势同表层和中层,但在调查海区东南部出现面积较大的溶解氧低值区。由溶解氧断面分布(图5)可知,调查海区溶解氧基本呈由表层到底层逐渐降低的趋势,从C断面(31°N断面,图略)向南至G断面(29°N断面),均在122.5°E以东水域,深度约40m附近出现溶解氧跃层,其中D断面(30.5°N断面)及南部断面跃层明显,跃层以下溶解氧含量一般在6.00mg/L以下,最低值为5.14mg/L。该海区水深为50—60m左右,春季调查海域东南部底层溶解氧低值区主要出现在50m

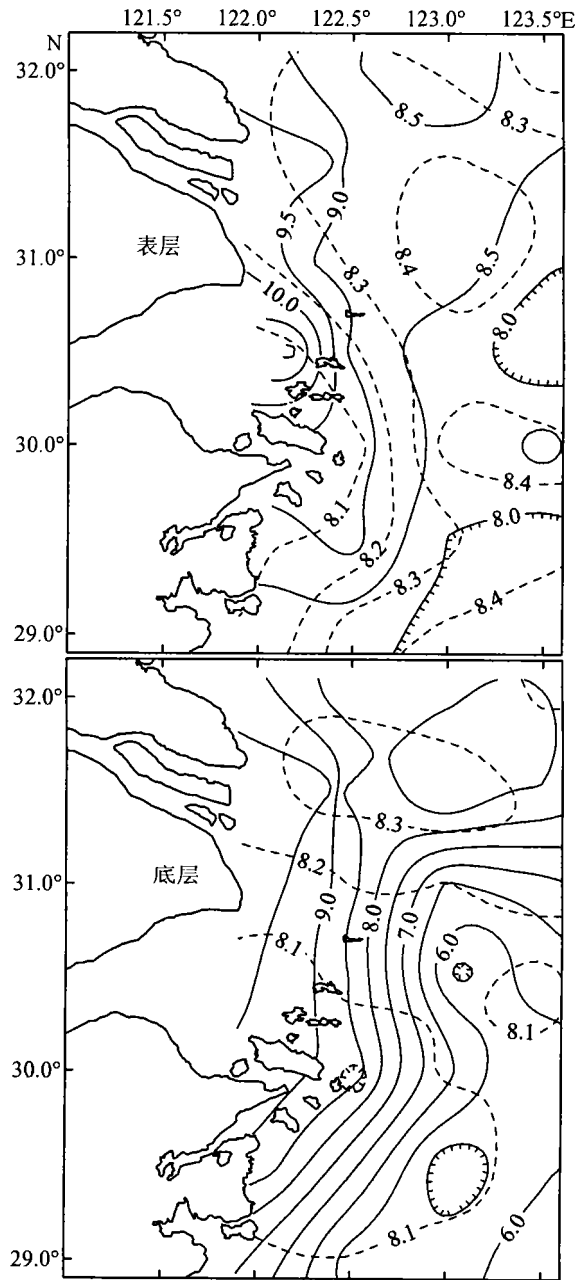


图4 2002年春季东海溶解氧(—)和pH(---)平面分布
 Fig. 4 Horizontal distributions of DO (—) and pH (---) in spring, 2002

等深线附近, 123.0°E以东、30.5°N以南范围内,面积约为15400km²,最低区在123.0°E、29.5°N附近,南部区域向西扩展达122.5°E,北部可达31.0°N,水层厚度一般在10—20m之间。

