研究论文 · Linn ARTICLE

# 2015年黄海浒苔演变特征的遥感分析

陆荣洋<sup>1,2</sup>, 申 辉<sup>1</sup>, 李大伟<sup>1,2</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 100039)

摘要:为揭示 2015 年黄海区域浒苔演变特征,利用 MODIS(moderate-resolution imaging spectrometer) 数据,通过计算漂浮藻类指数(floating algae index, FAI)建立了浒苔信息的数据集,进而获取了浒苔 的时空变化规律特征。研究发现,5月 13 日浒苔条带最早出现在苏北近岸,之后浒苔条带向北和向东 漂移,浒苔覆盖面积逐渐变大;向北漂移的浒苔逐渐发展成大规模聚集的形态,而向东的条带仍旧 是分散的形态;向北漂移的浒苔条带 6月 12 日到达半岛顶端后出现大规模登陆的情况,登陆的依次 顺序为乳山一青岛一海阳;在苏北近岸的浒苔一直持续到 8月 5日。对 2015 年浒苔时空演变特征与 往年情况进行初步对比分析,发现其与 2013 年浒苔漂移路径和登陆过程存在显著差异,具有很强的 年际差异。

关键词: 黄海; 浒苔; MODIS(moderate-resolution imaging spectrometer); 遥感 中图分类号: P715.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)10-0134-09 doi: 10.11759/hykx20160127003

浒苔是一种在中国近海常见的绿潮藻类。在一 定环境条件下, 浒苔的暴发性繁殖和高度聚集将形 成绿潮灾害<sup>[1-3]</sup>、例如、2008年北京奥运会期间、在 青岛外海出现大量浒苔、引起了世界的广泛关注。事 实上,在 2000 年以后,黄东海海域就已观测到浒苔 条带的零星存在、但未出现浒苔条带大规模聚集的 情况<sup>[4]</sup>。2008 年以后每年都会有大量浒苔出现在南 黄海、成为一种常规性的绿潮灾害。有研究结果表明 此绿潮灾害首先是在苏北沿岸产生、然后受风场流 场驱动产生漂移<sup>[5-6]</sup>。在漂移过程中遇到适宜的海洋 环境后发生大规模的增殖繁殖、而后出现浒苔大规模 聚集的情况。黄东海绿潮灾害的规模具有年际变化的 特征, 2008~2013 年, 浒苔暴发规模最小的是 2012 年, 覆盖面积为 267 km<sup>2</sup>, 分布面积为 19 610 km<sup>2</sup>, 2009 年 暴发规模最大,实际覆盖面积达到 2 100 km<sup>2</sup>,分布 面积则有 58 000 km<sup>2[7-8]</sup>。

自 2008 年以后每年都会在苏北沿岸和山东半岛 南部海域观测到浒苔。姜鹏等<sup>[9]</sup>的研究表明绿潮浒苔 没有在青岛本地形成自然种群。刘峰等<sup>[10-11]</sup>发现苏 北沿岸的动物水产养殖池、辐射沙洲的水样和底泥 中存在浒苔的微观繁殖体,并推测黄海绿潮的"种 源"很可能就是存在于苏北辐射沙洲的浒苔微观繁 殖体中。刘东艳等<sup>[12-13]</sup>对江苏紫菜栽培筏架上的绿 藻进行分子鉴定,并分析江苏近几年的紫菜栽培发 展情况,认为黄海绿潮浒苔来源于江苏的紫菜筏架, 而黄海的绿潮大规模聚集正是与江苏的紫菜栽培大 规模发展时期相对应。李瑞香等<sup>[14]</sup>、李俭平等<sup>[15]</sup>研 究了营养盐对浒苔生长的影响,发现浒苔的生长需 要大量的营养盐,对氮的需求要高于磷。基于以上研 究结果,目前对于黄东海绿潮灾害的发展过程初步 认为,起源于江苏沿岸,而后主要是向北漂移,在黄 海区域水质条件适宜的情况下形成大规模繁殖聚集, 最终登陆沿海各地。

