

# 南黄海绿潮暴发与紫菜养殖的关系

刘材材<sup>1,2</sup>, 徐 韧<sup>1,2</sup>, 何培民<sup>3</sup>, 张正龙<sup>1,2</sup>, 秦玉涛<sup>1,2</sup>, 项凌云<sup>1,2</sup>, 邓邦平<sup>1,2</sup>,  
刘守海<sup>1,2</sup>, 季 晓<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局 东海环境监测中心, 上海 200137; 2. 国家海洋局 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用重点实验室, 上海 200137; 3. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 采用现场调查、社会调查和卫星遥感多种手段相结合, 调查了南黄海绿潮早期零星漂浮到大面积暴发的时空变化过程, 分析了紫菜养殖工艺对绿潮暴发的影响, 估算了南黄海不同紫菜养殖区输入海洋的绿潮藻初始生物量, 并探讨了主要海域紫菜养殖面积的增长与绿潮暴发的关系。结果表明, 受紫菜养殖生产工艺的影响, 数以千吨的绿潮藻在短期内被刮落集中输入至海洋, 为绿潮的暴发提供了最为直接和充足的绿潮藻初始生物量, 其主要来源为竹根沙、蒋家沙和东沙紫菜养殖区。2005 年以来, 上述 3 个养殖区的紫菜养殖面积持续扩大, 是 2007 年以来南黄海绿潮持续暴发的主要原因。水温是影响绿潮形成的关键环境因素, 4~6 月份大量被刮落入海的绿潮藻在适宜环境条件下漂浮和快速生长, 并最终形成绿潮。

**关键词:** 南黄海; 绿潮; 紫菜养殖

中图分类号: X43 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2017)02-0035-09

DOI: 10.11759/hyxx20141122001

绿潮是世界沿海各国普遍发生的海洋异常生态现象, 多以石莼属和浒苔属绿藻种类脱离固着基形成漂浮增殖群体所致<sup>[1]</sup>。大量报道显示, 20 世纪 70 年代初法国布列塔尼沿海发生大规模绿潮现象, 之后发生范围遍及欧洲、美洲和亚洲多个沿海国家, 已逐渐成为世界性的海洋生态问题<sup>[2-10]</sup>。2007 年以来, 绿潮(Green tide)已连续 8 年在我国黄海大规模暴发, 已成为该海域主要海洋生态灾害之一<sup>[11]</sup>。在我国黄海, 绿潮主要由浒苔(*Ulva prolifera*)引起。绿潮暴发, 大量藻体漂浮聚集, 破坏海洋生态系统, 严重威胁沿海旅游、渔业和养殖业的发展<sup>[12-16]</sup>。历次绿潮均给沿岸省、市带来严重的经济损失, 引起国内、外广泛关注。据不完全统计, 2008 至 2013 年由于绿潮造成的直接经济损失达 20 多亿元。

到目前为止, 对南黄海绿潮已开展了大量研究, 但对于暴发的源头仍存在较大争议<sup>[13, 17-25]</sup>。但目前普遍都认为来源于南黄海海域, 卫星图像显示漂浮绿潮在江苏近海形成, 在季风和海流的影响下漂向北黄海海域<sup>[26-28]</sup>, 拉格朗日粒子追踪法反向积分结果也显示, 绿潮主要来源于黄海南部海域<sup>[29]</sup>。国家海洋局东海环境监测中心多年的监测结果也表明, 2009 年以来, 历年最早发现漂浮绿潮藻的区域集中在江苏如东-腰沙近岸海域, 卫星遥感监测显示, 每

年首次发现大面积绿潮的区域集中在滨海附近海域。本文采用现场调查、卫星遥感和社会调查等手段相结合, 对南黄海绿潮和紫菜养殖区进行了调查研究, 深入分析了紫菜养殖对绿潮暴发的影响, 并提出了相应的对策建议, 以期今后有效防控绿潮灾害提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查区域和站位布 设

现场调查区域南起江苏启东(31°58'48.8"N, 122°00'02.5"E), 北至江苏滨海附近海域(34°18'00"N, 120°18'18.0"E)。其中海上调查共设置 4 条断面, 18 个站位, 分别为如东、大丰、射阳和滨海断面。紫菜

收稿日期: 2016-07-22; 修回日期: 2016-09-01

基金项目: 2013 年海洋环保专项; 国家海洋局重点实验室开放研究基金(MATHAB201402); 海洋公益性行业科研专项经费(201205010-06); 东海分局青年海洋科技基金项目(201302)

[Foundation: 2013 marine environmental protection special fund; open on the State Oceanic Administration, No.MATHAB201402; Key Laboratory of marine public welfare industry research special funds, No.201205010-06; East China Sea marine science and technology branch of Youth Fund Project, No.201302]

作者简介: 刘材材(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事海洋生态环境监测与评价, E-mail: liucaicai@eastsea.gov.cn

养殖区包括南黄海 6 个主要养殖区, 分别为启东近岸(QD-A)、腰沙(YS-A)、如东近岸(RD-A)、竹根沙(ZGS-A)、蒋家沙(JJS-A)和东沙紫菜养殖区(DS-A)。根据养殖区规模和面积共设置调查站位 10 个, 其中 QD-A 和 YS-A 各设置站位 1 个, 其他养殖区各设置站位 2 个。