此水域正处于东海赤潮高发区(洪君超等,1989;徐韧等,1994)的东南方,在本次调查结束后,在此水域的西北方发生了多起赤潮,其中比

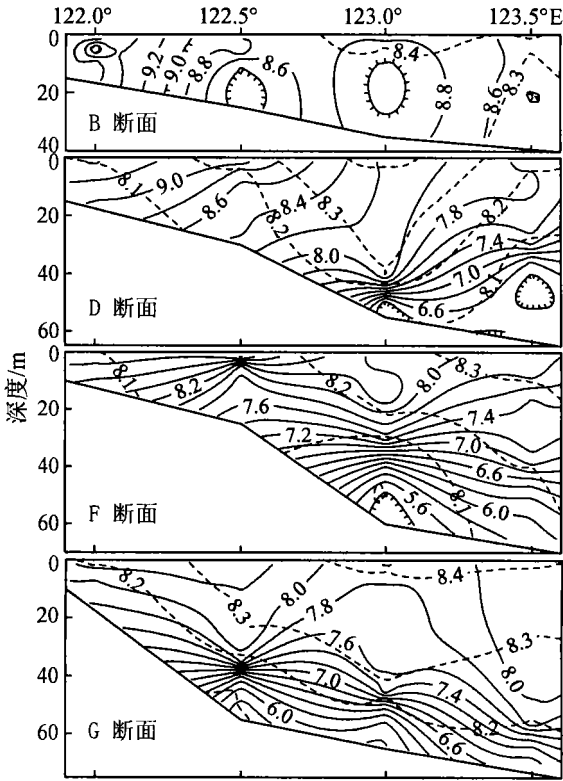


图5 2002年春季东海溶解氧(—)和pH(---)断面分布
Fig. 5 Vertical distributions of DO(—) and pH in spring, 2002

面积约为 900 多平方公里。

此外,由平面及断面分布可知,在调查海域东北部出现溶解氧高值区,表层溶解氧含量接近 9.00mg/L,中层和底层也在 8.50mg/L 以上,而该水域表层叶绿素 *a* 高达 9.0 μ g/L 以上,中层及底层也达 1.2 μ g/L, pH 值也相当高,说明调查海区北部水域生物活动较为旺盛。结合温度(约 17—18 $^{\circ}$ C)和盐度(约 30—33)数据可初步判断,该水域可能为温度较低、溶解氧含量较高的黄海沿岸流扩展至此,受长江冲淡水阻挡及台湾暖流的影响而未能进一步南侵。虽然此水域生物活动较旺盛,也具有适宜的营养盐条件,但却不是赤潮发生区,这可能与该水域盐度处于生物最适宜生长盐度的上限(蒋国昌, 1993),以及调查期间部分阴雨天气等因素有关(周名江等, 2001; 曾江宁等, 2004)。

结合温、盐数据,应用 Weiss 方程计算了溶解氧饱和度 (C'_{O_2})和表观耗氧量(AOU)(表 1)(Riley *et al.*, 1975),结果表明,调查海区 C'_{O_2} 分布与溶解氧分布有相似的规律,大部分区域 C'_{O_2} 大于 100%,杭州湾外海域最高可达 134%,但溶解氧低值区 C'_{O_2} 多小于 80%,最低为 66.8%。调查海区整体上处于富氧状态且变化幅度较大,AOU 一般均为负值,杭州湾外海域达最低值(-2.83mg/L),而溶解氧低值区的 AOU 一般均在 1.50mg/L 以上,最高达 2.55mg/L,说明春季该水域已出现较为强烈的有机物氧化分解的耗氧过程,从而导致较大规模的溶解氧亏损。

较典型的赤潮有两次¹⁾:第一次赤潮发生时间为 5 月 3—29 日,在舟山虾峙门附近海域(29.7 $^{\circ}$ N, 122.5 $^{\circ}$ E),发生面积由开始的 300 多平方公里发展为 1500 多平方公里;第二次时间为 5 月 17—19 日,嵎泗附近海域(30.6 $^{\circ}$ —30.8 $^{\circ}$ N, 122.6 $^{\circ}$ —122.7 $^{\circ}$ N),

表 1 东海调查海域 C'_{O_2} 及 AOU
Tab. 1 C'_{O_2} and AOU in East China Sea

项目	C'_{O_2} (%)			AOU(mg/L)		
	最大值	最小值	平均值 \pm SD	最大值	最小值	平均值 \pm SD
表层	134.0	98.4	107.4 \pm 6.4	0.12	-2.83	-0.60 \pm 0.53
中层	117.6	94.1	103.9 \pm 5.5	0.45	-1.38	-0.31 \pm 0.43
底层	120.4	66.8	95.0 \pm 15.6	2.55	-1.66	0.37 \pm 1.21
调查海域	134.0	66.8	102.2 \pm 11.3	2.55	-2.83	-0.19 \pm 0.88

