

# 基于卫星遥感监测的2011—2016年黄海绿潮变化特征分析

杨静, 张思, 刘桂梅

(国家海洋环境预报中心 国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室, 北京 100081)

**摘 要:** 基于多源卫星数据对黄东海海域进行的绿潮遥感监测数据分析, 研究了2011—2016年绿潮高发季节的变化规律和分布特征, 结果表明: 绿潮灾害每年爆发的特点是一一般在5月份开始爆发, 6—7月为绿潮的发展持续期, 其主体的漂移生长方向是偏北和偏西方向, 8月份逐渐消亡。卫星遥感监测绿潮的最大分布面积呈逐年增加的趋势, 这可能与全球气候变化等环境因素密切相关。

**关键词:** 绿潮; 卫星遥感; 黄海; 最大分布面积; 特征分析; 全球变化

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)03-0056-06

## 1 引言

绿潮是世界沿海各国普遍发生的海洋生态异常现象, 多数以石莼属(*Ulva*)大型绿藻种类脱离固着基, 形成漂浮增殖群体所致, 可以对沿海环境造成严重的危害<sup>[1]</sup>。石莼属的浒苔(*Ulva prolifera*)是引起大规模绿潮爆发的致因种之一。浒苔生长对海洋环境条件要求不高, 海水温度、盐度、pH值和光强强度适应范围很广, 分别在10~30℃, 7.2~35, 6~9, 1 000~10 000 lx<sup>[2,3]</sup>。2008年6—7月, 在黄海局部海域爆发的恶性繁衍、趁风盛行、随波逐流、大面积扩展的大型绿藻, 涉及到山东沿岸海域, 特别是青岛近岸海域出现大量浒苔, 对水体环境和第29届奥运会帆船赛事构成较大威胁<sup>[4]</sup>。此后, 每年在黄海海域均发现有绿潮发生, 不同学者也从不同角度对绿潮开展系列研究。如王婷等根据黄海绿潮浒苔爆发区两个航次的调查数据, 研究了调查海域营养盐的浓度变化和分布特征<sup>[5]</sup>。衣立等分析了2009年绿潮浒苔期间的水文气象条件、浒苔聚集和定向移动的原因, 并与2008年的情况进行了对比<sup>[6]</sup>。叶乃好等对绿潮浒苔的生活史进行了研究<sup>[7]</sup>; 乔方

利等利用中国近海海浪-潮流-环流耦合数值模式研究了在风场和表层海流场的共同作用下浒苔的漂移路径<sup>[8]</sup>。以上研究不同程度揭示了绿潮浒苔自身独特的生物学特点、海水富营养化以及环境因子等因素的影响, 而近几年来绿潮呈现出什么样的变化趋势, 分布特点又有何变化却鲜有报道。

国家海洋局开展的浒苔卫星遥感业务化监测工作, 在历年浒苔遥感监测工作中都发挥了重要作用<sup>[1,6,9]</sup>。本文收集了2011—2016年《国家卫星海洋应用中心绿潮遥感监测通报》中发布的利用HY-1B、Aqua和Terra等多源卫星数据对黄东海海域进行的业务化绿潮遥感监测结果, 数据包括绿潮发生的时间、位置、分布面积、覆盖面积和影响范围等相关信息, 对近6 a来绿潮高发季节的时空变化规律和分布特征进行分析研究, 以期对绿潮的监测预警工作提供参考。

## 2 黄海绿潮发生发展演变规律

近年来我国绿潮大面积发生发展演变过程类似, 根据2011—2016年每年国家卫星海洋应用中心

收稿日期: 2016-09-09; 修回日期: 2016-10-20。

基金项目: 国家自然科学基金(41222038)。

作者简介: 杨静(1982-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事海洋生态环境预报与数值模型研究。E-mail: yangj@nmefc.gov.cn

