

# 苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移过程的影响

卢健<sup>1,2</sup>, 张启龙<sup>1</sup>, 李安春<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 根据 2009 年 5 月的温度、盐度和溶解氧观测数据, 应用“对应分析法”对水团的分布范围和特性进行了分析, 并探讨了苏北沿岸流对浒苔(*Enteromorpha prolifera*)暴发及漂移过程的影响。结果表明, 春季苏北沿岸流向东南流动过程中, 可以将海水中悬浮的浒苔繁殖体向南输运至长江冲淡水与苏北沿岸流交汇处, 此处的浒苔繁殖体在适宜的条件下生长繁殖。在夏季风的作用下, 长江口北部的浒苔与苏北沿岸海域的浒苔, 随表层海流向北漂移, 在地球偏转力作用下, 漂移路径不断向右偏转, 并最终在山东半岛南部海域聚集堆积。苏北沿岸流在浒苔暴发初期将繁殖体输送到条件适宜的生长区, 并对浒苔向北漂移起到了重要作用。长江冲淡水向北扩展范围的增大对于浒苔的生长和繁殖起到了促进作用。查明浒苔扩散路径及输运机制不仅具有重要环境意义, 而且对深入了解沿岸和河口区泥沙及污染物的扩散和输运机制具有指示作用。

**关键词:** 苏北沿岸流; 浒苔(*Enteromorpha prolifera*); 对应分析法; 长江冲淡水

中图分类号: P67 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)10-0083-07  
doi: 10.11759/hyxx20130128001

近年来浒苔(*Enteromorpha prolifera*)暴发已成为严重的海洋环境问题。2007 年首次暴发了较大范围的浒苔绿潮, 对黄海沿岸的水体环境构成了较大危害<sup>[1]</sup>。2008 年 5 月底以后, 黄海中部出现了大面积漂浮浒苔, 并向青岛及周边海域聚集, 从而对水体环境和第 29 届夏季奥运会帆船赛事构成较大威胁<sup>[2]</sup>。2009 年 5~6 月的卫星监测结果显示, 5 月底黄海海域只有小面积浒苔生成, 而在 6 月下旬大片浒苔则出现在黄海中西部<sup>[3]</sup>。浒苔的连续暴发对南黄海沿岸海域的生态环境及景观造成了严重影响。因此, 查明浒苔的发生、发展和扩散规律是治理浒苔的关键。为此, 近年来有关浒苔的暴发机制及过程已引起了人们的重视, 并对其进行了许多研究<sup>[4-12]</sup>。然而, 有关苏北沿岸流在浒苔暴发及漂移过程中的作用还未有详细论述, 而且关于苏北沿岸流的范围, 在以往的研究中<sup>[13-14]</sup>也未给出明确的界定。因此, 开展苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移过程的影响研究具有重要意义。同时查明浒苔扩散路径及输运机制还对深入了解沿岸和河口区泥沙及污染物的扩散和输运机制具有指示作用。

本文根据 2009 年 5 月的温度、盐度和溶解氧等观测数据, 利用“对应分析法”对水团的分布范围和特性进行了分析, 并根据苏北沿岸流的流向变化及营养盐等水文和环境要素探讨了苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移过程的影响。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所用的资料来源于中国科学院海洋研究所 2009 年 5 月和 2012 年 7 月实施的中国近海海洋科学考察开放共享航次, 调查海域分别有 54 个和 9 个大面站, 站位分布如图 1 所示。本次调查主要使用了 SBE9 型 CTD 和自动采水器, 并按照我国近海海洋综合调查与评价专项《海洋底质调查技术规程》中规定的标准层次采集水样。本次调查的数据主要有: 水深( $D$ )、温度( $T$ )、盐度( $S$ )、溶解氧( $DO$ )等, 同时参考了 2012 年 7 月采集的走航 AD CP(Acoustic Doppler Current Profiler)数据。

### 1.2 分析方法

本文采用“对应分析法”来划分该海域的水团<sup>[15]</sup>。划分水团的基本原则是: 对于相对集中的观测点, 因其所表征的水文要素值相近, 理化性质也基本相同, 故将这些站点划归一类, 视为一个水团, 而对于比较分散不能聚类的观测点, 则可认为测站位于两

收稿日期: 2013-01-28; 修回日期: 2014-03-17

基金项目: 国家海洋局环境司项目(DOMEP(MEA)-01-05)