绿潮卫星遥感监测范围根据影像资料和天气状况, 尽量覆盖南黄海海域。紫菜养殖区卫星遥感解译范围覆盖东沙、竹根沙和蒋家沙紫菜养殖区。

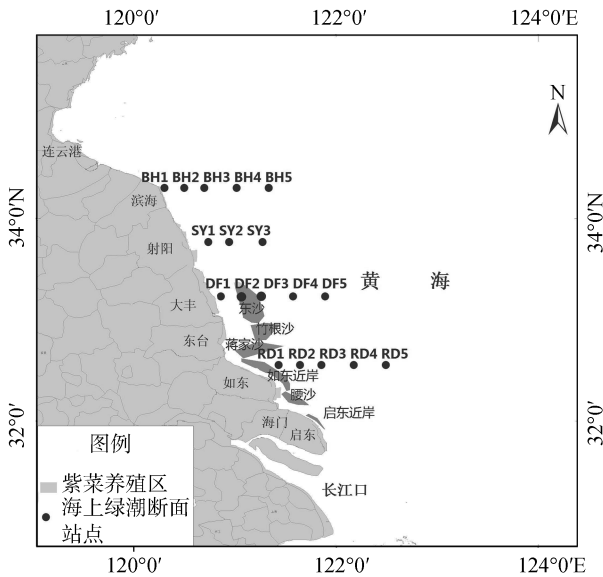


图 1 调查站位示意图

Fig. 1 Sampling stations in the South Yellow Sea

表 1 卫星遥感影像资料使用情况

Tab. 1 Usage of satellite remote sensing image data

时间(年-月)	影像类型	卫星名称	使用影像数量(景)	空间分辨率(m)
1999-09~2000-04	可见光	TM	1	30
2000-09~2001-04	可见光	TM、中巴	3	30/19.5
2001-09~2002-04	可见光	ETM	3	30
2002-09~2003-04	可见光	ETM	2	30
2003-09~2004-04	可见光	TM、中巴	4	30/19.5
2004-09~2005-04	可见光	中巴、IRS	2	19.5/56
2005-09~2006-04	雷达	ERS-2	4	30
2006-09~2007-04	雷达	ERS-2	3	30
2007-09~2008-04	雷达	ERS-2	3	30
2008-09~2009-04	雷达、可见光	ERS-2、HJ-1A/1B	3+5	30
2009-09~2010-04	可见光	HJ-1A/1B	6	30
2010-09~2011-04	可见光	HJ-1A/1B	5	30
2011-09~2012-04	可见光	HJ-1A/1B	5	30
2012-09~2013-02	可见光	HJ-1A/1B	2	30

注: Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM), India Remote-Sensing Satellite (IRS), Europe Remote-Sensing Satellite 2 (ERS-2), 环境一号 A (HJ-1A), 环境一号 B (HJ-1B)。

## 1.2 调查内容

### 1.2.1 海上绿潮发生情况

海上现场调查绿潮发生情况, 绿潮藻的种类组成、藻体形态及表层水温; 卫星遥感监测绿潮分布范围、覆盖面积和分布面积。

### 1.2.2 紫菜养殖工艺

分别调查 6 个紫菜养殖区的养殖工艺, 掌握不同时间阶段的养殖工艺, 重点关注对绿潮藻的处理时间和处理方法。

### 1.2.3 紫菜养殖区绿潮藻

6 个紫菜养殖区养殖筏架(竹竿、缆绳和网帘)中绿潮藻的种类组成、生物量。

### 1.2.4 紫菜养殖面积

卫星遥感共收集了 1999~2013 年紫菜养殖阶段(9 月至次年 4 月)南黄海海域可见光、雷达卫星影像资料 38 景, 用于解译东沙、竹根沙和蒋家沙紫菜养殖区海域面积及分布情况(表 1); 调查了 2013 年启东近岸、腰沙、如东近岸、蒋家沙、竹根沙和东沙 6 个紫菜养殖区的养殖面积。

## 1.3 调查方法

### 1.3.1 绿潮藻样品分析方法

种的鉴定采用形态和分子生物学技术。分子检测样品经双蒸水漂洗后, 根据形态初步分类, 每类均选择 3 颗藻体进行 DNA 提取、ITS 和 5S rDNA 序列 PCR 扩增, 并进一步测序和比对分析, 以确定种名<sup>[30]</sup>。

### 1.3.2 绿潮卫星遥感解译

根据假彩色合成图像判别法和归一化植被指数判别法进行。假彩色合成图像判别法: 利用近红外、红光和绿光波段, 合成假彩色图像, 并进行适当的图像拉伸增强处理, 其中的绿潮信息表现出不同于背景水体特征的亮绿色色调, 自此基础上借助 MATLAB 7 软件实现绿潮信息的自动或人工交互提取。在利用 HJ-1A/1B 卫星影像资料时, 主要采用波段 3(630~690 nm)、波段 4(760~900 nm)和波段 1(430~520 nm)假彩色合成的方法。归一化植被指数判别法 (Normalized Difference Vegetation Index NDVI): 根据大型绿潮藻的近红外、可见光波段光谱特性差异, 提取其位置及其面积等空间分布信息。绿潮藻类的 NDVI 值通常为正值, 开阔水体则为负值。