由于近海海域海水中溶解氧含量除受河流径流、降雨、水动力交换和水温影响外,还取决于海

洋生物活动,如浮游植物光合/呼吸作用等,故透光层中溶解氧的含量高低在一定程度上反映了海

1) 赤潮信息分别来源于国家海洋局东海分局海监飞机及中国海监 47 船
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区初级生产力的大小,而透光层以深水域溶解氧含量的降低则反映出有机物分解耗氧。从温度和盐度分布图可知(图 2,图 3),底层溶解氧低值区水体受台湾暖流影响相对较大,且该区域位于长江三角洲前沿的低凹处,强烈的层化限制了表层水与底层水的氧交换(Beardsley *et al.*, 1985)。在本次调查所观测到的溶解氧低值区中,表观耗氧量 AOU 与盐度呈显著正相关($R = 0.71, P < 0.01$),与温度呈一定的负相关($R = -0.46, P < 0.1$),亦说明台湾暖流对该水域有较大的影响。此外,叶绿素 a 和营养盐均是反映海洋生物和化学过程的重要指标,溶解氧低值区各站位底层水的叶绿素 a 值均小于 $0.3 \mu\text{g/L}$ (多数在 $0.1 \mu\text{g/L}$ 左右),初级生产力在 $0.3 - 0.5 \text{ mg C}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$ 之间,表明浮游植物光合作用较弱;该水域底层的较高营养盐浓度表明,底层已产生有机物质分解过程。溶解氧低值区 AOU 与叶绿素 a 间呈显著负相关($R = -0.65, P < 0.01$),与溶解无机氮($R = 0.33, P < 0.2$)、磷酸盐($R = 0.32, P < 0.2$)和硅酸盐($R = 0.38, P < 0.2$)也略有相关,表明水体溶解氧消耗量大于补充量,影响溶解氧的主要生物化学过程是沉降在海底的有机物质的腐化分解耗氧过程。

2.3 pH 值

影响近岸海域海水 pH 值的因素除径流、大气交换、降雨、氧化还原环境等物理和化学作用影响外,与海洋生物的生长繁殖也有着密切的关系,海洋生物(特别是浮游植物)的光合作用、呼吸作用以及海洋有机物的分解对沿岸海域海水 pH 值的分布变化也有较大影响。

2002 年春季调查海区 pH 值在 $7.99 - 8.48$ 之间,平均为 8.23 ± 0.12 ,其中表层变化较大,中层和底层变化范围略小。调查海区 pH 值平面分布及断面分布见图 4 和图 5,结果显示:调查海域 pH 值平面分布总体呈现近岸低、外海高的趋势,中层和底层还呈现南部低、北部高的趋势,表、中、底三层的低 pH 区均出现在杭州湾附近海域。在调查海区北部由于受径流影响较小,近岸至外海区 pH 值变化较小。在垂直方向上除 A 断面(32°N 断面,图略)外均呈由表至底逐渐降低的规律,C 断面(图略)至 G 断面均在 50m 等深线附近水域底层出现 pH 低值区,与溶解氧分布有相似之处。调查海域 pH 值与叶绿素 a 间呈显著正相关($R = 0.44, P < 0.01$),表明整个调查海域生物活动的影响已

不可忽略。在受径流影响较小的外海区(122.5°E 以东水域),海水 pH 值与溶解氧间呈显著正相关($R = 0.69, P < 0.01$),而近岸区 pH 值与溶解氧之间基本无相关性,说明外海区的溶解氧受生物和化学作用影响较近岸区大。