作者简介: 卢健(1984-), 男, 河北秦皇岛人, 博士研究生, 主要从事海洋沉积学研究, E-mail: lujian623@126.com; 李安春, 通信作者, E-mail: acli@qdio.ac.cn

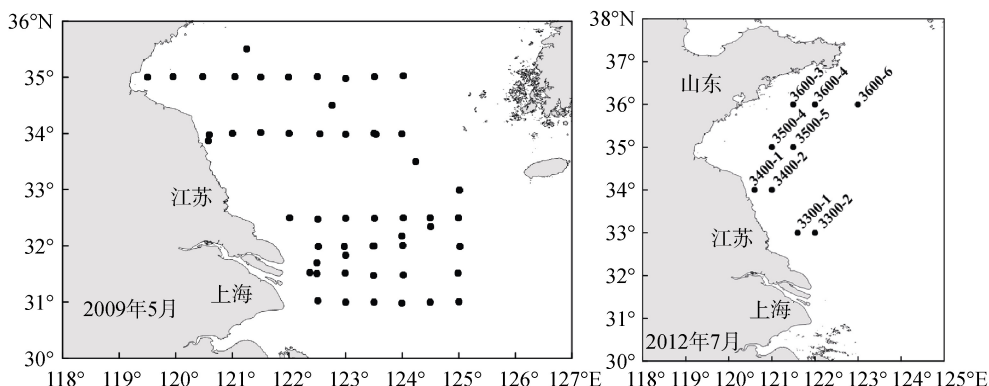


图1 2009年5月和2012年7月调查站位分布图

Fig.1 Location of survey stations in May, 2009 and July, 2012

个或两个以上水团间的过渡带, 即混合区。

本文将调查海域各测站的表、底层温度, 盐度和溶解氧作为独立变量, 利用上述方法对该海域的水团进行了划分。

## 2 水团配置与特性

因子点聚图(图2)分析结果表明, 2009年5月在调查海域共有3个水团: 苏北沿岸水(SCW)、黄海混合水(YSMW)和长江冲淡水(CDW)。这3个水团的温度、盐度和溶解氧范围及平均值如表1所示。

该海域表、底层水团分布如图3所示。可以看到, 苏北沿岸水位于苏北沿岸海域, 自北向东南扩展, 其东界大致位于30~40 m等深线附近, 并与黄海混合水相邻。但应指出的是, 苏北沿岸水的南界随着深度的增加而不断南扩。在表层, 它的南界位于32°N附近, 并与长江冲淡水相邻, 但在底层则南移至31°N附近。苏北沿岸水具有高温、低盐的特征(表1)。在表层, 其平均温度、盐度和溶解氧分别为18.3°C、29.7和7.9 mg/L, 而底层则分别为17.2°C、31.2和8.0 mg/L。

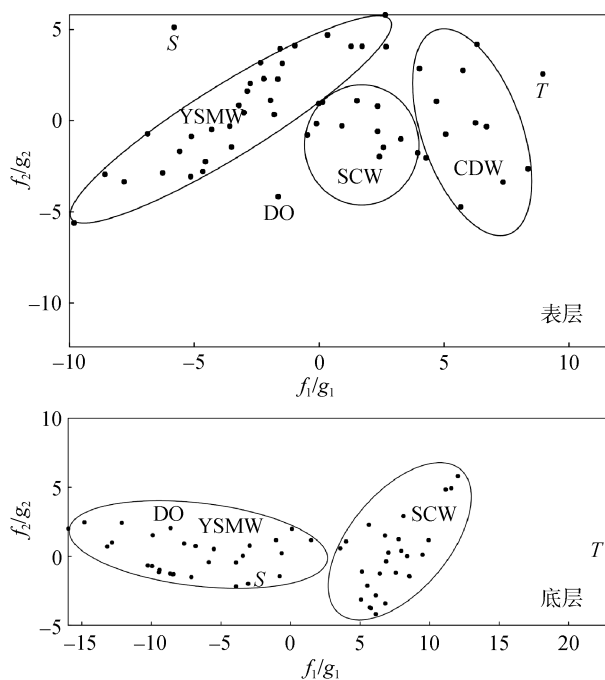


图2 2009年5月研究区因子点聚图

Fig.2 Factor diagram in the study area in May, 2009

$f_1, f_2, g_1, g_2$  为因子  
 $f_1, f_2, g_1, g_2$  represent factors

表1 各水团的温度、盐度和溶解氧范围及平均值

Tab.1 The range and average value of temperature, salinity and dissolved oxygen of different water masses