### 1.3.3 紫菜养殖区面积卫星遥感解译

(1) 通过假彩色合成影像增强处理, 分析可见光卫星影像资料, 根据其色调、纹理和形态等特征, 识别紫菜养殖区筏架等的位置和范围。基本流程为卫星影像假彩色合成增强处理、辐射校正、几何校正、色调和纹理等特征分析、紫菜养殖区目视解译、多幅解译矢量图叠加综合、面积统计和专题成图; (2) 使用 NEST 4B-1.1 软件解译雷达影像。基本流程为辐射校正、滤波处理、几何校正、灰度和纹理特征分析、养殖区目视解译、多幅解译矢量图叠加综合、养殖区面积统计和专题成图。

## 1.4 调查时间和频率

海上现场调查: 2013 年 4 月 15~17 日、5 月 21~22 日各调查 1 次; 紫菜养殖区调查: 2013 年 4 月 13~14 日, 调查 1 次; 卫星遥感: 2013 年 4~5 月根据遥感影像资料收集情况分别开展绿潮分布情况的影响资料解译; 社会调查: 2012 年 12 月至 2013 年 6 月, 每月对各紫菜养殖区调查 1 次, 4 月下旬至 6 月上旬根据网帘、竹竿和缆绳回收次序, 连续跟踪调查。

## 2 结果与讨论

### 2.1 海上绿潮调查

绿潮发生过程从时间和区域分布的总体趋势可总结为: 4 月下旬~5 月下旬, 在南黄海南部的如东近岸逐步向大丰、滨海扩散, 分布面积由小范围零星分布逐步扩大为大范围大面积的绿潮。海上现场调查结果表明, 4 月下旬, 如东和大丰断面, 偶能观测到

少量零星漂浮绿潮藻, 种类鉴定结果为浒苔, 藻体有许多形态特征, 包括管状、丝状和褶皱状。仅在如东断面近岸 RD1 与 RD2 之间海域, 发现斑点状的绿潮藻, 呈小范围聚集分布, 有潜在聚集的倾向(图 2); 而在射阳与滨海断面未发现漂浮绿潮藻。同时期卫星遥感监测未发现漂浮绿潮。

2014 年 5 月下旬, 调查海域均发现有大量漂浮聚集的绿潮藻(图 3), 根据现场目测, 面积呈几百至几万平米不等, 藻体种类鉴定结果为浒苔。根据同时期遥感 HJ1B 影像解译显示, 5 月 19 日盐城市滨海县海域有浒苔绿潮分布, 其形态呈斑块状, 绿潮分布范围为(120°31'~120°44'E、34°16'~34°29'N), 覆盖面积 0.2 km<sup>2</sup>, 分布面积 5 km<sup>2</sup>; 5 月 22 日, 射阳以北海域和如东近岸海域有明显的绿潮分布, 其形态呈块状和条带状, 绿潮分布范围为(120°07'~121°05'E、33°55'~35°00'N)和(121°~121°20'E、32°32'~32°41'N); 覆盖面积 16 km<sup>2</sup>, 分布面积 1240 km<sup>2</sup>; 5 月 30 日, 江



图 2 2013 年 4 月如东海域发现的漂浮绿潮藻

Fig. 2 Floating green tide algae found in Ru Dong in April 2013

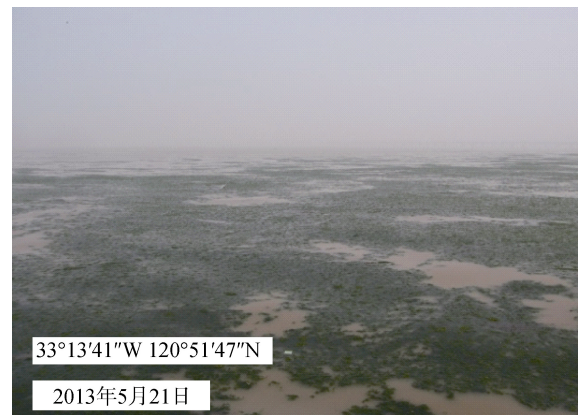


图 3 2013 年 5 月大丰海域发现的绿潮

Fig. 3 Green tide found in Da Feng in May 2013

苏滨海至山东日照海域发现有大量绿潮分布, 绿潮形态呈条带状和块状, 绿潮分布范围为(119°30′~121°58′E、33°56′~35°28′N), 覆盖面积 67.3 km<sup>2</sup>, 分布面积 3582 km<sup>2</sup>, 绿潮向北迁移扩散趋势(图 4)。

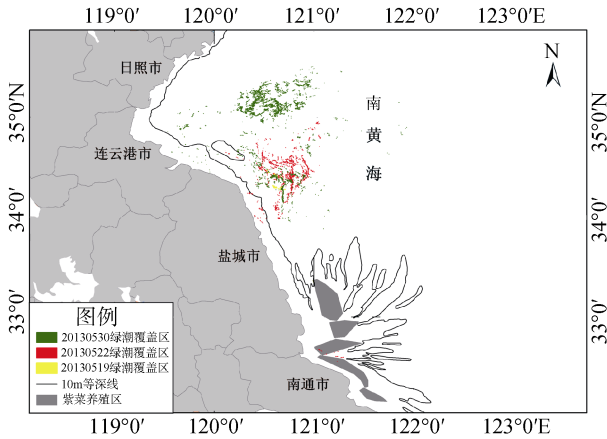


图 4 2013 年 5 月绿潮卫星遥感解译结果

Fig. 4 Results of satellite remote-sensing interpretation of the green tide in May 2013