绿潮遥感监测通报的业务化监测结果,按照第一次监测到发现有绿潮发生的日期、第一次监测到有绿潮登陆上岸的时间、绿潮大面积生长存在的时间段和连续7 d以上没有监测到绿潮信息的时间分别表示绿潮的爆发时间、登陆时间、最盛期和结束时间,统计近6 a绿潮发生演变情况(见表1),可将绿潮的演变过程分为绿潮爆发期、持续期和消亡期。

### 2.1 绿潮爆发期

近年来绿潮大面积爆发的时间基本相似,进入5月份,随着江苏附近海域表层海温升高,达到绿潮藻种生长繁殖的适宜温度,绿潮浒苔在适宜的条件下生长速度加快,最初在盐城附近海域卫星遥感监测显示有小面积绿潮发生,绿潮覆盖面积和分布面积呈波动增大变化趋势,在海流和风的作用下向偏北方向漂移。至5月中下旬,绿潮大规模爆发。

### 2.2 绿潮持续期

绿潮藻体在水文气象条件适宜的情况下持续生长,随着风场和流场的共同作用处于动态的分布变化中,也会不断的生长聚集从而形成不同规模的浒苔斑块。6月份开始,黄海海面维持偏南风流场,在风应力作用下产生了西北向表层海流,大量浒苔顺着海流边生长边漂移至江苏北部海州湾海岸附近,并在连云港、青岛、烟台等地大规模登陆。7月份继续向偏北方向漂移至山东半岛近海处,并有部分登陆。

### 2.3 绿潮消亡期

进入8月份,因海水温度上升、营养盐含量降低以及其它环境因子的改变,漂浮绿潮藻体逐渐衰老,同时光合作用速率降低,促使藻体浮力发生改变,由海面漂浮变成悬浮或沉降到海底。随着海域

环境逐渐不适宜绿潮生长,藻体生物量不断下降,一般到8月中上旬,卫星遥感数据显示已监测不到大面积绿潮。

## 3 绿潮最大覆盖面积和分布面积特征分析

### 3.1 卫星遥感监测的绿潮面积分布

根据多源卫星数据对黄东海海域进行的绿潮遥感监测,绿潮发生初期浒苔聚集密度、面积范围较小,5月中下旬,绿潮主体持续向偏北方向漂移和生长,随着温度、营养盐浓度升高等因素影响,覆盖面积和分布面积不断扩大。经过6—7月份的持续生长期,有部分绿潮登陆,之后覆盖面积和分布面积不断减小,8月逐渐进入消亡期。

2011—2016年每年卫星遥感监测绿潮的最大分布面积和最大覆盖面积出现的时间不同,其中2012年绿潮最大覆盖面积出现在6月19日,2013年最大覆盖面积出现在6月12日,2014年和2015年绿潮最大覆盖面积分别出现在7月8日和7月4日,2012—2014年绿潮的最大覆盖面积呈增加趋势,2014年的最大覆盖面积最大,达到2 330 km<sup>2</sup>,2015年的绿潮的最大覆盖面积最小,只有654 km<sup>2</sup>。2011—2016年卫星遥感监测绿潮的最大分布面积分别出现在7月19日、6月4日、7月8日、6月28日和7月4日、6月25日,且从2012—2016年呈逐年增大的趋势(见图1)。由此可见,每年绿潮的最大分布面积和最大覆盖面积出现的时间和变化趋势不完全一致。由于受天气原因影响,卫星遥感监测有部分被云覆盖,造成监测绿潮的面积数据不连续,由2011—2016年绿潮覆盖面积和分布面积同期对比图(见图2、3)可看出,有云条件下光学遥感无法

表1 近6a绿潮发展统计表

年份	爆发时间	登陆时间	最盛期	结束时间
2011年	5月27日	6月18日	6月中旬—7月中旬	8月14日
2012年	5月18日	6月13日	5月下旬—6月下旬	7月29日
2013年	5月11日	6月上旬	6月上旬—7月上旬	8月11日
2014年	5月13日	6月初	5月下旬—7月中旬	8月6日
2015年	5月16日	6月中旬	5月下旬—7月上旬	8月6日
2016年	5月16日	6月中旬	6月上旬—7月上旬	8月5日