在调查海区东北部($122.5^\circ - 123.5^\circ\text{E}, 31.0^\circ - 32.0^\circ\text{N}$)高溶解氧区附近也存在一高 pH 值区,表层 pH 值最高达 8.45 以上,中层和底层也在 8.3 以上,叶绿素 a 由表层至底层亦相当高,表明生物活动较为旺盛,上述已对此水域进行了讨论,不再赘述。此外,在调查海域南部舟山虾峙门附近海域($122.3^\circ - 123.2^\circ\text{E}, 29.3^\circ - 30.2^\circ\text{N}$)底层存在 pH 值较低区域(图 4,图 5),厚度约为 20m 左右, pH 值小于 8.05 ,为整个调查海区的最低值,且与溶解氧低值区有部分重合,最低区位置恰与溶解氧最低区一致。该水域西南($122.5^\circ\text{E}, 29.5^\circ\text{N}$ 附近)底层水体中出现叶绿素 a 异常高值区,最高值达 $1.6 \mu\text{g/L}$,初级生产力超过 $1.7 \text{ mg C}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$,且由底层至表层迅速递减,而该水域温、盐参数均表现出东北—西南向的梯度变化且基本无异常(图 2,图 3)。综合分析以上相邻异常水域,发现该水域 pH 值与叶绿素 a 呈良好的正相关($R = 0.73, P < 0.05$),与溶解氧亦呈显著的正相关($R = 0.85, P < 0.01$),与温度和盐度均无明显相关, AOU 与磷酸盐($R = 0.75, P < 0.05$)、硅酸盐($R = 0.70, P < 0.05$)间亦呈良好的正相关,表明该水域底层至中层水体中生物作用已经成为 pH 和溶解氧的主要控制因素,径流或外海水对其影响的可能性较小。

虾峙门附近海域在本次调查结束后第二天就发生了大面积东海原甲藻赤潮。调查过程中该水域表层生物活动并不强烈,中层和底层水中生物活动却比较强烈,这一异常现象有可能与赤潮的发生有某种程度的关系。该水域处于外海水与径流的交汇区,温度在 $16.5^\circ - 18.0^\circ\text{C}$ 之间,盐度在 $28 - 33$ 之间,且生物量较高,海水透光性处于本次调查海区的中等水平(表层 TSP 在 $50 - 200\text{mg/L}$ 之间,底层 TSP 则在 $200 - 600\text{mg/L}$ 之间),较适合东海原甲藻生长(王金辉等, 2003),此次东海原甲藻赤潮的发生可能是此水域的高生产力水体上升到表层,并且在适宜的条件下藻类迅速生长的结果,另外赤潮发生前期的降雨对此也可能有一定的刺激作用(曾江宁等, 2004)。

2.4 解氧分布控制因素初探

溶解氧的增加与减少, 与赤潮的发生和消亡密切相关。在浮游植物的大量繁殖过程中, 强烈的光合作用使水体氧含量升高, 氧饱和度可高达130%以上, 且与浮游植物细胞密度间出现正相关关系(蒋国昌, 1993)。反之, 当赤潮生物及其他藻类大量死亡腐烂, 其耗氧作用大大超过光合作用时, 水体中溶解氧含量将急剧下降而使海水形成缺氧状态。调查海域溶解氧及其饱和度高, 表明浮游植物活动相当旺盛, 同时也与江河水与外海水的混合作用以及海水温度有关, 至于溶解氧低值区的形成则主要是大量有机物氧化分解耗氧所致。

选取温度、盐度以及与生态环境相关的化学及其他参数进行分析, 结果表明, 调查海域主要受径流和外海水等物理过程, 以及浮游植物光合作用和有机物分解等生物化学过程的综合影响, 其中近岸水域受物理作用影响较大。调查海区溶解氧与温度间呈显著负相关 ($R = -0.49, P < 0.01$), 与盐度之间也呈显著负相关 ($R = -0.60, P < 0.01$) (图 6a), 表明调查海区溶解氧受物理作用影响较大。由图 6 可知调查海区溶解氧受物理作用影响可分为两部分, 其中低氧、高盐水受外海水交换的影响较大, 其溶解氧与盐度之间呈显著负相关 ($R = -0.71, P < 0.01$), 而高氧、低盐水则受径流影响相对较大。由溶解氧与营养盐关系可知, 对于溶解氧较低的水团, 溶解氧与溶解无机氮 (DIN) 间呈显著负相关 ($R = -0.55, P < 0.01$) (图 6b), 与磷酸盐、硅酸盐间亦有相同规律, 表明有机物分解对溶解氧的影响较大; 对于溶解氧较高的水团, 其溶解氧与营养盐间则呈现正相关, 即化学和生物过程对其影响较小。结合溶解氧与叶绿素 *a* 间关系则可更为详细地看出 (图 6c), 调查海域中溶解氧的控制作用可分为三种类型, 一是溶解氧低值区底层水, 具有高盐、低溶解氧、低叶绿素 *a* 的特性, 该水域受到化学生物作用及外海水交换的共同影响, 有机物分解耗氧的影响较其他水域更显著; 二是近岸高氧水, 具有低盐、高溶解氧、高营养盐、低叶绿素 *a* 的特性, 受陆地径流影响较大; 三是高生产力区, 包括调查海域北部及南部偏西底层水域, 具有高叶绿素 *a* 值, 受生物活动特别是光合作用影响较大。整体而言, 调查海区大部分水域的溶解氧含量受物理、化学及生物作用的共同控制。