在绿潮藻早期零星漂浮至大面积聚集过程中, 南黄海海域水温的上升起到了重要的作用。水温是影响绿潮生长和漂浮的重要因素, 也是绿潮暴发的重要环境条件。浒苔虽属广温性海藻, 但其最适生长温度为 15~25℃<sup>[31]</sup>。根据研究结果表明, 在水温 15~25℃, 条件下, 浒苔生长速率较高, 并随着水温的上升而上升, 最高生长速率达 29.57%<sup>[32]</sup>。同时, 藻体漂浮也是绿潮形成的条件。绿潮藻体只有在较高的光合作用速率下, 快速释放氧气充满中空的体腔而提高藻体的浮力, 使其漂浮在海水表层。实验结果表明, 水温和光照是影响藻体光合作用及漂浮的重要条件<sup>[32]</sup>。现场调查结果表明, 2013 年 4 月调查海域平均水温为 9.8℃, 如东、大丰、射阳和滨海断面表层平均水温分别为 10.5、9.4、9.4、9.6℃; 而 5 月份调查海域平均水温跃升至 16.9℃, 如东、大丰、射阳和滨海断面表层平均水温分别为 17.8、18.1、16.1、15.5℃。因此, 在适宜的环境条件下, 浒苔加快了生长速率, 致使生物量持续快速增加, 同时以漂浮状态形成绿潮。

绿潮藻通常生态幅较宽, 它们能够高效的利用光能, 并且对环境中的营养盐浓度较为敏感, 对营养盐吸收能力较强, 在水体环境富营养化的条件下, 能够迅速的吸收大量 N、P 等营养物质并始终保持较高的生长速率, 营养盐吸收速率是其他海藻的 4~6 倍, 具有非常高的竞争优势<sup>[13, 33~35]</sup>。现场调查

结果显示, 南黄海近岸无机氮平均含量为 0.5~1.0 mg/L, 活性磷酸盐平均含量为 0.010~0.003 2 mg/L, 海域整体处于富营养化。已有研究结果表明, 浒苔能够快速摄取高浓度营养盐并快速生长<sup>[36]</sup>, 并能有效利用 NH<sub>4</sub>-N 和 NO<sub>3</sub>-N<sup>[37]</sup>。因此, 南黄海近岸海域丰富的营养盐为绿潮藻的快速生长和绿潮的暴发提供了物质基础。

## 2.2 养殖工艺

南黄海紫菜品种为条斑紫菜, 养殖方式以半浮动筏式栽培为主, 网帘和缆绳都有一定的干露时间。调查显示海上养殖流程(不考虑育苗)大体分为设施准备(7~8 月)、出苗(9~11 月)、成菜与采收(12 月~次年 4 月)和收架(4~6 月)4 个阶段。其中, 设施准备和出苗阶段各紫菜养殖区基本一致, 而成菜与采收以及收架过程各养殖区略有不同。设施准备期主要进行网帘的清洁维护、筏架修理, 同时在滩涂上进行打桩, 布设缆绳。每年 9 月将网帘以 3~10 层重叠贴近水面挂于筏架上。每年 10 月中旬至 11 月上旬, 如网帘上发现绿潮藻, 则将网帘收回上岸, 置于 -20~-25℃ 条件下冷冻去除绿潮藻, 防止对紫菜的影响。冷冻后的网帘在 10 月下旬~11 月中旬下海张挂。

成菜与采收过程中, 启东、腰沙、如东近岸等规模较小、离岸近的养殖区, 为减少绿潮藻对紫菜生长的影响, 常采取人工剥离或刷酸等办法清除绿潮藻; 东沙、蒋家沙、竹根沙等规模大、离岸远的养殖区, 一般对绿潮藻不作处理。4 月底至 6 月初开始回收筏架, 回收次序依次为网帘、竹竿和缆绳。4 月底至 5 月初一般完成网帘回收, 5 月中上旬开始回收缆绳。回收过程中, 对竹竿和网帘不作任何处理, 直接拆除后运回岸上, 而对缆绳处置有所差异, 启东近岸紫菜养殖区由于缆绳上绿潮藻生物量较低, 一般不做处理, 其余 5 个紫菜养殖区采用拖拉机为动力将缆绳上绿潮藻刮除的办法来减轻缆绳重量, 刮落的绿潮藻直接留在滩涂上, 并最终进入海洋, 这也为绿潮的形成提供了大量初始生物量(图 3a)。

## 2.3 养殖区绿潮藻

2013 年 4 月, 各紫菜养殖区调查结果显示, 筏架上均有绿潮藻分布, 种类包括浒苔(*Ulva prolifera*)、缘管浒苔(*Ulva linza*)和曲浒苔(*Ulva flexuosa*), 其中浒苔为优势种。生物量分布区域分布上, 蒋家沙、竹根沙和东沙这 3 个紫菜养殖区要明显高于启东近岸、腰沙和如东近岸 3 个紫菜养殖区。附着位





(a) 拖拉机将缆绳上固着的绿潮藻刮落

(b) 缆绳上固着的绿潮藻

图5 紫菜筏架缆绳上固着绿潮藻被拖拉机刮落

Fig. 5 Green tide algae attached to the mooring lines were scraped by a tractor

表2 2013年4月紫菜养殖区绿潮藻调查结果

Tab. 2 The survey results of green tide algae in *Porphyra* culture areas in April 2013