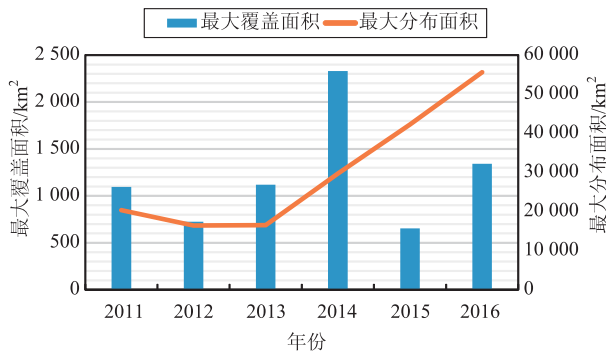


图1 2011—2016年绿潮最大覆盖面积和分布面积图

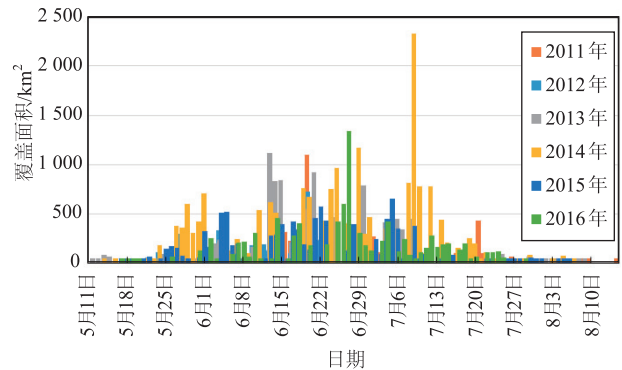


图2 2011—2016年绿潮覆盖面积同期对比图  
(空白日期为无数据日)

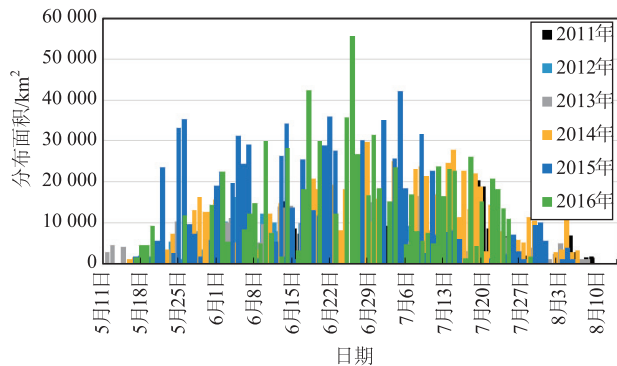


图3 2011—2016年绿潮分布面积同期对比图  
(空白日期为无数据日)

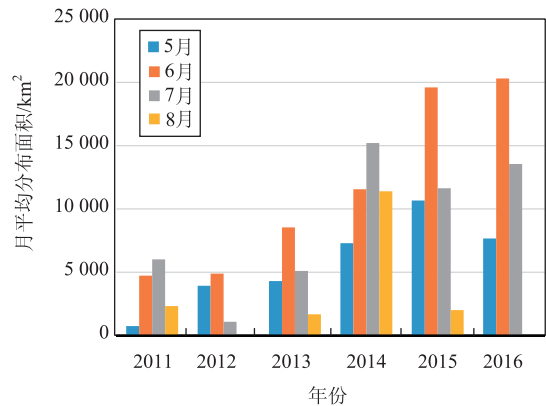


图4 2011—2016年绿潮月平均分布面积

获得有效信息,卫星监测的绿潮面积日变化较大。为研究分析绿潮分布的年变化特征,以下选取卫星遥感监测的绿潮分布面积作为主要分析因子。

### 3.2 绿潮分布面积的年际变化特征

从卫星遥感监测绿潮的月平均分布面积(见图4)分析,每年绿潮的发生演变过程基本相同,5月份为爆发期,6—7月为绿潮的发展持续期,8月份为消亡期。虽然绿潮月平均分布面积在每年不同时期存在一定差别,但其总体的年变化特征是在绿潮发展最盛期的月平均分布面积呈逐年增加趋势,这与绿潮最大分布面积的年变化趋势一致。