相比于现场观测,用卫星遥感手段观测浒苔具 有经济、及时和覆盖范围大的优势。中分辨率光谱 成像仪 (moderate-resolution imaging spectrometer, MODIS)数据是进行浒苔观测的主要数据,在历年浒 苔遥感监测中发挥了重要作用<sup>[16]</sup>。MODIS 数据具有 扫描范围大、重访周期短的特点。2008 年浒苔暴发 之后,Hu 等<sup>[17]</sup>,首次使用 MODIS 数据研究黄海浒 苔。钟山等<sup>[18]</sup>研究了 MODIS 数据 NDVI(normalized difference vegetation index)指数提取浒苔面积的误差 问题,提出了分别为大块聚集的浒苔与零散分布的

收稿日期: 2016-01-27; 修回日期: 2016-04-12

基金项目:中国科学院战略性先导专项资助(XDA1103020403)

<sup>[</sup>Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA05010400]

作者简介: 陆荣洋(1991-), 男, 江苏涟水人, 硕士研究生, 主要从事 海洋光学遥感分析与研究, 电话: 0532-82898516, E-mail: lurongyang1991@163.com; 申辉, 通信作者, 研究员, 主要从事海洋遥感研 究, 电话: 0532-82898783, E-mail: shenhui@qdio.ac.cn

研究论文 • ┃ □□□□ ARTICLE

浒苔设置阈值的方法。本文通过处理 2015 年黄海区 域的 MODIS 数据, 试图分析 2015 年黄东海绿潮灾 害的演变特征。

1 数据以及处理方法

### 1.1 数据

MODIS 是地球观测系统(earth observation system, EOS)卫星上搭载的一种重要的光学传感 器。它包含了 36 个光谱通道, 波长范围在  $0.4~14.4 \mu m$ , 空间分辨率有 250, 500 和 1 km 三种, 扫描幅度为 2 330 km。搭载 MODIS 的两颗卫星 EOS-Terra 和 EOS-Aqua 是太阳同步极轨卫星, Terra 上午 10: 30 左 右过境, Aqua 下午 13: 30 左右过境, 相互配合, 一天 可以过境 4 次(白天 2 次夜间 2 次), 时间分辨率上有 很大优势。

本文所用的 MODIS 数据是从 https: //ladsweb. nascom.naso.gov 网站上下载的 L1B 数据。时间从 2015 年 5 月 13 日~8 月 5 日,选择其中天气晴好的 18 景数据进行处理和分析。为了进行对比分析,还 选择了 2011 年 7 月 20 日与 23 日。

## 1.2 遥感图像处理方法

对 MODIS 数据的处理主要包括:辐射校正、几何 校正、第五波段条带去除、截取目标研究区域、云掩 膜、浒苔因子提取等。处理流程如图 1 所示。



图 1 MODIS 数据处理流程 Fig. 1 MODIS process procedure

### 1.3 浒苔的遥感识别因子

浒苔与海水具有不同的光谱特征,光学遥感正 是基于此光谱特征差异实现浒苔与海水的区分,并 提取浒苔信息。2008 年中国海洋大学遥感研究所在 浒苔航次和"东方红2号"浒苔航次中,用海面高光谱 辐射计(Tethered Spectral Radiometer Buoy, TSRB)现 场测得了青岛近岸海域和苏北近岸海域的浒苔与邻 近水体的典型光谱曲线,可以看到海水与浒苔二者 的光学辐亮度漫发射率(即:上行辐射率 *L*<sub>u</sub>与下行辐 射率 *E*<sub>d</sub> 的比值)与波长的对应关系有明显的差异(图 2、图 3), 浒苔的光谱在 730 nm 左右有一个反射峰, 而海水的光谱在 730 nm 处反射率是下降的。根据这 一光谱特征差异可以进行浒苔信息提取<sup>[19]</sup>。



图 2 青岛近海浒苔光谱特性曲线<sup>[19]</sup>









Hu<sup>[20]</sup>提出一种监测浒苔的方法——漂浮藻类指 数(floating algae index, FAI)方法,并验证了FAI方法 比增强植被指数(enhanced vegetation index, EVI)和 NDVI 方法更加稳定,在浒苔监测方面更具优势。因 此本文选用的 FAI 方法进行浒苔的遥感提取。FAI 方 法采用 MODIS 的第 1、2 和 5 波段,其中,第 1、2 波 段分辨率为 250 m,第 5 波段分辨率为 500 m。我们对 第 5 波段进行重采样得到 250 m分辨率的数据,最终得 到的 FAI 浒苔识别资料结果的空间分辨率为 250 m。