紫菜养殖区	缆绳(g/m)		竹竿(g/m)		网帘(g/m <sup>2</sup> )	
	生物量	种类及百分比	生物量	种类及百分比	生物量	种类及百分比
启东	6.99	浒苔(83.21%) 曲浒苔(16.79%)	2.55	浒苔(24.07%) 曲浒苔(75.93%)	58.66	浒苔(12.22%) 曲浒苔(87.78%)
腰沙	0.11	浒苔(70.87%) 曲浒苔(29.13%)	2.16	浒苔(1.39%) 曲浒苔(98.61%)	0.51	缘管浒苔(100%)
如东近岸	23.73	浒苔(61.09%) 曲浒苔(38.91%)	2.72	浒苔(20.34%) 曲浒苔(79.66%)	6.03	浒苔(47.05%) 曲浒苔(52.95%)
蒋家沙	101.20	浒苔(88.56%) 曲浒苔(11.44%)	6.25	浒苔(79.63%) 曲浒苔(20.37%)	71.61	浒苔(59.43%) 曲浒苔(40.57%)
竹根沙	87.50	浒苔(28.96%) 曲浒苔(71.04%)	13.35	浒苔(0.54%) 曲浒苔(6.32%) 缘管浒苔(93.14%)	45.60	浒苔(16.07%) 曲浒苔(83.93%)
东沙	129.30	浒苔(62.76%) 曲浒苔(37.24%)	1.34	浒苔(24.36%) 缘管浒苔(75.64%)	—	—

置上, 缆绳中绿潮藻生物量要明显高于竹竿中。4月随着紫菜收割的结束和水温的上升, 网帘中绿潮藻生物量急剧上升。

根据养殖工艺分析结果, 除启东近岸紫菜养殖区外, 其余养殖区在筏架回收过程中均将缆绳中的绿潮藻进行刮除。这部分绿潮藻为绿潮的形成提供了初始生物量。根据现场对2013年各紫菜养殖区养殖面积社会调查结果显示, 启东近岸、腰沙、如东近岸、蒋家沙、竹根沙和东沙养殖区养殖面积分别约467、667、2667、2667、2333和4667 ha。同时根据各养殖区紫菜筏架中缆绳长度的测量, 估算出养殖区被刮除的绿潮藻生物量约为5300余吨, 浒苔为优势种, 约3330 t, 其来源主要为东沙、竹根沙和蒋家沙3个养殖区, 其生物量占总生物量的90%以上。

绿潮藻从附着基的剥离过程和紫菜养殖区潮汐

特征特点对于藻体的漂浮和快速生长具有重要的作用。根据研究表明, 附着状态的绿潮藻藻体受形态建成机制的控制, 在特定的时期内完成生活史, 以孢子或配子的形式释放到环境中, 随后藻体腐烂、消失。而随着藻体从附着基上的剥离后, 发生了空间转移, 剥离后藻体也不再受原有的形态建成机制控制, 改变了原有的生长、发育模式, 使生活史特征向生长方面倾斜, 进而引发漂浮绿潮藻的爆发性增殖<sup>[15]</sup>。同时, 紫菜养殖区海域属正规半日潮, 绿潮藻会有一定的干露时间, 这会增加藻体表面的疏水性, 使藻体趋向于聚集到水-气界面, 类似于油滴漂浮一样, 促使脱落藻体漂浮于海水表面<sup>[15, 38]</sup>。另有研究表明, 浒苔密集的分枝结构使其能够在大量进行营养生长的同时“捕捉”光合作用或海浪涌动所产生的小气泡, 从而漂浮起来以接触海面得到更高的光照强度。当

温度、光照强度等环境因子比较适宜时,管状藻体生长很快,其光合作用较强,光合速率较快,封闭的管道藻体很容易积气。随着光合作用越来越强,其藻体管道内气压越来越大,并形成气囊状<sup>[39]</sup>。因此,数千吨的固着绿潮藻在短时间内集中输入到海洋,并在适宜的环境条件下快速生长、漂浮,这为绿潮最终暴发提供了最直接和充足的初始生物量。大量绿潮藻在苏北沿岸流和夏季风的作用下,逐渐向北漂移形成绿潮<sup>[28]</sup>。

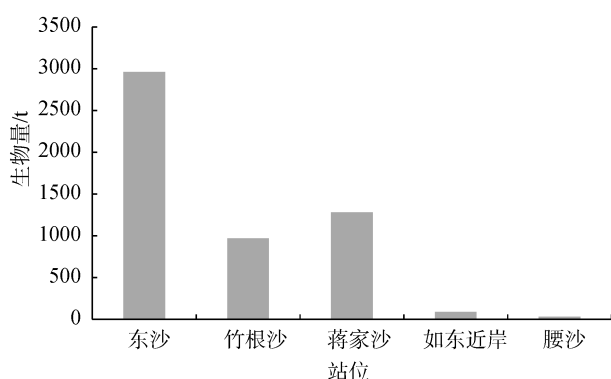


图 6 2013 年 4 月紫菜养殖区缆绳中绿潮藻生物量估算结果  
Fig. 6 Estimated biomass of green tide algae attached to the mooring lines in *Porphyra* cultivation areas in April 2013