层位	水团	温度(°C)		盐度		溶解氧(mg/L)	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
表层	SCW	17.5~19.9	18.3	27.8~31.0	29.7	7.8~8.0	7.9
	YSMW	13.8~20.5	17.2	29.5~33.3	32.0	7.5~8.5	8.0
	CDW	18.4~20.0	19.2	19.1~30.2	27.0	7.7~8.2	7.9
底层	SCW	15.7~18.6	17.2	27.8~33.6	31.2	7.8~8.2	8.0
	YSMW	8.1~16.5	11.8	30.8~33.7	32.7	8.0~9.6	8.8

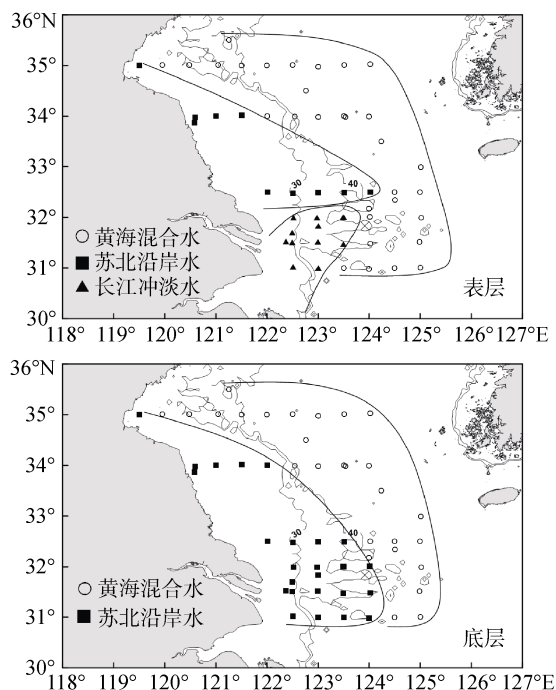


图3 2009年5月研究区水团分布

Fig.3 Water mass distribution in the Study area in May, 2009

黄海混合水位于调查海域的远岸区域。因受调查范围所限,本文未能给出其全貌,但在调查海域,它的分布范围最大,盘踞在苏北沿岸水和长江冲淡水以东的广大海域。黄海混合水具有低温、高盐和高溶解氧特征。表层,黄海混合水的平均温度、盐度和溶解氧分别为 $17.2^{\circ}\text{C}$ 、 $32.0$ 和 $8.0\text{ mg/L}$ ;而底层则分别为 $11.8^{\circ}\text{C}$ 、 $32.7$ 和 $8.8\text{ mg/L}$ ,这主要与黄海冷水团的形成有关<sup>[13]</sup>。

长江冲淡水(冬季盐度 $<31.0$ ,夏季盐度 $<30.0$ <sup>[16]</sup>)展布于长江口外海域的上表层,呈舌状向东北方向扩展。它的北部和东部分别与苏北沿岸水和黄海混合水相邻。长江冲淡水具有高温( $19.2^{\circ}\text{C}$ )、低盐( $27.0$ )和低溶解氧( $7.9\text{ mg/L}$ )之特征(表1)。

### 3 苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移的影响

早期的研究<sup>[13-14]</sup>认为,苏北沿岸流终年流向东南,但近年来的研究却发现,苏北沿岸流在夏季为北向流。刘志亮<sup>[17]</sup>通过分析江苏外海一个观测站点上近26 d的夏季海流资料,发现几乎整个深度上都存在一支流向比较稳定的北向流。左军成<sup>[5]</sup>利用POM(Princeton Ocean Model)模式模拟了东中国海的气候态流场,指出黄海近岸表层流冬季为南向流,而夏季却为北向流。Xia<sup>[18]</sup>根据真实地形和气候态强

迫场的数值模拟结果,指出夏季至少在 $34.5^{\circ}\text{N}$ 以南的苏北浅滩海域,苏北沿岸流整层为北向流。李晓<sup>[19]</sup>的数值模拟与卫星遥感数据分析表明,夏季江苏沿岸海流受风驱动向北流动。Yuan<sup>[20]</sup>根据MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)观测数据也得出了苏北沿岸流在夏季向北流的结论。Pang<sup>[21]</sup>通过数值模拟和夏季悬浮体历史调查数据分析也得到了类似的结果。此外根据表层沉积物中矿物的分布特征也显示出自南向北输运的趋势(另文报道)。由此可见,苏北沿岸流在春季向东南流,而在夏季则向北流。这可从2009年5月苏北沿岸水向东南扩展强盛(图3)以及2012年7月ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)流速观测结果(图4)得到佐证。