每年海温的变化在一定程度上会影响绿潮的分布范围,为进一步研究绿潮的年际变化特征,本文引用中国气象局国家气候中心在业务上主要使用的 Niño3.4 区的海温距平指数(其作为判定厄尔

尼诺或拉尼娜事件的指标依据)<sup>[10]</sup>,将每年绿潮高发季的最大分布面积与一季度平均的 Niño3.4 区海温距平指数进行对比分析(见图5),结果显示,在厄尔尼诺事件的影响下,中国黄海爆发绿潮的年最大分布面积呈增大趋势,而在 Niño3.4 指数变化不明显的情况下,绿潮的年最大分布面积变化也不显著,这说明绿潮的分布范围与全球气候变化之间存在一定的相关性。绿潮的发生受温度、光照、降水量、营养盐等多种环境因素影响,全球气候变化引起海洋生态系统的异常变化,导致浒苔等种群异常增殖<sup>[1]</sup>。冬季厄尔尼诺达到强盛后对次年东亚初夏的环流有明显的影响,与中国降水量变化有密切关系<sup>[11]</sup>,而降水量增加会导致径流量上升,从而引起近海水域富营养化,有利于绿潮发生<sup>[12]</sup>。何进等从浒苔生理学角度通过实验得出,浒苔在温度和营养盐浓度较高时表现出较高的相对生长率<sup>[13]</sup>,从自身的生物



适应策略上来看,浒苔对于多变环境条件的响应更为敏感<sup>[14]</sup>,全球气候变化引起的环境变化,导致海洋生态系统的结构和功能也随之发生改变,有关绿潮自身的生态学特点、人类活动及其他环境因素所起的作用具体如何,还有待于积累更多绿潮监测做进一步分析研究。

### 3.3 绿潮漂移过程分析

基于国家海洋环境预报中心的浒苔漂移轨迹预报系统,图6—7给出了2011—2016年各年绿潮最大分布面积及24 h漂移预测示意图,该系统的风场和流场驱动模块分别采用国家海洋预报中心业务化的风场数值预报系统和海流数值预报系统的产品结果<sup>[15]</sup>。图片显示绿潮各年份达到最大分布面

