

文章编号:1000-0615(2009)03-0430-08

## 2008年中国浒苔灾害成因条件和过程推测

徐兆礼<sup>1</sup>, 叶属峰<sup>2</sup>, 徐韧<sup>2</sup>

- (1. 中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;  
2. 国家海洋局东海环境监测中心, 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室, 上海 200137)

**摘要:**依据经过收集和验证的东黄海海洋物理、海洋生物和海洋化学资料,对2008年黄海浒苔水华过程和条件进行海洋学分析。结果如下:近年来长江口大规模赤潮逐渐减少,5月起,东黄海20~25℃等温线逐渐移向长江口,其所包络的海域为浒苔生长的适温海域。长江口水域营养盐丰富,温盐环境条件良好。在此条件下,大量浒苔个体开始在长江口形成,随着长江冲淡水不断飘向东北方向的黄海南部,由于那里水面开阔,冲淡水水流逐步变缓,导致浒苔个体初步集群,形成规模较小的群体。浒苔群体继续孕育和发展,并在东南风和由南向北黄海表层流的作用下,分散而逐步飘向黄海中部。黄海表层流遇到山东半岛阻挡,表层流和沿岸流交汇在山东半岛沿海形成流隔,流隔所在水域正是浒苔在胶州湾外黄海大规模集结地。胶州湾形状呈袋状,浒苔入湾后更易聚集,使之成为整个山东半岛沿海最有利于浒苔集结的水域。这可能是浒苔在青岛沿海集结形成特大灾害的原因之一。

**关键词:**浒苔;赤潮;富营养化;长江口;黄海

**中图分类号:**X 145

**文献标识码:**A

2008年浒苔大规模爆发是中国沿海生态灾害史上的重大事件<sup>[1]</sup>。从此,除了赤潮以外,中国沿海又出现了另一类重大的海藻灾害——绿藻水华(green bloom)。2008年浒苔水华已经过去了,由于当时针对浒苔水华原因和孕育过程的调查没有及时全面展开,这给目前浒苔灾害爆发的成因分析带来一定的难度。

本次浒苔水华种源以浒苔 [*Enteromorpha prolifera* (Müller) Agardh] 为主。该种属于绿藻门(Chlorophyta)石莼科(Ulvaceae)浒苔属(*Enteromorpha*)的底栖绿藻,由于是多细胞绿藻物种,为了区别于单细胞的绿藻,俗称大型绿藻。目前国内关于大型绿藻水华的研究较少,国外曾有一些报道,如Kamer等<sup>[2]</sup>描述了南加利福尼亚河口大型绿藻肠浒苔(*Enteromorpha intestinalis*)的水华过程;Valiela等<sup>[3]</sup>认为,大型绿藻水华主要发生在河口、浅海等水域;McGlathery<sup>[4]</sup>观察到大型绿藻水华使沿海营养水平显著降低,并研究了

限制大型藻类水华的营养要素<sup>[5]</sup>。总之,大型绿藻水华已日益引起人们的关注<sup>[6]</sup>。

结合东、黄海海洋学和生态学的研究资料,本文对2008年浒苔水华的成因和环境条件进行了初步分析。这一研究对今后中国沿海浒苔灾害研究计划重点的确定、相关政府海洋管理政策和策略的形成,具有一定的科学和实践意义。

### 1 浒苔水华的基本生物学和生态学条件

#### 1.1 浒苔的自然地理分布

浒苔类大型绿藻一般营固着生活,生长在潮间带岩石上,养殖的网箱上等<sup>[7]</sup>。在外海也可以漂浮生活,但在漂浮过程中,其很大一部分生活在水面以下。尽管浒苔在中国沿海均有分布,但浒苔主要是浙江沿海优势种,产于长江口海域的海礁、嵊山、杭州湾、普陀山、象山港和三门湾等。其中浙江奉化沿海和象山港是我国浒苔数量自然分布最集中的水域<sup>[8]</sup>。

收稿日期:2008-10-22

修回日期:2009-03-09

资助项目:国家自然科学基金重大研究计划(90511005)

通讯作者:徐兆礼, Tel: 021-65680798, Fax: 021-65686991, E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