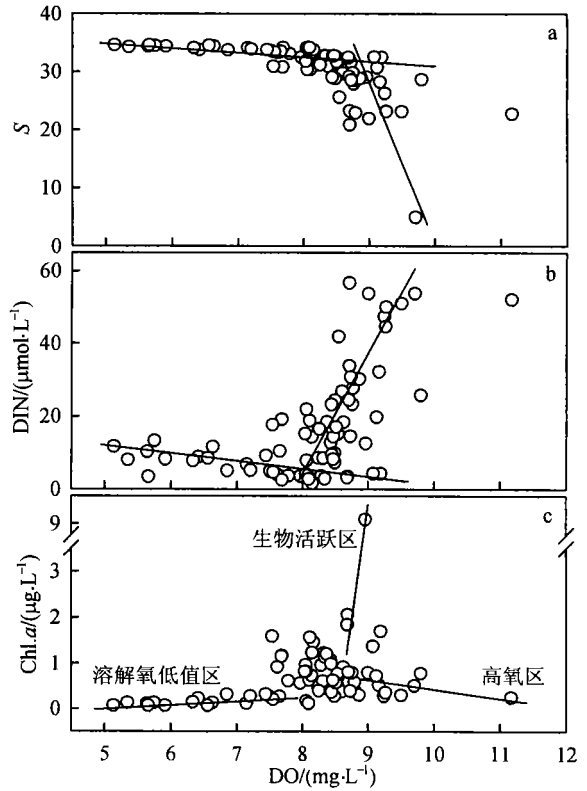


图 6 溶解氧与盐度、溶解无机氮、叶绿素 *a* 关系图
Fig. 6 Relationship of DO vs. salinity, DIN and Chl. *a*

由以上分析可知: 4月下旬长江口海域底层已开始出现较大面积的溶解氧低值区, 该水域处于长江三角洲前沿的低凹处, 无强烈水交换发生, 故该水域附近(特别是西部、北部)大量沉降的有机碎屑极有可能在此汇集, 使该水域成为有机碎屑沉降的汇集区, 大量有机物分解必然消耗水体溶解氧, 造成溶解氧的亏损。由于此时长江处于平水期向丰水期的转化期, 长江冲淡水对溶解氧低值区影响较小, 底层溶解氧含量主要受台湾暖流和底层有机物分解耗氧过程的共同控制, 特别是底层有机物分解导致溶解氧有较大幅度的降低。随着夏季的到来, 表层生产力增强使有机碎屑沉降量增加, 长江冲淡水及台湾暖流的加强将使该区域的垂直层化作用进一步增强, 沉降的有机碎屑在台湾暖流的影响下可能产生西、北向的爬升, 将造成溶解氧低值区的进一步扩大, 同时温度的进一步升高将使有机物分解过程成为该水域的主要控制过程, 使溶解氧含量有大幅度的降低。另外, 此水域同样可能是赤潮生物胞囊或休眠细胞沉降的集中区域, 在上述物理作用和生物扰动作用下, 胞囊或休眠细胞同样可能产生西、北向的

爬升,并在条件合适时上升至表层大量繁殖,有可能导致赤潮的暴发,近年来该溶解氧低值区的西部及西北部已多次发生赤潮。

3 小结

2002年4—5月调查海区溶解氧呈近岸高、外海低、表层高、深层低的分布趋势,含量在(5.14—11.17)mg/L之间,平均为(8.14±1.06)mg/L,溶解氧饱和度平均为(102.2±11.3)%,AOU介于(-2.83—2.55)mg/L之间,平均为(-0.19±0.88)mg/L。调查海区pH值在7.99—8.48之间,平均为8.23±0.12,呈现近岸低、外海高的趋势。调查海区整体上受到径流、外海交换、生物光合作用及有机物分解作用的共同控制,其中外海海域溶解氧和pH值受生物、化学作用影响较近岸海域大。