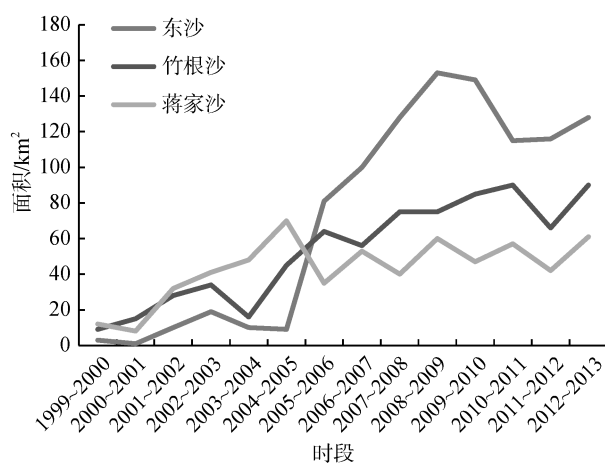


图 7 东沙、竹根沙和蒋家沙紫菜养殖区海域面积的变化趋势  
Fig. 7 The area variation of ZGS-A, JJS-A, and DS-A

## 2.4 养殖面积变化与绿潮暴发的关系

紫菜养殖在南黄海已有几十年历史,为何绿潮暴发仅仅从 2007 年以来才有报道。上述绿潮藻调查和生物量估算结果已经显示,东沙、竹根沙和蒋家沙紫菜养殖区对绿潮藻初始生物量的贡献率达 90%以

上。根据对目前南黄海重要紫菜养殖区(东沙、竹根沙和蒋家沙)近 14 年养殖面积遥感分析结果表明,2000 年之前该区域养殖规模非常小,养殖海域面积仅为 24 km<sup>2</sup>,至 2004 年逐步上升至 124 km<sup>2</sup>。2005 年之后,受日本取消紫菜进口“原产地为韩国”的限制<sup>[40]</sup>,该区域养殖面积呈直线上升趋势,2005 年达 180 km<sup>2</sup>,较上年增长近 50%,至 2008 年增长至 288 km<sup>2</sup>。从内部空间分布来看,蒋家沙为开发较早的区域,其次为竹根沙和东沙。其主要原因为养殖区域离岸远,养殖成本相对较高。2004 年蒋家沙、竹根沙和东沙海域养殖面积分别为 70 km<sup>2</sup>、45 km<sup>2</sup>和 9 km<sup>2</sup>,此时蒋家沙养殖区养殖面积已基本接近稳定,2005 年之后竹根沙和东沙养殖区面积呈迅猛上升趋势,其中东沙养殖面积由 2004 年的 9 km<sup>2</sup>直线上升至 2008 年的 153 km<sup>2</sup>,养殖面积增长 17 倍。紫菜养殖面积的持续上升为绿潮暴发提供的绿潮藻初始生物量越来越多,这也解释了为何 2007 年之后南黄海绿潮年复一年的暴发。

## 3 结论与建议

### 3.1 结论

(1) 受紫菜养殖生产工艺的影响,数以千吨的绿潮藻在短期内被集中输入至海洋,为绿潮的暴发提供了最为直接和充足的绿潮藻初始生物量,是引发绿潮最直接的因素,其主要来源为竹根沙、蒋家沙和东沙紫菜养殖区。

(2) 2005 年以来,竹根沙、蒋家沙和东沙海域紫菜养殖面积的持续扩大,是引发 2007 年以来绿潮持续暴发的主要原因。

(3) 水温是影响绿潮形成的关键环境因素,4~6 月份大量被刮落入海的绿潮藻在适宜环境条件下漂浮和快速生长,在苏北沿岸流和夏季风的作用下,逐渐向北漂移形成绿潮。

### 3.2 对策与建议

(1) 加强源头治理,加大防控技术研究和推广,实现对绿潮的有效防控。目前对筏架上附着生长的绿潮藻普遍采用刮除或涂刷酸类涂料等办法,而涂刷酸类涂料对海洋环境必然造成污染,对紫菜养殖也会造成一定影响,有必要研究筏架上绿潮藻的防附技术。同时要采取措施,鼓励绿潮藻的回收和处置,防止大量绿潮藻被直接投入海洋,从源头上遏制绿潮暴发。

(2) 加强资源化利用: 目前我国对于绿潮藻的资源化利用规模较小, 经济效益较差。国家和地方政府应引导、鼓励企业加强绿潮藻资源化利用等领域的开发, 并给予一定政策扶持和优惠。特别在食品、饲料、医药等方面的研究, 以真正实现变废为宝, 化害为利, 实现海洋生态环境可持续发展。