### 1.2 浒苔的生态适应特征

浒苔可以在很广泛的温盐度条件下生长(表1)。但最适温度是20~25℃<sup>[9-10]</sup>。

### 1.3 东黄海水温分布特征

水温对浒苔水华有重要的影响,其中最适温度是20~25℃,因此,东、黄海20℃和25℃等温线之间的水域反映了浒苔水华发生以前孕育的水域。图1是2007年东、黄海20℃和25℃等温线移动的时间和季节<sup>[11]</sup>。

### 1.4 东黄海营养盐分布

王保栋等<sup>[12]</sup>曾对黄海营养盐分布进行分析。他发现,在春、夏季的黄海中、北部(34~37°N),远岸海域存在黄海冷水团,强大的温度和密度的跃层,阻止了水体的垂直交换,因此,黄海这一水域的上层水体(真光层)中由于浮游植物的摄取使硝酸盐含量极低,一般小于0.5 μmol/dm<sup>3</sup>。但是,受长江冲淡水影响,黄海南部水域硝酸盐含量较高,部分海域大于6 μmol/dm<sup>3</sup>,最高达到14 μmol/dm<sup>3</sup>。高生泉等<sup>[13]</sup>对此予以证实,并发现,长江口海域硝酸盐含量大都超过14 μmol/dm<sup>3</sup>,属于富营养的海域,而黄海中部是贫营养区。上述事实又为东海环境监测中心2008年6-7月对黄海营养盐现场调查结果所证实,也与黄海冷水团温跃层性质,黄海缺乏大河径流流入等表象一致。

### 1.5 长江口赤潮爆发的趋势

根据国家海洋局一年一度的中国海洋环境质量公报,2005年以来,长江口海域大规模赤潮发生的次数和面积正在减少(表2)<sup>[14-16]</sup>。2005年还有7 000 km<sup>2</sup> 特大规模的赤潮发生,但是,2006年发生在长江口海域的大规模赤潮仅有两次,面积加起来也只有2 000 km<sup>2</sup>。到了2007年,没有

1 000 km<sup>2</sup> 以上大规模赤潮发生<sup>[16]</sup>。

### 1.6 东黄海赤潮规模比较

表3是2005年发生在我国东、黄、渤海1 000 km<sup>2</sup> 以上大型赤潮事件<sup>[14]</sup>。从表3可见,黄海没有发生大规模赤潮的记录。大规模赤潮爆发,无论次数还是累计面积都是以长江口赤潮为主。

### 1.7 东黄海海流流向和季风条件分析

表层流的流向决定海洋中浒苔漂流方向,由于夏季东黄海盛行东南季风,在东南季风影响下,黄海表层海流基本上是由南向北流动,而在黄海沿岸外侧海域,是由东南向西北方向流动<sup>[17]</sup>。这一点已经得到梁兼霞等<sup>[17]</sup>的研究结果证实(图2),其计算结果显示,夏季黄海表层水由南向北以0.05 m/s流向山东半岛沿海。图2是该研究结果中,夏季黄海表层流流场方向示意图。本次浒苔最早在南黄海发现,而后才在黄海中部发现,也说明有南向北的黄海表层流存在。另外,黄海沿岸还存在黄海沿岸流。黄海沿岸海流流向,在苏北沿岸,终年是由北向南流动,在山东半岛沿岸,则是由东向西流动。

### 1.8 2008年黄海浒苔水华的背景资料

2008年黄海浒苔水华最早出现在5月12日至15日,早期发现浒苔地点位于黄海南部122°~122°30'E、33°N水域。依据黄海水产研究所<sup>[18]</sup>北斗号在6月9日到16日对青岛以南黄海海域的调查,在黄海120°30'~122°00'E、33°30'~36°00'N范围海域发现大量浒苔。6月下旬大规模浒苔水华开始在山东半岛外海,特别是胶州湾外海域大量出现,并影响青岛海域。同时波及盐城、连云港、日照、乳山、荣成、烟台等江苏北部和山东半岛沿海水域。估计水华总生物量达到数百万吨。