4月下旬调查海区东南部底层水域(50—60m深度)已开始形成溶解氧低值区,溶解氧小于6.00mg/L的水域面积约为15400km²,最低区在123.0°E、29.5°N附近。虽然台湾暖流对该水域有一定程度的影响,但有机物分解耗氧作用较强、水交换较弱是形成溶解氧低值区的主要原因。该水域处于长江三角洲前沿的低凹处,是有机碎屑沉降汇集区,随着夏季温度的升高,有机碎屑沉降量增加,长江冲淡水及台湾暖流进一步加强,沉降的有机碎屑将有可能产生西、北向的爬升,从而造成溶解氧低值区的进一步扩大和溶解氧含量的进一步降低。

同时,虾峙门附近海域底层和中层水存在厚度约20m左右、pH值小于8.05的pH低值区,与溶解氧低值区有部分重合,中心位置与溶解氧最低区一致,该水域有生物生长的良好条件,且生物作用对溶解氧和pH值的影响已超过物理作用成为主要控制因素。该水体有可能会上升到表层,浮游植物在适宜条件下迅速生长,形成了本次大面调查结束后在该水域发生的大面积赤潮。

致谢 香港科技大学简卫军提供温度和盐度数据,中国科学院南海海洋研究所霍文毅、周伟华提供叶绿素a及初级生产力数据,中国海监47船在本航次中给予大力支持和协助,谨致谢忱。

参 考 文 献

王修林,孙 霞,韩秀荣等,2004. 2002年春、夏季东海赤潮高发区营养盐结构及分布特征的比较. 海洋与湖

沼, 35(4): 323—331 [Wang X L, Sun X, Han X R *et al.*, 2003. Comparison in macronutrient distributions and composition for high frequency HAB occurrence areas in East China Sea between summer and spring 2002. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 35(4): 323—331]

白希尧,白敏冬,吕吉斌等,2004. 海上围隔羟基治理赤潮试验研究. 海洋与湖沼, 34(6): 513—517 [Bai X Y, Bai M D, L J B *et al.*, 2004. Treatment of red tide with hydroxyl radicals in enclosure experiment. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34(2): 513—517]

陈吉余,陈祥禄,杨启伦,1988. 上海海岸带和海洋资源综合调查报告. 上海:科技出版社,114—116 [Chen J Y, Chen X L, Yang Q L, 1988. Complete survey report of Shanghai coastal zone and marine resources. Shanghai scientific & Technical Publishers, 114—116]

陈善文,高亚辉,杜 虹等,2004. 双环海链藻(*Thalassiosira diprocyclus* Hasle)赤潮. 海洋与湖沼, 34(2): 130—137 [Chen S W, Gao Y H, Du H *et al.*, 2003. First recording of *Thalassiosira diprocyclus* bloom in the southeast China sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34(2): 130—137]

苏建强,郑天凌,俞志明等,2003. 海洋细菌对赤潮藻生长及其产毒量的影响. 海洋与湖沼, 34(1): 44—49 [Su J Q, Zheng T L, Yu Z M *et al.*, 2003. Effect of marine bacteria on the growth and PSP Production of red-tide algae. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34(1): 44—49]

顾宏堪,1980. 黄海溶解氧垂直分布中的最大值. 海洋学报, 2: 70—79 [Gu H K, 1980. Maximum value of dissolved oxygen vertical distribution in Yellow Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2: 70—79]

洪君超,1989. 长江口外及其邻近海区赤潮多发区的分析与探讨. 暨南大学学报(赤潮研究专刊): 40—50 [Hong J C, 1989. Discussions on frequent occurrence areas of red tide in Yangtse Estuary and adjacent sea area. *Journal of Jinan University (special issue of Red Tide)*: 40—50]

蒋国昌,1993. 浙江南部海域富营养化和赤潮和探讨. 东海海洋, 11(2): 55—61 [Jiang G C, 1993. The preliminary study on the eutrophication and the red tide in the south coastal area of Zhejiang. *Donghai Marine Science*, 11(2): 55—61]