## 2 2015年浒苔演变特征及其与 2013 年的对比分析

结果表明, 2015 年黄海浒苔分两支分别向北和 向东路径传播。本文对两支分别进行分析。本部分 研究论文 • <u>linn</u> ARTICLE

同时给出 2011 年、2013 年浒苔的发展演变特征,并 主要与 2013 年进行对比分析,以揭示两个年份浒苔 演变特征的差异。

## 2.1 浒苔的北上过程

图 4 给出图像处理之后的结果, 图中黑色的区 域表示陆地, 白色的区域表示云, 蓝色的区域表示 海水, 浅绿色的区域表示浒苔。部分浒苔分布范围较 小的图像用红色图框标记浒苔分布范围。通过 MODIS 图像观测到 2015 年浒苔条带最早出现时间是 5 月 13 日, 少量细小的浒苔条带最先出现在苏北近岸, 图 4 红框的中心坐标是 121°37′E, 33°21′N。此后, 浒苔条 带逐渐向北漂移, 浒苔的规模逐渐变大。图 5 给出 5 月 16 日~6 月 12 日浒苔发展时期的空间覆盖范围演 变图。5月16日, 浒苔最北部的条带位于121°16′E, 34°24′N, 相对于 5 月 13 日遥感结果, 覆盖面积明显 增大。5月20日、浒苔进一步向北漂移、同时有转向 东北方向漂移的趋势,最北部的条带位于 121°34′E, 34°57′N, 覆盖面积进一步增大。5月25日, 最北部 的条带位于 121°36'E, 35°14'N。5 月 31 日, 浒苔进一 步向东北方向漂移,最北部的条带位于 121°29'E, 35°25′N。6月6日,向东北方向漂移的浒苔向岸一侧 呈现出与海岸线近似平行的形态、最北部的条带位于 121°57′E, 36°4′N, 呈现指向半岛顶端的漂移趋势。6月 12日,最北部的浒苔条带到达半岛顶端,浒苔向岸一





Fig. 4 Macroalgae patches and cloud mask from MODIS image May 13, 2015



(black: land; blue: sea; white: cloud; aqua: *Ulva prolifera*(also applies to figs. 7, 8, 9, 10, and 11)





侧与海岸线的距离呈现出自东向西逐渐增大的特征。 浒苔的覆盖范围与覆盖面积进一步增大。在这个过程 中, 浒苔向东北漂移的同时, 有向岸靠近的趋势。

2013年的情况是, 5月21日通过 MODIS 观测到 有较多的浒苔条带出现在苏北近岸(如图 6);至6月 2日,观测到浒苔已经到达山东半岛的南岸较近的范 围,而且浒苔主要影响日照和青岛沿岸,向东北方向 漂移的一支最东部的坐标为121°35′E,35°14′N,而向 西南漂移的一支最西部的坐标为119°37′E,35°5′N。 6月6日,浒苔的覆盖范围没有显著改变。6月12日, 浒苔的覆盖范围相对于6月6日变化较小。6月



#### 图 6 2013 年向北漂移的浒苔分布范围发展演变

Fig. 6 Coverage evolution of green tide north branch in 2013

海洋科学 / 2016 年 / 第 40 卷 / 第 10 期

研究论文 • ┃ □\_\_\_\_\_ ARTICLE

14 日, 浒苔进一步向岸靠近, 已经在日照和青岛近 岸登陆。

2013 年浒苔主要向日照青岛方向漂移,日照青岛近岸最早受到影响。而 2015 年浒苔主要向乳山方向漂移,乳山近岸最早受到影响。

2.2 浒苔的东进过程

浒苔大规模繁殖聚集在山东半岛近岸,对沿岸 区域生产生活影响较大,而向东漂移的这一支浒苔 主要存在于江苏以东海面,离岸较远,因此受到的 关注比较少。而 Hu 等<sup>[4]</sup>通过 MODIS 和 LANDSAT 数据观测到在 2000 年之后浒苔就在黄海和东海区域 出现过,但是当时浒苔没有出现暴发性繁殖和大规 模聚集的情况。

浒苔向东发展的情况见图 7。5 月 25 日通过 MODIS 图像观测到有向东漂移的浒苔条带存在,由 苏北近岸向东漂移形成,最东部的条带位于 124°37′E, 32°30′N。条带分布比较分散,发展规模远不如向北漂 移的浒苔。6月 19日,在中心位置为 124°5′E,33°51′N 的红圈中,观测到有一片较为分散的浒苔条带存在。 有可能是向北漂移的浒苔又向东漂移形成,发展规模 较小。7 月 1 日,观测到浒苔向东最远的条带到达 124°56′E,浒苔的发展规模稍微大一些,但仍旧远不 如向北漂移的浒苔发展规模大。7 月 10 日,仍可在 123°41′E,34°30′N 观测到少量存在的浒苔条带。