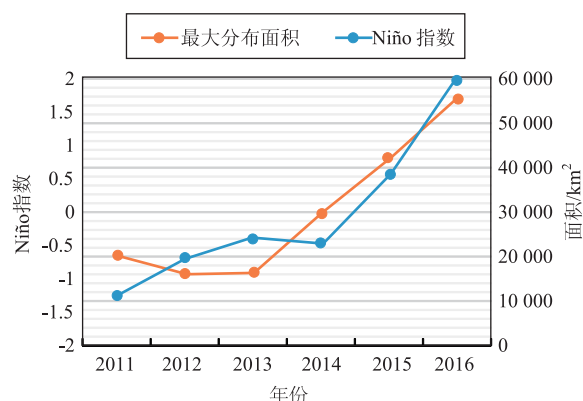


图5 每年绿潮的最大分布面积与一季度平均的Niño3.4区海温距平指数对比图

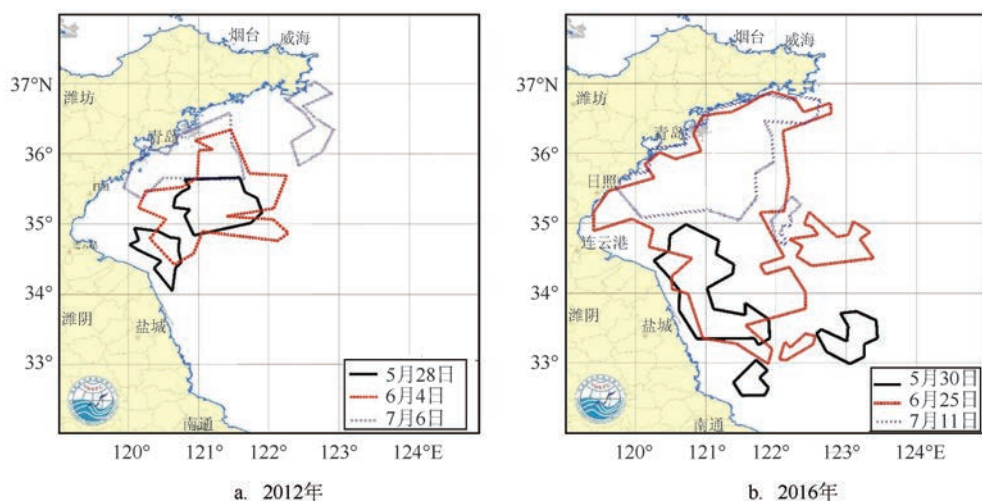


图6 绿潮高发期每月监测的最大分布面积对比图

积时的分布范围和区域不同,短期预测的绿潮漂移方向和速度也有所差别,2011年绿潮24 h漂移预测方向是西南,2012和2016年是偏北方向,2013和2014年是偏东方向,而2015年是偏西方向。这除了与系统起算时的卫星监测绿潮初始位置有关以外,还受局地海域的风和海流的变化影响而呈现出不同的路径。由于卫星遥感监测受有云的影响,这种短期预测方法有助于及时掌握绿潮动态,有效弥补绿潮卫星监测时间上不连续的不足。

从绿潮漂移的长期变化来看,根据每年卫星遥感监测的结果分析,在绿潮发展期间,虽然每日绿潮的漂移速度和方向不同,但其主体总是持续向偏北和偏西方向漂移和生长的。每年的绿潮分布和漂移路径存在不同的变化,这可能同全球变暖跟海水酸化等环境因素密切相关<sup>[16]</sup>,根据图5分析结果,分别选取2012年和2016年绿潮高发期的卫星遥感监测结果进行对比分析,2012年5—7月绿潮的最大分布面积比2016年整体偏北,且2012年每月出现最大分布面积的时间比2016年偏早。在厄尔尼诺事件的影响下,2016年黄海爆发绿潮的年最大分布面积比往年有所增大,说明海洋环境等外强迫的改变对海洋生态系统产生明显影响,温度的变化在一定程度上改变了海洋藻类的分布范围<sup>[16]</sup>,从而改变绿潮的分布范围、生长繁殖的速度和发展规模,但其发展期间总体向偏北和偏西方向漂移生长的路径与往年是一致的。