表1 浒苔生长和孢子释放的适应范围、最适范围以及峰值点的比较

Tab.1 Comparison of suitable and optimum conditions between growth and spores release

生态因子 ecological factors	适应范围 tolerance range		最适范围 optimum range		峰值点 peak point	
	生长 growth	孢子释放 spore release	生长 growth	孢子释放 spore release	生长 growth	孢子释放 spore release
盐度 salinity	16~40	12~40	24~28	28~40	24	32
温度(℃) temperature	10~30	15~35	20~25	20~35	25	35
光照[μmol/(m <sup>2</sup> ·s)] light	>9	>9	>18	>18	72	144
pH	6~10	6~10	8~9	8~9	8	9

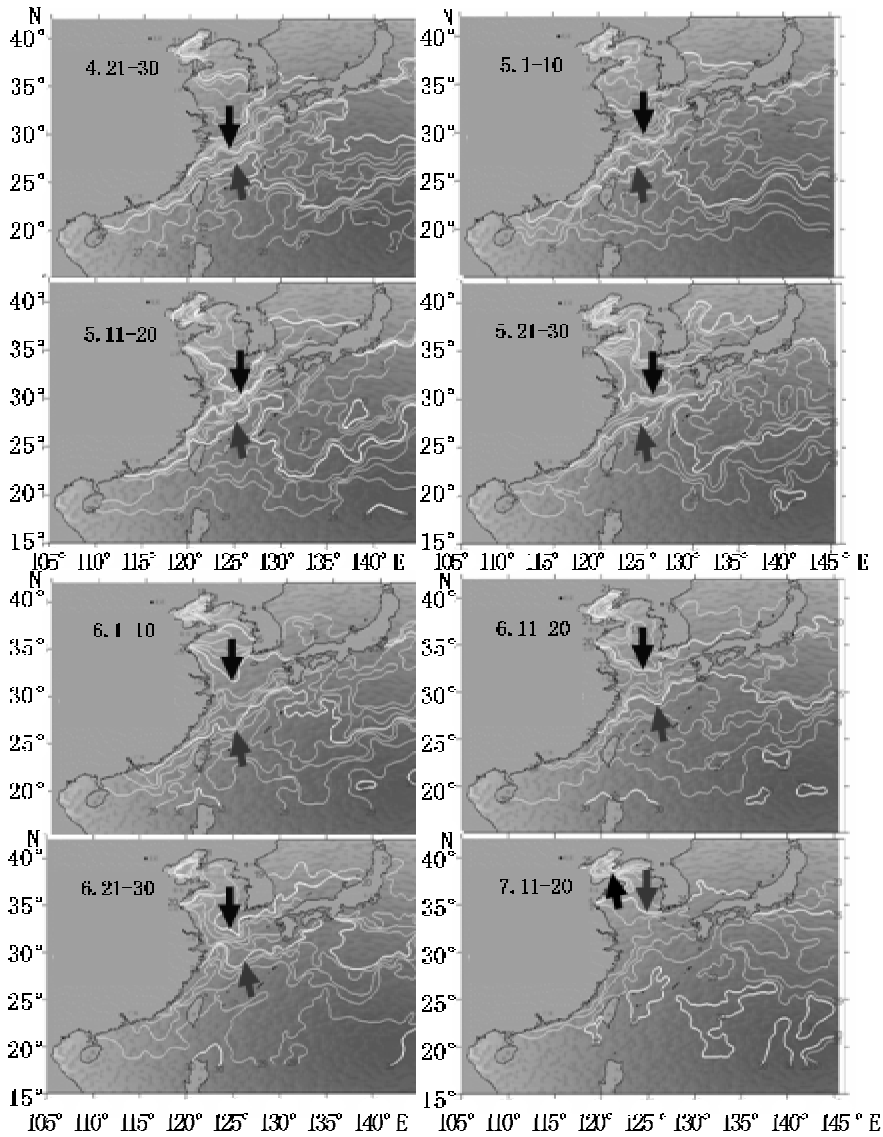


图1 2008年6月上旬到7月中旬水温变化<sup>[11]</sup>

图中黑箭指向20℃等温线,灰箭指向25℃等温线

Fig.1 Variation of sea surface temperature from June to July 2008<sup>[11]</sup>

The black arrow points to 20 °C isotherm and grey arrow points to 25 °C isotherm

表2 2005年和2006年东海1 000 km<sup>2</sup>以上赤潮爆发记录

Tab.2 Records of red tides with area >1 000 km<sup>2</sup> in the East China Sea during 2005 and 2006