关于浒苔的来源,虽然仍存在争议,但是多数观点认为浒苔最初来源于苏北沿岸<sup>[11-12, 22-26]</sup>。美国国家航空航天局(NASA)提供的MODIS数据表明,2008年青岛绿潮最初可以追踪到江苏射阳河海域至长江口海域<sup>[27]</sup>。2009年的浒苔可以追踪到距离盐城和南通海岸线77 km、以 $33^{\circ}02'\text{N}$ 、 $121^{\circ}45'\text{E}$ 为中心的浒苔分布区<sup>[11]</sup>。

至于浒苔的成因也有多种看法。Liu<sup>[22]</sup>、Hu<sup>[12]</sup>和Keesing<sup>[11]</sup>指出,浒苔暴发来源于苏北沿岸快速增长的紫菜养殖业;Pang<sup>[26]</sup>认为,浒苔暴发来源于连云港附近的虾蟹养殖池;Zhang<sup>[28]</sup>认为浒苔体细胞可以在沉积物中越冬并导致来年的暴发,其他研究<sup>[29-30]</sup>也证明了埋在海底沉积物中的绿潮藻叶状体碎片完全可以越冬,并在来年萌发。在2009年11月、2010年12月、2011年3月至4月和2012年3月至4月采集的江苏沿海潮间带沉积物样品中,发现了浒苔微观繁殖体的存在<sup>[31-32]</sup>,而且在与沉积物同时采集的表层海水样品中,也同样发现了浒苔微观繁殖体<sup>[32]</sup>。已有研究表明,苏北沿岸区平均最大潮流为 $120\sim 140\text{ cm/s}$ <sup>[33]</sup>。如此强大的潮流可以将海底沉积物和浒苔微观繁殖体掀起,从而发生再悬浮、再迁移和再沉积。

春季,苏北沿岸流携带部分浒苔繁殖体向东南运移,与此同时长江冲淡水则由东南方向转向东北<sup>[13]</sup>,并与苏北沿岸流发生强烈交汇,从而为浒苔的生长提供了有利条件。实验证明,浒苔生长对氮的需求很高<sup>[34]</sup>,而受长江冲淡水的影响,苏北近岸和长江口为营养盐的高值区,在南黄海西南部和长江口以东海域,N/P很高( $>30$ <sup>[35]</sup>, $>20$ <sup>[36]</sup>),浒苔繁殖体在苏北沿岸流和长江冲淡水交汇处得以顺利生长繁殖。这与文献<sup>[12]</sup>利用MODIS资料得出的2000~2009年4~5月间浒苔主要出现在长江口以东海区的结论相一致。