蒋国昌,王玉衡,唐仁友,1991. 东海溶解氧垂直分布和季节变化. 海洋学报, 13(3): 348—355. [Jiang G C, Wang Y H, Tang R Y, 1991. Vertical distribution and seasonal variation of dissolved oxygen in East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 13(3): 348—355]

李道季,张 经,黄大吉等,2002. 长江口外氧的亏损. 中国科学(D辑), 32(8): 686—694 [Li D J, Zhang J, Huang D J *et al.*, 2002. Oxygen depletion off the Changjiang (Yangze

- River) Estuary. Science in China (Series D), 32(8): 686—694]
- 蒲新明, 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—66 [Pu X M, Wu Y L, Zhang Y S, 2001. Nutrient limitation of phytoplankton in the Changjiang Estuary II: Condition of nutrient limitation in spring. Acta Oceanologica Sinica, 23(3): 57—66]
- 王金辉, 黄秀清, 2003. 具齿原甲藻的生物特征及赤潮成因浅析. 应用生态学报, 14(7): 1065—1069 [Wang J H, Huang X Q, 2003. Ecological characteristics of *Prorocentrum dentatum* and the cause of harmful algal bloom formation in China Sea. Chinese Journal of Applied Ecology, 14(7): 1065—1069]
- 徐韧, 洪君超, 王桂兰等, 1994. 长江口及其邻近海域的赤潮现象. 海洋通报, 13(5): 25—29 [Xu R, Hong J C, Wang G L, et al. 1994. On red tide in Yangtze Estuary and adjacent sea area. Marine Science Bulletin, 13(5): 25—29]
- 杨庆霄, 董娅婕, 蒋岳文等, 2001. 黄海和东海海域溶解氧的分布特征. 海洋环境科学, 20(3): 9—13 [Yang Q X, Dong Y J, Jiang Y W et al, 2001. Distribution feature of dissolved oxygen in Yellow Sea and East China Sea. Marine Environmental Science, 20(3): 9—13]
- 张朝贤, 2000. 赤潮的危害和预测预报. 海岸工程, 19(2): 86—89 [Zhang C X, 2000. Harming prediction and forecast of red tides. Coastal Engineering, 19(2): 86—89]
- 张竹琦, 1990. 黄海和东海北部夏季底层溶解氧最大值和最小值特征分析. 海洋通报, 9(4): 22—26 [Zhang Z Q, 1990. On maximum and minimum dissolved oxygen with bottom layer in Yellow Sea and Northern East China Sea in summer. Marine Science Bulletin, 9(4): 22—26]
- 吴玉霖, 傅月娜, 张永山等, 2004. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系. 海洋与湖沼, 35(3): 246—252 [Wu Y L, Fu Y N, Zhang Y S et al, 2003. phytoplankton distribution and relation to the runoff in the Changjiang (Yangtze) Estuary. Oceanologia et Limnologia Sinica, 246—252]
- 曾江宁, 曾淦宁, 黄伟良等. 2004. 赤潮影响因素研究进展. 东海海洋, 22(2): 40—47 [Zheng J N, Zheng G N, Huang W L et al, 2004. Influencing factors on harmful algal blooms. Donghai Marine Science, 22(2): 40—47]
- 周名江, 颜天, 邹景忠, 2003. 长江口邻近海域赤潮发生区基本特征初探. 应用生态学报, 14(7): 1031—1038 [Zhou M J, Yan T, Zhou J Z, 2003. Preliminary analysis of the characteristics of red tide areas in Changjiang River estuary and its adjacent sea. Chinese Journal of Applied Ecology, 14(7): 1031—1038]
- 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—59 [Zhou M J, Zhu M Y, Zhang J, 2001. Status of harmful algal blooms and related research activities in China. Chinese Bulletin of Life Sciences, 13(2): 54—59]
- 颜天, 周名江, 傅萌等, 2003. 赤潮异弯藻毒性及毒性来源的初步研究. 海洋与湖沼, 34(1): 50—55 [Yan T, Zhou M J, Fu M et al, 2003. The preliminary study on toxicity of *Heterosigma akashiwo* and the toxicity source. Oceanologia et Limnologia Sinica, 34(1): 50—55]
- Beardsley R C, Limeburner R, Yu H et al, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Continental Shelf Research, 4(1/2): 57—76
- Limeburner R, Beardsley R C, Zhao J, 1983. Water Masses and Circulation in the East China Sea. Proceedings of International symposium on sedimentation on the continental shelf, with special reference to the East China Sea, April 12—16, 1983 Hangzhou, China, Vol. 1. Beijing: China Ocean Press, 285—294
- Riley J P, Skirrow G, 1975. Chemical Oceanography, Vol. 2, 2nd Edition. London, Academic Press, 1—705
- Tian R C, Hu F X, Martin J M, 1993. Summer nutrient fronts in the Changjiang (Yangtze River) Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 37: 27—41