2005年 year		2006年 year	
地点 location	面积(km <sup>2</sup> ) area	地点 location	面积(km <sup>2</sup> ) area
浙江中南部	3 000	浙江舟山外海	1 000
长江口外海	7 000	长江口外海	1 000
浙江桃花岛附近	2 000	渔山列岛附近	3 000
长江口外	2 120	浙江南部海域	2 100
嵎山附近	1 300	渔山列岛、象山	1 000
南韭山列岛海域	2 000	浙江中部渔山列岛	1 200

表 3 2005 年我国海域发生的大面积赤潮

Tab. 3 Records of red tides with area >1 000 km<sup>2</sup> in the China sea during 2005

起止时间 time	地点 location	面积(km <sup>2</sup> ) area	赤潮种 red tide-producing species
4月1日	浙江中南部海域	3 000	中肋骨条藻
5月24日-6月1日	长江口外海域	7 000	中肋骨条藻、海链藻
6月2-10日	渤海湾、天津至滨州	3 000	裸甲藻、米氏凯伦藻
6月3-5日	长江口外海域	2 000	具齿原甲藻、米氏凯伦藻
6月8日	长江口外	2 120	中肋骨条藻
6月8-11日	长江口外海域	1 300	具齿原甲藻、米氏凯伦藻
6月10-13日	南韭山列岛海域	2 000	具齿原甲藻、米氏凯伦藻
6月16-18日	辽宁营口近海	2 000	夜光藻
9月23-27日	海州湾海域	1 000	中肋骨条藻

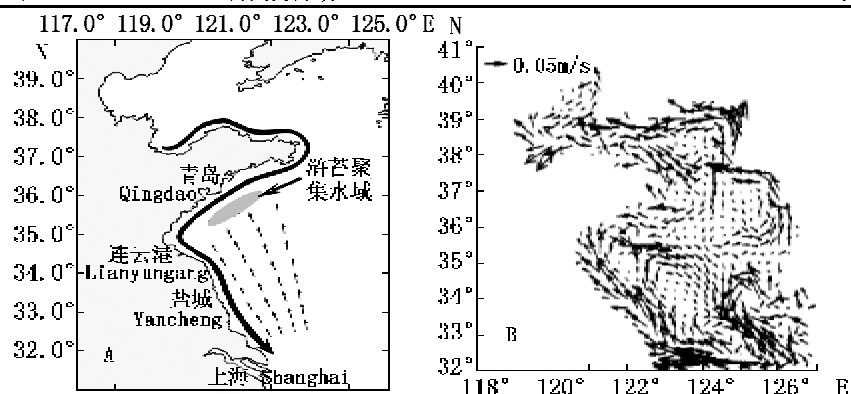


图 2 夏季黄渤海表层流漂流流向计算结果示意

Fig. 2 Surface wind-induced current in the Bohai and Yellow Sea during summer

## 2 2008 年中国黄海浒苔水华成因分析

目前普遍认为,2008 年浒苔水华生物量巨大,因此,首先对于浒苔水华形成条件进行归纳较为重要。类比赤潮爆发和国外的相关研究<sup>[19-20]</sup>结果,在浒苔水华形成中,成灾生物种源,丰富的营养盐,适宜的温、盐条件,种间竞争相对平稳,海流的输送等都是必不可少的条件。因此,推测浒苔水华和孕育水域的条件,需要从以下 5 个方面进行分析和论证。