由表2可以看出,浒苔生长的适应温度、盐度和

pH 分别为 10~30°C、16~40 和 6~10, 而孢子释放的适应温度、盐度和 pH 则分别为 15~35°C、12~40 和

6~10。2009 年 5 月的调查结果(图 5, 其中 1998 年 5 月表层盐度数据据文献[35])显示, 在苏北沿岸流及

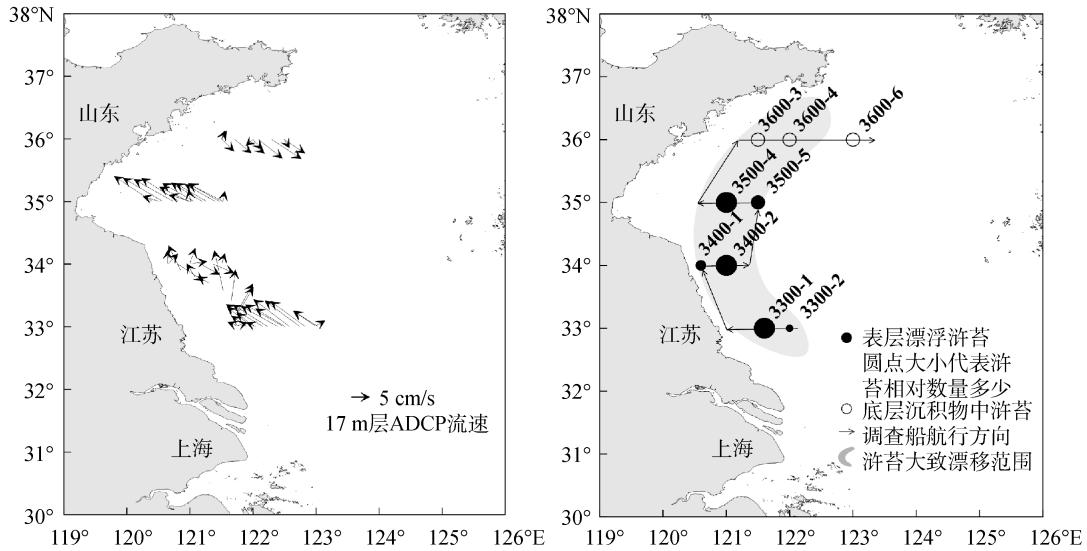


图 4 2012 年 7 月 17 m 层 ADCP 流速分布和浒苔分布图

Fig.4 ADCP velocity at the 17-meter-depth layer and the distribution of *Enteromorpha prolifera* in July, 2012

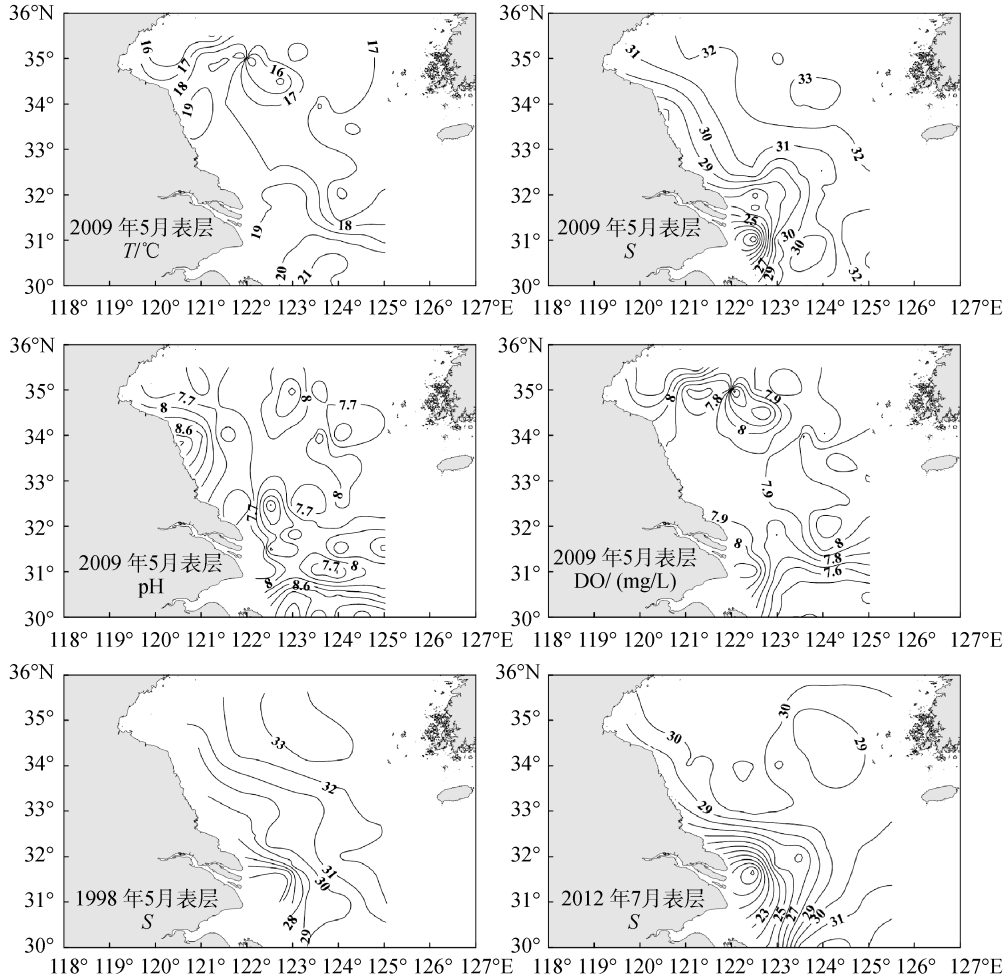


图 5 不同时间表层温度、盐度、pH、溶解氧平面分布图

Fig.5 Spatial distributions of temperature, salinity, pH and dissolved oxygen in the surface water in different time

表 2 浒苔生长和孢子释放的适应范围及最适范围

Tab.2 The suitable and optimum conditions for growth and spores release of *Enteromorpha prolifera*

结果对照	<i>S</i>	<i>T</i> (°C)	pH
观测结果(本文)	28~32	18~19	7.7~8.9
适应范围 <sup>[37]</sup>	生长	16~40	10~30
	孢子释放	12~40	15~35
最适范围 <sup>[37]</sup>	生长	24~28	20~25
	孢子释放	28~40	20~35