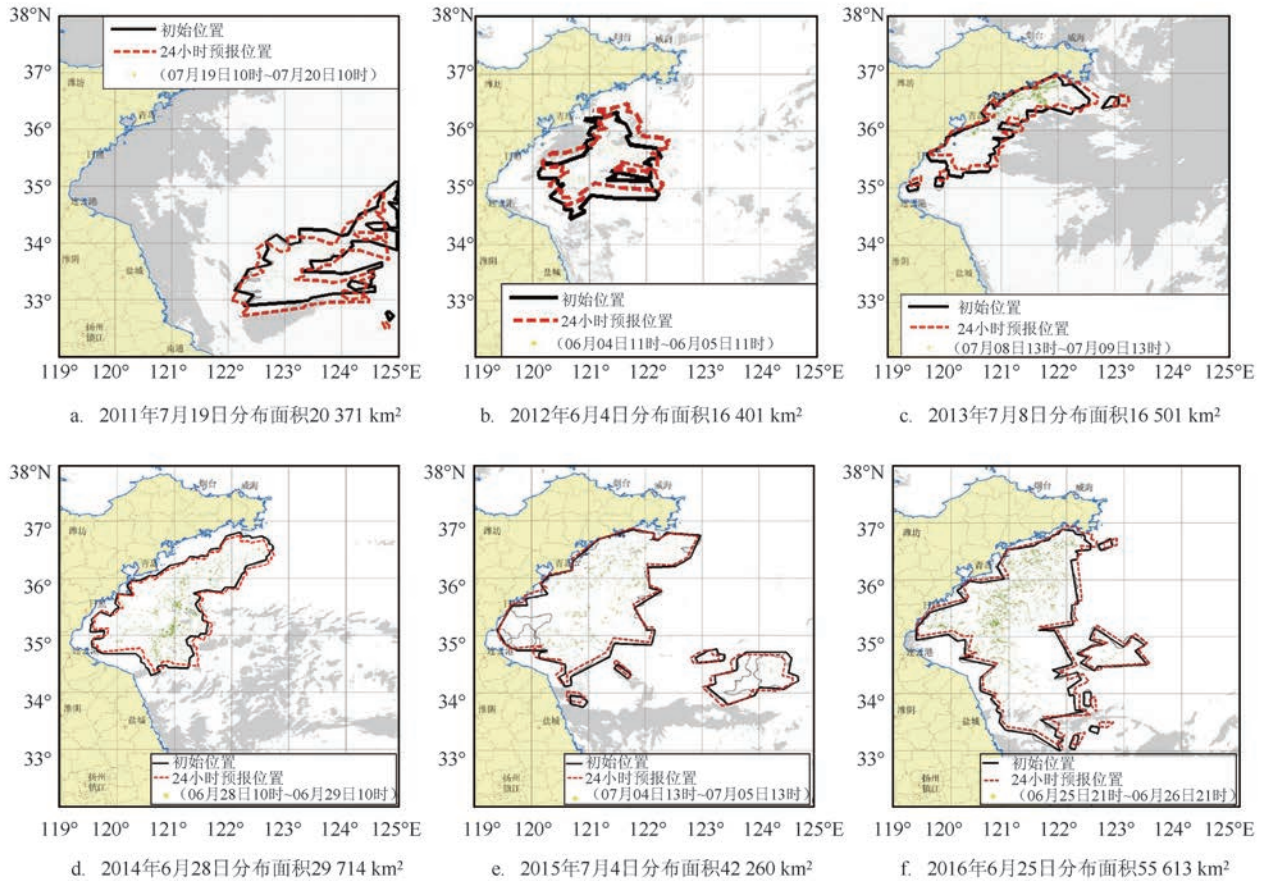


图7 绿潮24 h漂移预测图

#### 4 结果与讨论

通过近6a以来绿潮卫星遥感监测结果分析,发现中国黄海绿潮灾害的年变化特征:(1)绿潮发生发展的演变过程是一般发生在春夏两季,在夏季高温期结束,高发期集中在5—7月;(2)2011—2016年每年卫星遥感监测绿潮的最大分布面积和最大覆盖面积出现的时间不同,且最大分布面积呈逐年增加的趋势;(3)2016年绿潮卫星遥感监测到了近6a以来最大分布面积的绿潮,这可能与全球气候变化等环境因素密切相关;(4)每年的绿潮分布和漂移路径存在不同的变化,在绿潮发展期间(5—7月),其主体的漂移生长方向是偏北和偏西方向。全球气候变化在一定程度上改变了绿潮的分布范围和发展规模,但对绿潮主体的年漂移生长方向影响不显著。

综上所述,绿潮分布的时空变化具有明显的年变化特征,这除了与我国近海海洋环境要素变化,如海表升温、海平面变动等全球和区域气候变化有着密切的关系外<sup>[17]</sup>,还与绿潮自身的生物学生长特性以及由于天气原因造成卫星遥感监测反映整个海面绿潮变化的不确定性有关,还有待于做进一步研究。

绿潮的发生发展过程消耗水中溶解氧、降低生物多样性、产生有毒有害物质及带来次生环境危害<sup>[1]</sup>,对当地渔业、水产养殖、海域环境、生态服务功能造成一定影响。要应对绿潮灾害的发生,应加强绿潮灾害的监测预警预报能力建设,调研了解绿潮增殖爆发与沿岸海洋气候环境的关系,建立漂浮绿藻出现区域与水温、溶解氧、营养盐分布关联模式,利用卫星遥感的海面风场、降水、云中液态水含量、海表面温度、海流等资料,研究绿潮爆发期间的水文气象条件、浒苔聚集以及定向移动的原因,丰富拓展