### 2.1 绿藻水华生物种源分析

本次浒苔水华,种源以浒苔为主。从表 1 可知,该种浒苔的快速生长温度为 20~25℃,是暖水种<sup>[10]</sup>,长江口及其邻近水域应该是其主要分布区,其次是江苏中部和北部沿海。由于江苏中部和北部沿海水域属于暖温带,水温较低,浒苔生长期较短,是我国浒苔生长的次要水域。无论如何,单从上述浒苔地理分布特征尚不足以确定 2008 年浒苔水华种群来源。但是有一点可以肯定,即从自然地理分布和温度适应特征而言,浒苔水华

源地出自东海北部及江苏南部沿海可能性较大,其次是江苏中部和北部沿海。

### 2.2 绿藻水华营养物质基础和来源

浒苔水华类似于赤潮爆发,是水域富营养化的结果<sup>[20-21]</sup>。本次浒苔水华,总数量估计达到数百万吨。如此巨大生物数量产生,浒苔水华的孕育水域应该蕴含巨大营养物质<sup>[22]</sup>。从山东半岛到浙江沿海,这一片水域中拥有巨大物质来源的只能是长江口及其邻近水域,从长江口赤潮发生规模和次数远远大于黄海赤潮就可以证明这一点(表 3)<sup>[14-16]</sup>。本研究 1.4 已经详细分析,整个黄海中部是贫营养区,表层水域营养物质极端贫乏。这是由黄海冷水团和黄海入海径流数量等因素决定的,也为东海环境监测中心调查事实证明。因此很难想象,可以由一个贫营养区孕育出数百万吨的浒苔,进而形成浒苔水华这样的生态灾害。研究证实,无论是绿藻水华还是赤潮爆发,都发生在富营养化水域,贫营养环境不可能孕育并产生藻类水华这样的灾害<sup>[23-24]</sup>。2008 年在山东半岛发现大片浒苔,推测原因只有一个,那就是飘过去

的。从何方飘过去,还要从富营养化海域寻找浒苔孕育的源地。从营养基础而言,浒苔水华源地出自东海北部及江苏南部沿海可能性较大,其次是江苏中部和北部沿海。

### 2.3 快速生长的温度条件

浒苔水华需要一定的温度条件<sup>[2]</sup>,浒苔的最适生长温度是20~25℃。从图1可见,4月下旬15℃等温线在长江口以南,因而长江口以北海域不是合适于浒苔生长的海域,5月上旬起,长江口处于16~18℃范围(图1),只要营养盐和光照合适,浒苔能够较快生长。5月12-14日,浒苔初次发生位置在水温17℃范围,即开始初步具备浒苔快速生长温度条件的水域。因此,这一时期的浒苔水华,首先有可能在温度适宜而营养丰富的长江口水域里孕育和发展,形成群体后随着长江冲淡水飘向东北方向的黄海南部。在5月,长江冲淡水已经转向东北,并与外海水交汇在长江口东北形成锋面。在黄海南部,冲淡水水流减缓处,浒苔逐渐富集成团。冲淡水水流减缓处的这一水域正是5月12日通过遥感首次观察到浒苔富集成团的水域。浒苔生长最适温度20~25℃,因此,跟踪东黄海20℃等温线北移,可以显示出浒苔群体生长和移动的方向。而25℃等温线北移,则可以显示浒苔快速生长开始减弱的方向。20~25℃等温线包络的海域是浒苔快速成长的海域。因此,可以从等温线移动和浒苔生长温度条件推测,这次水华的浒苔种群于2008年5月上旬开始在长江口快速生长,7月中旬后停止快速生长。

### 2.4 赤潮对浒苔发展的影响

长江口海洋环境在春夏之交完全具备符合浒苔大规模水华发生的要素,例如种源、营养盐和温度等,然而中国沿海浒苔长久没有爆发过,在2008年首次大规模爆发的确可能与赤潮减少有关。

在生物学上,赤潮生物是单细胞生物,单细胞藻类细胞小,表面积大,所以吸收养分快,一旦有合适的条件,会快速增殖。相比之下,多细胞藻类增殖速度要比单细胞的赤潮生物慢。赤潮爆发,往往吸收水体中的大量营养盐,因而营养盐成为了大型底栖藻类生长的限制因子<sup>[25]</sup>。氮是最容易成为限制大型藻类的生长营养要素<sup>[26-27]</sup>。同时,赤潮的发生,将使长江口海洋生物大面积死亡,包括浒苔的配子、游孢子和营养体<sup>[28]</sup>。因此