图 7 向东漂移的浒苔分布 Fig. 7 Distribution of eastward-moving *Ulva prolifera* 

2011 年也观测到浒苔向东漂移的情况,与 2015 年相似呈现分散性分布的特征。7 月 20 日(图 8)观测 到有一支向东漂移的浒苔存在,从南通近海向东北 方向漂移,主要覆盖区域为江苏以东海域,覆盖范 围较大,但呈现分散性分布。而此时向北漂移的浒苔 已经到达山东半岛近岸并且进入消亡期, 浒苔的覆 盖范围仅限于半岛南岸的一部分区域, 不过仍比向 东漂移的浒苔分布密集。至7月23日(图 8b)依然可 以观测到向东漂移的浒苔覆盖一片较大的区域, 但 仍呈分散性分布。





## 2.3 浒苔的登陆过程

浒苔的登陆过程如图 9、图 10 所示,虽然在 MODIS 数据处理过程中,云掩膜和陆地掩膜会对部

分靠近陆地的浒苔识别产生偏差(如图 8、图 9), 但不 会对本文给出的浒苔登陆过程的总体走向和登陆位 置分析结果造成显著影响。





图 10 2013 年登陆过程的浒苔分布 Fig. 10 Distribution of *Ulva prolifera* during landfall in 2013

6月12日(图 5),最北部的浒苔条带到达半岛顶 端,浒苔向岸一侧与海岸线的距离呈现出自东向西 逐渐增大的特征。浒苔首先大规模登陆的区域为靠 近半岛顶端的乳山。6月14日(图 9),乳山近岸的浒 苔数量显著增多。6月21日(图 9),在乳山首先出现 大量浒苔登陆,而其他区域仍只有少量浒苔在向岸 靠近,大规模的浒苔离海岸仍有一段距离。7月1日 (图 9),浒苔进一步向岸线靠近,海阳、青岛近岸区 域出现少量浒苔。由于海阳岸线有些向西北凹陷,近 岸的浒苔明显少于青岛。7月4日(图 9),大规模浒 苔靠近近岸开始登陆。

2013 年浒苔登陆过程如图 10 所示。6 月 20 日, 观测到有较多的浒苔条带靠近青岛近岸,浒苔在近 岸沿海岸线向东北方向漂移。6 月 29 日,有大量浒 苔在青岛近岸登陆,沿岸漂移的浒苔条带到达海阳 近岸,乳山近岸出现少量的浒苔。7 月 5 日,浒苔沿 岸漂移到达乳山近岸。7 月 8 日,沿岸漂移的浒苔 已经在乳山登陆。2013 年登陆顺序依次为日照—青 岛—海阳—乳山。 对比 2013 年和 2015 年浒苔登陆过程可以发现 显著差异。2013 年, 浒苔沿着海岸线向东北方向漂 移, 登陆顺序为日照—青岛—海阳—乳山。而 2015 年, 在山东半岛外海浒苔主体向岸靠近, 呈现自东 向西的登陆过程, 登陆顺序为乳山—青岛—海阳。

#### 2.4 浒苔的持续过程

浒苔在苏北近岸持续存在了相当长的一段时间。至7月29日(图11)、30日(图11),苏北近岸仍 然可以观测到较多的浒苔条带存在,但是浒苔条带 的分布较为分散。不再呈现出浒苔暴发初期时,条带 较长且相互连接的形态。之后,浒苔的覆盖面积逐渐 减少,8月4日(图11)、5日(图11),浒苔的覆盖面积 显著小于7月29日、30日。此后,没有再观测到浒 苔条带的出现。

浒苔的暴发是一个持续性的过程。从观测到浒 苔在苏北近岸产生到浒苔到达半岛顶端,这个过程 持续了一个月。而浒苔登陆的过程持续了 20 多天, 这个过程中浒苔在苏北产生并向外输运,在北部适



图 11 所言及版启期的運營血测宕未
Fig. 11 Distribution of Ulva prolifera blooms 紫色矩形框: 浒苔兴盛期的区域 purple rectangle: peak bloom coverage