其以东附近海域的表层温度、盐度和 pH 分别为 18~19°C、28~32 和 7.7~8.9(表 2)。很显然, 这样的水文状况比较符合浒苔生长和孢子释放条件, 从而促进了浒苔的生长繁殖。

黄海的夏季风大致出现在 6~8 月间, 主要盛行南风 and 东南风<sup>[38]</sup>。在夏季风的驱动下, 苏北沿岸流及其东侧的表层海流均向北流动。在苏北沿岸流与长江冲淡水交汇区生长发育的浒苔、由底层沉积物中发生再悬浮的繁殖体发育生长而成的浒苔以及在紫菜收获后被丢弃的浒苔<sup>[39]</sup>, 在表层海流的携带下, 向北漂移。但在地球偏转力的作用下, 浒苔的漂移路径不断向右偏转, 最终在山东半岛南部海域聚集堆积, 从而引起浒苔暴发。

由 2012 年 7 月底海上浒苔分布, 并结合 ADCP 流速数据(图 4), 可以看出, 浒苔由南向北漂移, 并且路径逐渐向右偏转, 表层漂浮浒苔含量最高站位的连线大体代表了浒苔的漂移路径。在 36°N 的站位中仅在海底表层沉积物中发现了已经下沉的浒苔, 而海水表面并未出现浒苔的踪迹。这可能由于 7 月底已处于浒苔暴发的末期, 部分浒苔逐渐死亡下沉造成的。

#### 4 浒苔连续暴发的原因初探

浒苔在 2007 年以前并未大规模暴发<sup>[1]</sup>, 而在 2007 年以后则连续几年暴发。那么, 浒苔连续暴发原因何在? 为此, 本节将对这个问题进行初步探讨。

Keesing<sup>[11]</sup>指出, 江苏沿岸快速发展的紫菜养殖业可能是浒苔连续暴发的主要原因。从图 6 可以看出, 从 2008 年开始, 紫菜养殖面积的确在大幅度增加。而长江冲淡水向北扩展范围的增大也可能对浒苔的暴发产生重要作用, 因为长江冲淡水适宜的水文条件可以促进浒苔的生长和繁殖<sup>[10]</sup>。对照 1998 年 5 月(图 5)与 2009 年 5 月的表层盐度分布(图 5)可以清楚地看到, 长江冲淡水(*S* <30.0)向北扩展的趋势

明显。而从 2012 年 7 月表层盐度分布(图 5)可以看出, 长江冲淡水影响范围可以达到南黄海中部。长江冲淡水北扩范围的增加扩大了浒苔的生长繁殖区域, 并在浒苔漂移过程中为其提供充足的营养成分。

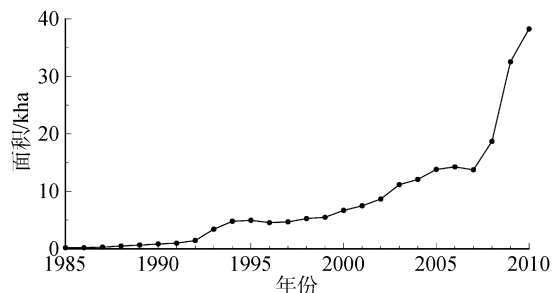


图 6 江苏沿岸紫菜养殖面积年际变化图(据文献[40])

Fig.6 The interannual variation of *Porphyra* aquaculture area in Jiangsu coastal area

#### 5 结论

本文根据 2009 年 5 月的温度、盐度和溶解氧资料, 应用“对应分析法”分析了水团的分布范围和特性, 并探讨了苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移过程的影响。得到的研究结果主要如下:

(1) 春季, 在本研究海域共有三个水团: 苏北沿岸水、黄海混合水和长江冲淡水。其中, 苏北沿岸水位于苏北沿海岸域, 自北向东南扩展, 并与黄海混合水相邻, 而长江冲淡水则呈舌状向东北方向扩展, 其北面 and 东面分别与苏北沿岸水和黄海混合水相汇。苏北沿岸水和长江冲淡水均具有高温和低盐的特征, 但长江冲淡水的盐度更低; 与之不同的是, 黄海混合水具有低温、高盐和高溶解氧特征, 特别在深底层, 其温度最低。