在以往长江口大规模赤潮爆发的背景下,浒苔水华是很少发生的。也就是说,往往还没等到浒苔的快速生长阶段,长江口赤潮就可能先行发生。近年长江口赤潮规模和次数逐年减少(表2),2007年长江口春季已经没有了大规模赤潮,仅发生一次1000 km<sup>2</sup>以上大规模赤潮,而且还是在秋季。长江口春季大规模赤潮减少的同时,却伴随着2007年起浒苔水华规模逐年增长。这两个海洋事件显然不是孤立的。大规模赤潮发生,使营养盐数量降低,进而抑制大规模浒苔水华。赤潮发生减少<sup>[29]</sup>,很可能是2008年浒苔水华的一个重要的海洋学前提。这一事实,多多少少可以联想黄海浒苔水华的原因,很可能与遥远的长江口发生海洋学现象有某种必然的联系。这也是2008年浒苔水华与浒苔种群在长江口孕育有密切联系的证据。

### 2.5 海流在浒苔扩散过程中的作用

随着长江流域雨季来临,长江径流增强,在东南季风和台湾暖流的作用下,长江径流拐向东北方向<sup>[30]</sup>,并将长江口生长中浒苔个体或群体向东北方的南黄海输送。冲淡水和外海水交汇,并在长江口东北的南黄海形成锋面。水流减缓,浒苔得以聚集成群体。在东南风作用下,黄海表层水由南向北(图2)流动,将浒苔群体经黄海南部-中部-向山东半岛沿岸输送。可见,东南季风在浒苔输送中也具有重要的作用。依据当时报道<sup>[31]</sup>和黄海水产研究所调查的结果,浒苔群体先在黄海中部聚集,然后由南向北飘向山东半岛沿海,这一事实足以证明黄海表层存在由南向北的表层流。由于山东半岛地形的阻挡,浒苔群体分别被阻挡在山东半岛沿岸。山东半岛沿岸盛行由东向西的沿岸流,浒苔群体可能在半岛外海域继续西行。这次浒苔水华中,位于山东半岛西部的青岛受灾特别严重,或许与此有关。此外,在江苏沿海的黄海海域存在由北向南的沿岸流。如果江苏沿岸是浒苔发源地,所形成浒苔小型群体漂流方向,应该是向南而不是向东,这主要是受到向南黄海沿岸流携带的结果。江苏中部和北部作为浒苔灾害的发源地,无论在海流,还是海洋生源要素科学上都难以得到较为合理的解释。在整个东黄海,出现较为强大,而且由西向东,能够将浒苔群体从沿海向外海输送的海流,非长江冲淡水莫属。

综上所述,长江口受冲淡水影响的水域可能

是浒苔水华前孕育的重要发源地。长江口和南黄海 33°N 以南的海区可能是浒苔主要生长区,其他水域只是浒苔在东南风影响下漂移经过的水域。

### 3 2008 年浒苔水华过程推测

依据东黄海海流、海洋生物和海洋生源要素科学特征,经过海洋学分析,试对 2008 年黄海浒苔水华过程作出如下推测:由于近年来长江口赤潮逐渐减少,5 月起,东、黄海 20~25℃ 等温线逐渐移向长江口,其所包络的海域为浒苔生长的适温海域。在长江口丰富的营养,良好的温、盐环境下,浒苔个体在长江口形成,随着长江冲淡水飘向东北方向的黄海南部,由于水面开阔,冲淡水水流逐步变缓,导致浒苔个体初步成群。规模较小的浒苔群体在那里孕育和发展,并在东南风所形成黄海表层流的作用下,分散而逐步飘向黄海中部。黄海表层流由南向北运动遇到山东半岛阻挡,形成浒苔在山东半岛沿海聚集。黄海表层流遇到山东半岛阻挡、表层流和沿岸流交汇还在山东半岛沿海形成流隔,流隔所在水域正是浒苔在胶州湾外黄海大规模集结地。胶州湾地形呈袋状,浒苔入湾后更易聚集,使之成为整个山东半岛沿海最有利于浒苔集结的水域。这可能是浒苔在青岛沿海集结形成特大海洋灾害的原因之一。