## 参考文献:

- [1] Fletcher R L. The occurrence of “green tides”: a review In: Schramm W, Nienhuis P H, editors[C]. Marine benthic vegetation: recent changes and effects of eutrophication. Berlin: Springer-Verlag, 1996, 7-43.
- [2] 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.  
Tang Qisheng Zhang Xiaowen Ye Naihao, et al. Review on The Research Progress on Marine Green Tide[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2010, 1: 5-9.
- [3] Morand P, Briand X. Excessive growth of macroalgae: a symptom of environmental disturbance [J]. Bot Mar, 1996, 39(1-6): 491-516.
- [4] Blomster J S, B CK S, Fewer D P, et al. Novel morphology in *Enteromorpha* (Ulvophyceae) forming green tide [J]. Am J Bot, 2002, 89(11): 1756-1763.
- [5] Nelson A, Nelson A V, Tjoelke R M. Seasonal patterns in ulvoid algal biomass, productivity, and key environmental factors in the Northeast Pacific [J]. Bot Mar, 2003, 46: 263-275.
- [6] Charlier R H, Morand P, Finkl C W, et al. Green Tides on the Brittany Coasts [J]. Environ Res, Eng & Man, 2007, 3(41): 52-59.
- [7] Lapointe B E, Barile P J, Matzie W R. Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the Lower Florida Keys: Discrimination of local versus regional nitrogen sources [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2004, 308(1), 23-58.
- [8] Hiraoka M, Ohno M, Kawaguchi S, et al. Crossing test among floating *Ulva* thalli forming “greentide” in Japan [J]. Hydrobiologia, 2004, 512: 239-245.
- [9] 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.
- [10] Liu DY, Keesing J K, He P M, et al. The world’s largest macroalgal bloom in the Yellow Sea, China: Formation and implications [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science. 2013, 129: 2-10.
- [11] 国家海洋局. 中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 海洋出版社, 2014.
- State Oceanic Administration, Marine Environmental Quality Bulletin in China [R]. BeiJing: Ocean Press, 2014.
- [12] 刘英霞, 常显波, 王桂云, 等. 浒苔的危害及防治[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9566-9567.  
Liu Yingxia, Chang Xianbo, Wang Guiyun, et al. Harm and Prevention of *Enteromorpha prolifera*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(20): 9566-9567.
- [13] 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: 中国科学院研究生院, 2010.  
Liu Feng The cause of green tide in the Yellow Sea, and ecophysiological and phylogenetic analysis of the bloom-forming alga, *Ulva pfolifera*[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, People’s Republic of China, 2010.
- [14] 穆新武. 黄海南部海域绿潮物种的生物学特性及分子地理学调查研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2010.  
Mu Xinwu. The research of biological characteristics and molecular geography of the green tide species in the sea area of the Yellow Sea(D). Nanjing: Nanjing Normal University, 2011.
- [15] 张浩. 黄海绿潮暴发机制分析及防治研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.  
Zhang Hao. Analysis of Outbreak Mechanism and Control of the Green Tide In South Yellow Sea[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [16] 王洪法, 李新正, 王金宝, 等. 青岛近海浒苔暴发期大型底栖动物群落的生态研究[J]. 海洋科学, 2011, 35(5): 10-18.  
Wang Hongfa, LI Xinzheng, WANG Jinbao, et al. The ecological research of the acrobenthic community from sea areas around Qingdao during the upsurge of green-seaweed *Enteromorpha prolifera* in summer of 2008[J]. Marine Sciences, 2011, 35(5)10-18.
- [17] Liu D, Keesing J K, Xing Q G, et al. World’s largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China[J]. Mar Pollut Bull, 2009, 58(6): 888-895.
- [18] Liu F, Pang S J, Xu N, et al. *Ulva* diversity in the Yellow Sea during the large-scale green algal blooms in 2008-2009 [J]. Phycol Res, 2010, 58: 270-279.
- [19] 易俊陶, 黄金田, 宋建联. 对盐城市沿海 2008 年浒苔发生情况的初步认识[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(1): 57-58.  
YI Juntao, HUANG Jin-tian, SONG Jianlian. Initial understand of *Enteromorpha prolifera* Occurred in Yancheng Coastal Waters in 2008[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(1): 57-58.
- [20] 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, 40(16): 45-46.