DISTRIBUTION OF DISSOLVED OXYGEN AND pH IN FREQUENT HAB AREA OF THE EAST CHINA SEA IN SPRING 2002

SHI Xiao-Yong, WANG Xiu-Lin, LU Rong, SUN Xia

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

Abstract This paper introduces the results of the first cruise on China harmful algal blooms (HAB or red tide) research, one of the national basic research programs of China. The cruise was carried out in Changjiang (Yangtze River) River estuary and adjacent areas of the East China Sea, located from 29.0°—32.0°N and 122.0°—123.5° E, on April 27 to May 2, 2002. Twenty-eight survey stations among 7 sections were implemented during the cruise. Niskin bottles were used for sampling dissolved oxygen (DO), pH, nutrients and *Chl a*. In the field survey, temperature, salinity, the distributions of DO and pH in frequent-HAB area of in the East China Sea were studied, and the cause of low-oxygen area near the estuary and its link to HAB were also discussed.

The pH values measured in the survey area in April to May, 2002, were in the range of 7.99 to 8.48, averaged at 8.23 ± 0.12 , lower in coastal area and higher in outside area; while the DO distribution showed an opposite horizontal trend: higher in coastal area but in outer sea. In overall, DO was oversaturated ranging between 5.14 and 11.17 mg/L, averaged at (8.14 ± 1.06) mg/L. The apparent oxygen utilization (AOU) was between -2.83 and 2.55 mg/L, (-0.19 ± 0.88) mg/L in average. The highest DO area was located in the coastal area from the estuary to Hangzhou Bay in the south, and the DO had negative correlation with salinity and temperature, indicating some physical processes (such as water runoff) had largely influenced the DO distribution in the area. Generally, AOU values were positive, demonstrating that organic matter were decomposed strongly and generated considerably huge oxygen depletion in bottom water. Judging from the relationship of DO and pH vs. salinity, *Chl a* and nutrients, biological and chemical processes were more important in distributing the DO in the outer sea than in the coastal area.

Furthermore, the distributions of DO and pH showed similar trends of decrease from surface to bottom, from north to south in bottom water. A lower-oxygen area of about 10 to 20m in thickness in about 15400 km² occurred in the spring featured with oxygen depletion in bottom water, southeast part of the survey area, and the outside sea in 50m isobath (50 to 60m in depth), with AOU greater than 1.50 mg/L in general. Similarly, there was a lower pH area in southwest part of survey area, in about 20m in thickness and pH lower than 8.05, extending from Zhoushan Islands to the 50m isobath southeastward at bottom. The lowest area of pH was superimposed with low-oxygen area to some degree. On the other hand, pH positively correlated with *Chl a* and DO, and AOU was positively correlated with phosphate and silicate. These facts indicate that biological process instead of runoff or outersea water exchange, was the main controlling factor to pH and DO in middle to bottom water in this area.

Additionally, in lower-oxygen area, biological and chemical processes but runoff or outersea water exchange were responsible for the DO and pH distributions. Most probably, the oxygen was consumed in the decomposition of organic matters due to weak water mass exchange. It is believed by the authors that the low-oxygen area was the conservation pool of sinking organic particles and cyst or inactive cells of the red tide algae. In summer high-water-level period of Changjiang River, particulate organism and cyst or inactive cells in the surface sediment are likely to float up northward and westward, causing the expansion of low-oxygen area and the DO reduction, under the influence of Taiwan Worm Current. Furthermore, it is possible that the cyst or inactive cells would move upward to the surface layer and bloom if the condition favors.

Key words Dissolved oxygen, Low-oxygen area, the East China Sea, Changjiang (Yangtze) River estuary