宜的区域大规模繁殖聚集,这个适宜的区域大致位 于图 11b 中矩形图框区域,120°18′~123°12′E,34°25′~ 35°26′N。之后浒苔进一步向东北漂移向岸靠近在近 岸登陆。而浒苔暴发末期,仍可观测到浒苔在苏北近 岸仍有产生并且向外输运,却没有观测到浒苔大规 模繁殖聚集的情况,可能此时北部海域水体环境不 适宜浒苔大规模繁殖,因此浒苔面积浒苔覆盖面积 逐渐减少直至消失。而之后苏北近岸也没有再产生 浒苔,整个浒苔暴发过程完全结束。

## 3 总结与展望

本文采用基于 MODIS 光学遥感图像的浒苔识 别方法,分析了 2015 年黄东海绿潮灾害发展演变过 程。分析表明, 2015 年 5 月 13 日 MODIS 图像显示 浒苔最早出现在苏北沿岸出现。之后, 浒苔条带向北 漂移, 在漂移过程中, 浒苔繁殖速度快, 聚集程度高, 覆盖面积不断增大, 并且向岸靠近开始登陆。到6月 12日, 浒苔已经到达半岛顶端近岸。然后浒苔开始 大规模登陆, 这个过程持续了20多天, 登陆区域先 后顺序是是乳山—青岛—海阳。2015年浒苔登陆特 征与2013年明显不同。另外分析发现2015年浒苔 漂移存在向东的分支, 这与2011年情况相似。这一 分支覆盖面积较小, 条带呈分散性分布。浒苔在苏 北近岸持续了相当长一段时间, 在苏北近岸自浒苔 出现之后, 一直持续到8月5日才消失。浒苔暴发 的末期, 苏北近岸的浒苔向北漂移之后未再持续暴 发性繁殖过程, 同时苏北近岸浒苔也逐渐消失。浒 苔过程结束。



本文通过分析 MODIS 图像资料,采用 FAI 浒苔 指数形成了黄东海浒苔时空分布数据集。以此数据 集为基础,分析了 2015 年黄海浒苔灾害的发展演变 过程,并对比了其与往年浒苔发展演变过程的差异。 关于此过程的原因与机制,特别是浒苔大规模运移 的双翼路径机制的解释,及年际变化的差异,前人 的研究中虽有涉及但并未形成统一认识,这将是下 一步工作的重点。

#### 参考文献:

- Hiraoka M, Ohno M, Kawaguchi S, et al. Crossing test among floating *Ulva* thalli forming 'green tide' in Japan[J]. Hydrobiologia, 2004, 12(5): 239-245.
- [2] 张晓雯,毛玉泽,庄志猛,等.黄海绿潮浒苔的形态
   学观察及分子鉴定[J].中国水产科学,2008,15(5): 822-829.

Zhang Xiaowen, Mao Yuze, Zhuang Zhimeng, et al. Morphological characteristics and molecular phylogenetic analysis of green *Enteromorpha* sp. occurred in the Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Science of China, 2008, 15(5): 822-829.

[3] 衣立, 张苏平, 殷玉齐. 2009 年黄海绿潮浒苔暴发于
 漂移的水文气象环境[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(10): 15-23.

Yi Li, Zhang Suping, Yin Yuqi. Influence of environmental hydro-meteorological conditions to *Enteromorpha prolifera* blooms in Yellow Sea, 2009[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(10): 15-23.

- [4] Hu Chuanming, Li Daqiu, Chen Changshen, et al. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea[J]. J Geophys Res, 2010, 115: C05017.
- [5] 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(8): 1470-1476.

Qiao Fangli, Wang Guansuo, Lü Xingang, et al. Drift characteristics of green macroalgae in the Yellow Sea in 2008 and 2010[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(8): 1470-1476.