高倩、马增龄、李云、周进和陈佳杰等同志在收集资料方面等做了部分工作。谨致谢忱。特别感谢沈晓民和高倩在论文构思中提供了非常有益的建议

#### 参考文献:

- [1] 柳凤林. 国家海洋局紧急部署应对黄海漂浮浒苔 [N]. 中国海洋报, 2008-06-27(1).
- [2] Kamer K, Boyle K A, Fong P. Macroalgal bloom dynamics in a highly eutrophic southern California Estuary [J]. Estuaries, 2001, 24:623-635.
- [3] Valiela I, Moelelland J, Hauxwell J, et al. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences [J]. Limnol Oceanogr, 1997, 42:1105-1118.
- [4] McGlathery K J. Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters [J]. Journal of Phycology, 2001, 37: 453-456.
- [5] McGlathery K J, Howarth R W, Marino R. Nutrient limitation of the macroalga, *Penicillus capitatus*, associated with subtropical seagrass meadows in Bermuda [J]. Estuaries, 1992, 15: 18-25.
- [6] Schaffelke B, Smith J E, Hewitt C L. Introduced macroalgae—a growing concern [J]. J Appl Phycol, 2006, 18: 529-541.
- [7] Dan A, Hiraoka M, Ohno M, et al. Observations on the effect of salinity and photon fluence rate on the induction of sporulation and rhizoid formation in the green alga *Enteromorpha prolifera* (Müller) J. Agardh (Chlorophyta: Ulvales) [J]. Fisheries Science, 2002, 68: 1182-1188.
- [8] 曾呈奎, 张德瑞, 张峻甫. 中国经济海藻志 [M]. 北京: 科学出版社, 1962: 43-50.
- [9] 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋, 等. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生长及孢子释放的生态因子研究 [J]. 海洋通报, 2007, 26: 60-65.
- [10] 吴洪喜, 徐爱光, 吴美宁. 浒苔实验生态的初步研究 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2000, 19:230-234.
- [11] 国家海洋预报台. 海面水温实况图 [R]. 国家海洋环境预报中心网站, 2008. <http://dell1500sc.nmefc.gov.cn/sk/skhw.asp>.
- [12] 王保栋, 王桂云, 郑昌洙, 等. 南黄海营养盐的平面分布及横向输运 [J]. 海洋学报, 1999, 21(6): 124-129.
- [13] 高生泉, 林以安, 金明明, 等. 春、秋季东、黄海营养盐的分布变化特征及营养结构 [J]. 东海海洋, 2004, 22(4):38-50.
- [14] 国家海洋局. 2005 年中国海洋环境质量公报 [R]. 国家海洋局公报室出版, 2006,01.
- [15] 国家海洋局. 2006 年中国海洋环境质量公报 [R]. 国家海洋局公报室出版, 2007,01.
- [16] 国家海洋局. 2008 年中国海洋环境质量公报 [R]. 国家海洋局公报室出版, 2008,01.
- [17] 梁兼霞, 庞重光, 白学志. 夏季南黄海风漂流的不同计算方法的对比如分析 [J]. 海洋科学, 2005, 29(9): 60-75.
- [18] Ye N, Zhuang Z, Jin X, et al. China is on the track tackling *Enteromorpha* spp. forming green tide [R]. Available from Nature Proceedings <<http://hdl.handle.net/10101/npre>>. 2008. 2352. 1 > (2008).
- [19] Fong P, Zedler J B. Temperature and light effects on the seasonal succession of algal communities in shallow coastal lagoons [J]. J Exp Mar Biol Ecol,