- Li Daqiu, He Shuangyan, Yang Qian, et al. The research of the source of *Enteromorpha prolifera* in Qingdao sea and the distribution characteristics in the external sea area[J]. Environmental Protection, 2008, 402(16): 45-46.
- [21] 陆勤勤, 穆新武, 胡传明, 等. 中国黄海南部海域绿潮物种、分布及发生特征研究[A]//中国藻类学会第八次会员代表大会暨第十六次学术讨论会论文摘要集, 2011.11.  
Lu Qinqin, Mu Xinwu, Hu Chuanming, et al. Study on the species, distribution and occurrence of green tide in the sea area of Hainan, China[A]//Abstracts of the 8th member congress and the 16th Symposium of the Chinese Society of Phycology, 2011.11.
- [22] 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.  
XU Zhaoli, Ye Shufeng, XU Ren. Possible conditions and process of the massive blooms of *Enteromorpha prolifera* in China during 2008[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(3): 430-437.
- [23] 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]. Mar Environ Res, 2010, 69(4): 207-215.
- [24] 方松, 王宗灵, 李艳, 等. 南黄海及长江口附近海域绿潮暴发前期微观显微繁殖体的动态变化[J]. 海洋学报, 2012, 34(4): 147-154.  
Fang Song, Wang Zongling, Li Yan, et al. The dynamics of micro-propagules before the Green tide (*Ulva prolifera*) outbreak in the Southern Huanghai Sea and Changjiang (Yangtze) River Estuary area[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(4): 147-154.
- [25] 吴玲娟, 曹丛华, 高松. 我国绿潮发生发展机理研究进展[J]. 海洋科学, 2013, 37(12), 118-121.  
Wu Lingjuan, Cao Conghua, Gao Song. A review on the development mechanism of Green Tide in China[J]. Marine Sciences, 2013, 37(12), 118 -121.
- [26] 梁宗英, 林祥志, 马牧, 等. 浒苔漂流聚集绿潮现象的初步分析[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(4): 601-604 .  
Liang Zongying, Lin Xiangzhi, Ma Mu, et al. A Preliminary Study of the *Enteromorpha prolifera* Drift Gathering Causing the Green Tide Phenomenon [J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(4): 601-604 .
- [27] 李三妹, 李亚君, 董海鹰, 等. 浅析卫星遥感在黄海浒苔监测中的应用[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1): 76-81 .  
Li Sanmei, Li Yajun, Dong Haiying, et al. Satellite Remote Sensing Application to *Enteromorpha Prolifera* Monitoring in the Yellow Sea [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2010, 21(1): 76-81.
- [28] 卢健, 张启龙, 李安春. 苏北沿岸流对浒苔暴发及漂移过程的影响[J]. 海洋科学, 2014, 38(10): 83-89.  
Lu Jian, Zhang Qilong, LI Anchun. The influence of Subei coastal current on the outbreak and drift of *Enteromorpha prolifera*[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 83-89.
- [29] 吴玲娟, 曹丛华, 黄娟, 等. 黄海绿潮应急溯源数值模拟初步研究[J]. 海洋科学, 2011, 35(6): 44-47.  
WU Lingjuan, CAO Conghua, HUANG Juan, et al. Numerical tracing simulation on Green Tides in the Yellow Sea for contingency forecast[J]. Marine Sciences, 2011, 35(6), 44-47.
- [30] Wei Han Li-Ping Chen, Jian-Heng Zhang, et al. Seasonal variation of dominant free-floating and attached *Ulva* species in Rudong coastal area, China[J]. Harmful Algae 2013, 28: 46-54.
- [31] 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(3): 230-234.  
Wu Hongxi, Xu Aiguang, Wu Meining. Preliminary Study on Experimental Ecology of *Enteromorpha prolifera*(Miill.). Journal of Zhejiang Ocean University, 2000, 19(3): 230-234.
- [32] 丛珊珊. 环境因子对浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生长、生存状态和营养吸收影响的实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.  
Cong Shanshan. A study on the Effects of Environmental Factors on Growth, Living Conditions and Uptake Rates of *Enteromorpha prolifera*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [33] Koh C H, Oh S H. Distribution Pattern of macroalgae in the eastern Yellow Sea, Korean[J]. Korean Journal of Phycology, 1992, 7: 139-146.
- [34] Wallentinus I. Comparisons of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. [J]. Marine Biology, 1984, 80: 215-222.
- [35] 吴婷, 赵乐毅, 刘浩涤, 等. 浒苔对营养盐影响的初步研究[J]. 海洋环境科学, 2013, 03: 347-352.  
Wu Ting, Tian Xiao-ting, Liu Zhao-hui, et al. Absorption of different nitrogen species by *Enteromorpha prolifera* [J]. Marine Sciences , 2011, 35(4): 51-54.
- [36] Duarte C M. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. Ophelia, 1995, 41(1): 87-112.
- [37] Li J P, Zhao W H. Effects of nitrogen specification and culture method on growth of *Enteromorpha prolifera*. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(4): 874-882.
- [38] 韩晓磊, 徐建荣, 汪洁华, 等. 不同地区浒苔(*Enteromorpha prolifera*)群体遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 常熟理工学院学报, 2009, 23(10): 57-60.



Han Xiaolei, Xu Jianrong, Wang Jiehua, et al. Study on the Genetic Diversity of *Enteromorpha Prolifera* by ISSR [J]. Journal of Changshu Institute Technology, 2009, 23(10): 57-60.

[39] 吴青. 浒苔漂浮与沉降机制研究[D]. 上海: 上海海

洋大学, 2015.

Wu Qing. Mechanism of Floating and Sinking for *Ulva prolifera* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.

[40] <http://www.cacs.gov.cn>

## Research on the relations between green tide and *Porphyra* cultivation in the south Yellow Sea

LIU Cai-cai<sup>1, 2</sup>, XU Ren<sup>1, 2</sup>, HE Pei-min<sup>3</sup>, ZHANG Zheng-long<sup>1, 2</sup>, QIN Yun-tao<sup>1, 2</sup>, XIANG Ling-yun<sup>1, 2</sup>, DENG Bang-ping<sup>1, 2</sup>, LIU Shou-hai<sup>1, 2</sup>, JI Xiao<sup>1, 2</sup>

(1. East China Sea Environmental Monitoring Center SOA, Shanghai 200137, China; 2. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technology for Marine Harmful Algal Blooms, SOA, Shanghai 200137 China; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Received:** Jul. 22, 2016

**Key words:** South Yellow Sea; Green tide; *Porphyra* cultivation

**Abstract:** In this paper, we researched the relations between the green tide and *Porphyra* cultivation in the South Yellow Sea by the methods of investigation, social survey, and satellite remote sensing. A deep analysis of temporal and spatial change processes of green tide variations ranging from sporadic floating to initial outbreak was conducted. To determine the impact of *Porphyra* cultivation on the outbreak of the green tide, we investigated the aquaculture process during different stages and estimated the initial biomass of green tide algae that was released into the ocean from different *Porphyra* cultivation areas in the South Yellow Sea. At the same time, the relation between the area variation of key *Porphyra* cultivation areas and green tide was analyzed. The results indicated that affected by the production process, thousands of tons of green tide algae were scraped and released into the sea in a short term. It provided the most direct and initial biomass supply for the green tide that was mainly sourced from the ZhuGen Sha, JiangJia Sha, and Dong Sha *Porphyra* cultivation areas. The ZhuGen Sha, JiangJia Sha, and Dong Sha *Porphyra* cultivation areas continued to expand since 2005, and they were the main reasons causing the outbreak of the green tide in the South Yellow Sea from 2007. The water temperature was the key environmental factor that influenced the outbreak of the green tide. Scraped green tide algae floated and grew rapidly in appropriate environmental conditions from April to June, ultimately causing a large-scale green tide.

(本文编辑: 梁德海)