- [6] 李曰嵩, 潘灵芝, 肖文军, 等. 风对黄海绿潮藻漂移的影响[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(5): 772-776.
  Li Yuesong, Pan Lingzhi, Xiao Wenjun, et al. Effect of wind on the drifting of green macroalgae in the Yellow Sea[J]. Marine Environment Science, 2014, 33(5): 772-776.
- [7] 国家海洋局. 2012 年中国海洋灾害公报[EB/OL].
   [2015-09-27]. http://www.coi.gov.cn/gongbao/nrzaihai/ nr2012/201303/t20130311 26227.html
- [8] 国家海洋局. 2014 年中国海洋灾害公报[EB/OL].
   [2015-09-27]. http://www.coi.gov.cn/gongbao/nrzaihai/

 $nr 2014/201503/t 20150324\_32258.html$ 

- [9] Jiang Peng, Wang Jinfeng, Cui Yülin, et al. Molecular phylogenetic analysis of attached Ulvaceae species and freefloating Enteromorpha from Qingdao coasts in 2007[J]. Chinese Journal Oceanology Limnology, 2008, 26: 276-279.
- [10] 刘峰, 逢少军, 单体锋, 等. 一种新的海水中石莼属 海藻显微阶段个体数定量方法及在黄海绿潮暴发过 程中的应用[J]. 科学通报, 2010, 55(6): 466-473.
  Liu Feng, Pang Shaojun, Shan Tifeng, et al. A novel method to quantify the microscopic stages of *Ulva* species in seawater and its applications in forcasting Green Tides of the Yellow Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(6): 466-473.
- [11] 刘峰, 逢少军. 黄海浒苔绿潮及其溯源研究进展[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(3): 441-449.
  Liu Feng, Pang Shaojun. Research Advances on Green Tides in the Yellow Sea[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(3): 441-449.
- [12] Liu Dongyan, Keesing J K, Xing Qianguo, et al. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58: 888-895.
- [13] Liu Dongyan, Keesing J K, Dong Zhijun, et al. Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China: *Porphyrayezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60: 1423-1432.
- [14] 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.
  Li Ruixiang, Wu Xiaowen, Wei Qinsheng, et al. Growth of *Enteromorpha prolifera* under different nutrient conditions[J]. Advances in Marine Science, 2009, 27(2): 211-216.
- [15] 李俭平,赵卫红,付敏,等. 氮磷营养盐对浒苔生长 影响的初步探讨[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 45-48.
  Li Jianping, Zhao Weihong, Fu Min, et al. Preliminary study on the effects of nitrogen and phosphorus on the growth of *Enteromorpha prolifera*[J]. Marine Sciences, 2010, 34(4): 45-48.
- [16] 李三妹,李亚军,董海硬,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): 76-82.

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): 76-82.

[17] Hu Chuanming, He Mingxia. Origin and offshore extent of floating algae in Olympic Sailing area[J]. EOS Transactions, American Geophysical Union, 2008, 89(33): 302-303.



- [18] 钟山, 丁一, 李振, 等. MODIS 浒苔遥感监测误差分 析研究[J]. 遥感信息, 2013, 28(1): 38-42.
  Zhong Shan, Ding Yi, Li Zhen, et al. Error analysis on *Enteromorpha prolifera* monitoring using modis data[J].
  Remote Sensing Information, 2013, 28(1): 38-42.
- [19] 于风. 青岛\_黄海浒苔卫星光学遥感[D]. 青岛: 中国 海洋大学, 2010.

Yu Feng. Satellite optical remote sensing of *Ulva prolifera* in coastal waters off Qingdao and the Yellow Sea of China[D]. Qingdao: Ocean University of China. 2010.

[20] Hu Chuanming. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans[J]. Remote Sensing Enviroment, 2009, 113(10): 2118-2129.

## Remote sensing of the Yellow Sea green tide evolution in 2015

LU Rong-yang<sup>1, 2</sup>, SHEN Hui<sup>1</sup>, LI Da-wei<sup>1, 2</sup>

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Jan. 27, 2016

Key words: the Yellow Sea; Ulva prolifera; MODIS (moderate-resolution imaging spectrometer); remote sensing

**Abstract:** A macroalgae detection index based on moderate-resolution imaging spectrometer (MODIS) data is applied to monitor the evolution of a green tide during 2015. The earliest observation of *Ulva prolifera* patches offshore Subei area was in May 13<sup>th</sup>. Strips of *Ulva prolifera* developed into two branches, northward and eastward, both of which expanded. The northward strip gradually developed into one united massive pattern, while the eastward strip remained scattered. After the northward strip reached the end of Shandong Peninsula, a huge-scale landing process began along the coast of Rushan—Qingdao—Haiyang. The strips persisted offshore Subei area until August 5<sup>th</sup>. Subsequently, the massive *Ulva prolifera* bloom was not detected in MODIS images.

(本文编辑:李晓燕)