- 1993, 171: 259 – 272.
- [20] Blomster J, Bäck S, Fewer D P, *et al.* Novel morphology in *Enteromorpha* (Ulvophyceae) forming green tides [J]. *American Journal of Botany*, 2002, 89: 1756 – 1763.
- [21] Vinares R, Carballeira A. Nutrient limitation in macroalgae (*Ulva* and *Enteromorpha*) from the Rías Baixas (NW Spain) [J]. *Marine Ecology*, 2004, 25(3): 225 – 243.
- [22] Martins I, Pardal M Â, Lillebø A I, *et al.* Hydrodynamics as a major factor controlling the occurrence of green macroalgal blooms in a eutrophic estuary: a case study on the influence of precipitation and river management [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, 52: 165 – 177.
- [23] Fong P, Zedler J B. Nitrogen versus phosphorous limitation of algal biomass in shallow coastal lagoons[J]. *Limnol Oceanogr*, 1993, 38: 906 – 923.
- [24] Lapointe B E, Barile P J, Littler M M, *et al.* Macroalgal bloom on southeast Florida coral reefs II. Cross-shelf discrimination of nitrogen sources indicates widespread assimilation of sewage nitrogen [J]. *Harmful Algae*, 2005, 4: 1106 – 1122.
- [25] Hernandez I, Peralta G, Perez-Llorens J L, *et al.* Biomass and dynamics of growth of *Ulva* species in Palmones River Estuary [J]. *J Phycol*, 1997, 33: 764 – 772.
- [26] Ward S, Harrison P L. The effects of elevated nutrient levels on settlement of coral larvae during the Encore experiment, Great Barrier Reef, Australia [C]. *Proceedings of the Eighth International Coral Reef Symposium*, Panama, Smithsonian Tropical Research Institute, 1996: 891 – 896.
- [27] Fujita R M. The role nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1985, 92: 283 – 301.
- [28] Nan C, Zhang H, Lin S, *et al.* Allelopathic effects of *Ulva lactuca* on selected species of harmful bloom-forming microalgae in laboratory cultures [J]. *Aquatic Botany*, 2008, 89: 9 – 15.
- [29] Wang Y, Yu Z, Song X, *et al.* Effects of macroalgae *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) on growth of four species of bloom-forming dinoflagellates [J]. *Aquatic Botany*, 2007, 86: 139 – 147.
- [30] Beardsley R C, Limeburner R, Yu H. Discharging of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 1985, 4(1/2): 57 – 76.
- [31] 闵 好. 浒苔覆盖 400 平方公里 [N]. *青岛早报*, 2008 – 06 – 30(4).

## Possible conditions and process of the massive blooms of *Enteromorpha prolifera* in China during 2008

XU Zhao-li<sup>1</sup>, YE Shu-feng<sup>2</sup>, XU Ren<sup>2</sup>

(1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090 China;

2. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technologies for Marine Harmful Algal Blooms, East Sea Environment Monitoring Center State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)

**Abstract:** Based on the cited hydrographical data from the East China and Yellow Sea, the blooming process and required conditions of *Enteromorpha prolifera* were studied. The results indicated that the frequency of red tides was decreased significantly in the Changjiang Estuary (CE) during recent years. In May, 2008, *E. prolifera* gradually developed in the CE, since there were abundant nutrients and favorable ecological environment such as optimum temperature (20 – 25 °C) in the CE. Subsequently, the population was carried from the CE north-eastward to the southern Yellow Sea by the Changjiang Diluted Water (CDW). The flow of CDW slowed down in the southern Yellow Sea, and the population of *E. prolifera* aggregated there. Then small-scale *E. prolifera* populations were developed in the southern Yellow Sea. Thereafter, the populations were dispersed and carried to central Yellow Sea due to the effect of sea surface current. In the Yellow Sea, the surface current runs northward, but in the process of movement, it was hindered by the Shandong Peninsula, forming *E. prolifera* aggregation further. Then current rip formed between the surface current and the Yellow Sea Coastal Water. Consequently, *E. prolifera* was bloomed in waters off Shandong Peninsula. Moreover, the outline of the Jiaozhou Bay is concave. All these were beneficial to the aggregation of *E. prolifera* in the bay. Therefore, *E. prolifera* was massively bloomed in Jiaozhou Bay. That's why the *E. prolifera* was aggregated and bloomed in the waters off Qingdao in the year 2008.

**Key words:** *Enteromorpha prolifera*; red tide; eutrophication; Changjiang Estuary; Yellow Sea