(2) 苏北沿岸流在浒苔暴发及漂移过程中具有重要作用。首先, 苏北沿岸流将浒苔繁殖体携带至它与长江冲淡水的交汇区生长繁殖, 然后在夏季风的作用下, 苏北沿岸流携带着发育成熟的浒苔以及在紫菜养殖区被丢弃的浒苔向北漂移, 同时苏北沿岸水适宜的水文和营养盐条件也促进了浒苔的生长。

(3) 浒苔发生区悬浮物和污染物富集, 因此对浒苔发生机理和扩散路径以及运输机制的深入认识有助于对长江 and 老黄河口泥沙和污染物的扩散与运输机制的进一步了解。

致谢: 感谢 2009, 2012 年中国科学院海洋研究所中国近海海洋科学考察开放共享航次提供数据。

## 参考文献:

- [1] 唐启升, 张晓雯, 叶乃好, 等. 绿潮研究现状与问题[J]. 中国科学基金, 2010, 1: 5-9.
- [2] 乔方利, 马德毅, 朱明远, 等. 2008年黄海浒苔暴发的基本状况与科学应对措施[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 409-410.
- [3] 衣立, 张苏平, 殷玉齐. 2009年黄海绿潮浒苔暴发与漂移的水文气象环境[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(10): 15-23.
- [4] 张苏平, 刘应辰, 张广泉, 等. 基于遥感资料的2008年黄海绿潮浒苔水文气象条件分析[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(5): 870-876.
- [5] 左军成, 徐珊珊, 石少华, 等. 东中国海环流对2008年浒苔事件的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(5): 561-568.
- [6] 徐兆礼, 叶属峰, 徐韧. 2008年中国浒苔灾害成因条件和过程推测[J]. 水产学报, 2009, 33(3): 430-437.
- [7] 李德萍, 杨育强, 董海鹰, 等. 2008年青岛海域浒苔大爆发天气特征及成因分析[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(6): 1165-1170.
- [8] 乔方利, 王关锁, 吕新刚, 等. 2008与2010年黄海浒苔漂移输运特征对比[J]. 科学通报, 2011, 56(18): 1470-1476.
- [9] 李大秋, 贺双颜, 杨倩, 等. 青岛海域浒苔来源与外海分布特征研究[J]. 环境保护, 2008, 402(16): 45-46.
- [10] Lin A P, Wang C, Pan G H, et al. Diluted seawater promoted the green tide of *Ulva prolifera* (Chlorophyta, Ulvales)[J]. Phycological Research, 2011, 59(4): 295-304.
- [11] Keesing J K, Liu D Y, Fearn P, et al. Inter- and intra-annual patterns of *Ulva prolifera* green tides in the Yellow Sea during 2007-2009, their origin and relationship to the expansion of coastal seaweed aquaculture in China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(6): 1169-1182.
- [12] Hu C M, Li D Q, Chen C S, et al. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115(C05017), doi: 10.1029/2009JC005561.
- [13] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 174-246.
- [14] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 95-99, 338-342.
- [15] 张启龙, 翁学传. 应用对应分析法划分夏季东海水团的初步研究[J]. 海洋科学, 1985, 9(2): 14-18.
- [16] 李凤岐, 苏育嵩. 海洋水团分析[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000.
- [17] 刘志亮, 胡敦欣. 黄海夏季近岸海区环流的初步分析及其与风速的关系[J]. 海洋学报, 2009, 31(2): 1-7.
- [18] Xia C S, Qiao F L, Yang Y Z, et al. Three-dimensional structure of the summertime circulation in the Yellow Sea from a wave-tide-circulation coupled model[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111(C11S03), doi: 10.1029/2005JC003218.
- [19] 李峒. 中国东部近海夏季环流特征及其动力机制[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2010.
- [20] Yuan D L, Zhu J R, Li C Y, et al. Cross-shelf circulation in the Yellow and East China Seas indicated by MODIS satellite observations[J]. Journal of Marine Systems, 2008, 70(1/2): 134-149.
- [21] Pang C G, Yu W, Yang Y, et al. An improved method for evaluating the seasonal variability of total suspended sediment flux field in the Yellow and East China Seas[J]. International Journal of Sediment Research, 2011, 26(1): 1-14.
- [22] Liu D Y, Keesing J K, Xing Q G, et al. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(6): 888-895.
- [23] Ding L P, Fei X G, Lu Q Q, et al. The possibility analysis of habitats, origin and reappearance of bloom green alga (*Enteromorpha prolifera*) on inshore of western Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27(3): 421-424.
- [24] Hu C M. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10): 2118-2129.
- [25] Shi W, Wang M H. Green macroalgae blooms in the Yellow Sea during the spring and summer of 2008[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2009, 114(C12): C12010.
- [26] Pang S J, Liu F, Shan T F, et al. Tracking the algal origin of the *Ulva* bloom in the Yellow Sea by a combination of molecular, morphological and physiological analyses[J]. Marine Environmental Research, 2010, 69(4): 207-215.
- [27] 刘峰. 黄海绿潮的成因以及绿潮浒苔的生理生态学和分子系统学研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2010.
- [28] Zhang X W, Wang H X, Mao Y Z, et al. Somatic cells serve as potential propagule bank of *Enteromorpha prolifera* forming a green tide in the Yellow Sea, China[J]. Journal of Applied Phycology, 2010, 22(2): 73-180.
- [29] Malta E, Draisma S A, Kamermans P. Free-floating *Ulva* in the southwest Netherlands: species or morphotypes? a morphological, molecular and ecological comparison[J]. European Journal of Phycology, 1999, 34(5): 443-454.
- [30] Blomster J, Back S, Fewer D P, et al. Novel morphology in *Enteromorpha* (Ulvophyceae) forming green tides[J]. American Journal of Botany, 2002, 89: 1756-1763.