浒苔漂移轨迹和浒苔影响区域等预报产品,为浒苔的应急响应提供技术支持,并且加强海域环境管理,及时做好绿潮应急准备。

### 参考文献:

- [1] 于波, 汤国民, 刘少青. 浒苔绿潮的发生、危害及防治对策[J]. 山东农业科学, 2012, 44(3): 102-104.
- [2] 吴洪喜, 徐爱光. 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.
- [3] 忻丁豪, 任松, 何培民, 等. 黄海海域浒苔属(*Enteromorpha*)生态特征初探[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(2): 190-192.
- [4] 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.
- [5] 王婷, 石晓勇, 张传松, 等. 2008年黄海浒苔绿潮爆发区营养盐浓度变化及分布特征[J]. 海洋通报, 2011, 30(5): 578-582.
- [6] 衣立, 张苏平, 殷玉齐. 2009年黄海绿潮浒苔爆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.
- [7] 叶乃好, 张晓雯, 毛玉泽, 等. 黄海绿潮浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生活史的初步研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 853-857.
- [8] 乔方利, 马德毅, 朱明远, 等. 2008年黄海浒苔爆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.
- [9] 蒋兴伟, 刘建强, 邹斌, 等. 浒苔灾害卫星遥感应急监视监测系统及其应用[J]. 海洋学报, 2009, 31(1): 52-64.
- [10] 中国气象局国家气候中心. ENSO 监测简报[EB/OL]. <http://cmdp.ncc-cma.net/Monitoring/enso.php>.
- [11] 王亚非, 李琰, 丁一汇. 初夏东亚环流对厄尔尼诺的两种响应过程及其对中国降水的影响[J]. 气象学报, 2012, 70(1): 39-49.
- [12] 李震. 青岛近海浒苔的污染与预防治理[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(9): 41-43.
- [13] 何进, 石雅君, 王玉珏, 等. 不同温度与营养盐条件对浒苔(*Ulva prolifera*)和肠浒苔(*Ulva intestinalis*)的生长影响[J]. 海洋通报, 2013, 32(5): 573-579.
- [14] Wang Y, Wang Y, Zhu L, et al. Comparative Studies on the Ecophysiological Differences of Two Green Tide Macroalgae Under Controlled Laboratory Conditions[J]. PLoS One, 2012, 8(7): e38245.
- [15] 李燕, 李云, 刘钦政. 浒苔漂移轨迹预报系统[J]. 海洋预报, 2010, 27(4): 74-78.
- [16] 罗民波, 刘峰. 南黄海浒苔绿潮的发生过程及关键要素研究进展[J]. 海洋渔业, 2015, 37(6): 570-574.
- [17] 刘桂梅, 李海, 王辉, 等. 我国海洋绿潮生态动力学研究进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(2): 147-153.

## Variability analysis of the Green Tide based on satellite remote sensing monitoring data from 2011 to 2016 in the Yellow Sea

YANG Jing, ZHANG Si, LIU Gui-mei

(National Marine Environmental Forecasting Center, Key Laboratory of Research on Marine Hazards forecasting, State Oceanic Administration, People's Republic of China, Beijing 100081 China)

**Abstract:** Based on the multi-source satellite data on the Yellow sea and the East China sea, the seasonal variation and distribution characteristics of Green Tide are analyzed from 2011 to 2016. The result shows that the outbreak of Green Tide is generally in May and displays a long duration from June to July. With the wide influence, the main drift and growth direction of green tide is northward and westward. After achieving the maximum distribution area and coverage area, Green Tide decreases gradually in August. The trend of Green Tide maximum distribution area monitored from satellite remote sensing is increasing, it may be closely related to the global climate change and other environmental factors.

**Key words:** green tide; satellite remote sensing; yellow sea; the maximum distribution area; feature analysis; global climate change