- [31] Liu F, Pang S J, Zhao X B, et al. Quantitative, molecular and growth analyses of *Ulva* microscopic propagules in the coastal sediment of Jiangsu province where green tides initially occurred[J]. *Marine Environmental Research*, 2012, 74: 56-63.
- [32] Liu F, Pang S J, Chopin T, et al. Understanding the recurrent large-scale green tide in the Yellow Sea: Temporal and spatial correlations between multiple geographical, aquacultural and biological factors[J]. *Marine Environmental Research*, 2013, 83: 38-47.
- [33] 丁文兰. 渤海和黄海潮汐潮流分布的基本特征[C]//中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(25). 北京: 科学出版社, 1985: 27-39.
- [34] 李瑞香, 吴晓文, 韦钦胜, 等. 不同营养盐条件下浒苔的生长[J]. *海洋科学进展*, 2009, 27(2): 211-216.
- [35] 王保栋. 黄海和东海营养盐分布及其对浮游植物的限制[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(7): 1122-1126.
- [36] 张启龙, 王凡, 赵卫红, 等. 舟山渔场及其邻近海域水团的季节特征[J]. *海洋学报*, 2007, 29(5): 1-9.
- [37] 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋, 等. 浒苔生长及孢子释放的生态因子研究[J]. *海洋通报*, 2007, 26(2): 60-65.
- [38] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989: 8-10.
- [39] Liu D Y, Keesing J K, Dong Z J, et al. Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(9): 1423-1432.
- [40] 李博. 中国紫菜养殖业的发展现状研究[J]. *农业经济与管理*, 2012, 1: 90-96.

## The influence of Subei coastal current on the outbreak and drift of *Enteromorpha prolifera*

LU Jian<sup>1, 2</sup>, ZHANG Qi-long<sup>1</sup>, LI An-chun<sup>1</sup>

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Jan., 28, 2013

**Key words:** Subei coastal current; *Enteromorpha prolifera*; Comparison Analysis Method; the Changjiang diluted water

**Abstract:** Based on the temperature, salinity and dissolved oxygen data collected in the survey in May 2009, the distribution and features of the water masses were analyzed with the Comparison Analysis Method. Meanwhile, the role that Subei coastal current played in *Enteromorpha prolifera* outbreak and drift was discussed. During the southeastward flow in spring, Subei coastal current could carry the suspended *Enteromorpha* propagules to the meeting area of the Changjiang diluted water with Subei coastal current, where the propagules could grow and reproduce under suitable conditions. Affected by the summer monsoon, the *E. prolifera* in the north of the Changjiang Estuary and *E. prolifera* in Subei coastal area drifted northward with the surface currents. However, under the influence of Coriolis force, the drift path continuously deflected to the right and the *E. prolifera* gathered in the southern coast of the Shandong Peninsula at last. Subei coastal current transported the *Enteromorpha* propagules to the area under suitable conditions, and it played an important role in the northward drift of *E. prolifera*. The northward expansion of the Changjiang diluted water could promote the growth and reproduction of *E. prolifera*. The ascertainment of the diffusion path and transport mechanism of *E. prolifera* has an important environmental significance, and also helps us understand the sediments and pollutants diffusion as well as the transport mechanisms in coasts and estuaries.

(本文编辑: 刘珊珊 李晓燕)