

基于 GOCI 的 2017 年南黄海浒苔演变遥感分析*

宋德彬^{1,2} 高志强^{1①} 徐福祥^{1,2} 艾金泉³ 宁吉才¹
尚伟涛^{1,2} 姜晓鹏^{1,2}

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003; 2. 中国科学院大学 北京 100049;
3. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室 上海 200241)

摘要 本文应用 GOCI 高时间分辨率遥感影像, 提取浒苔敏感波段并构建合适的评价指标, 对 NDVI、IGAG、KOSC 绿潮主流算法探测能力进行比较, 结合目视解译和阈值分割法, 对 2017 年南黄海浒苔信息进行提取并进行演变特征分析。结果表明: NDVI 算法的探测能力和稳定性显著优于其他两种, GOCI 影像 7、8 近红外波段的选择对浒苔提取结果存在一定影响, 最优为 7、5 波段组合; 2017 年浒苔总体经历了“出现-发展-暴发-衰退-消亡”五个阶段, 持续时间约为 68d, 影像中浒苔最早出现在 5 月 13 日的盐城外海海域, 最后出现在 7 月 12 日, 最大覆盖面积出现在 6 月 4 日, 为 2363.12km², 在风、流场共同作用下, 先向北移动, 后在 6 月下旬沿山东半岛南侧转向东北, 前锋位置最终停滞于青岛-烟台-威海一线并逐渐消亡。其发展规律与运移路径与往年相似, 但持续时间与暴发时期最大覆盖面积显著少于往年, GOCI 影像高时间分辨率的优势使浒苔灾害的逐小时动态监测成为可能。

关键词 GOCI; 浒苔; 南黄海; 遥感

中图分类号 P731 doi: 10.11693/hyhz20171200330

近年来, 我国近海海洋生态灾害频发, 有害藻类暴发频率逐渐增加、规模不断扩大(孙松等, 2012), 其中黄海海域每年 4—8 月期间持续发生不同规模的绿潮灾害, 尤其在 2008 年夏季奥运会期间浒苔曾在青岛近岸暴发成灾, 受到社会广泛关注和政府的高度重视(杨佰娟等, 2009)。由于绿潮暴发突然, 发展漂移受风、流场影响具有不确定性, 实际成灾面积达成百上千平方公里, 传统的船测调查手段无法适应浒苔的高频率演变特征。遥感技术因其较高的时效性、经济性和大范围观测能力, 已成为绿潮动态观测的重要方法(吴玲娟等, 2013; 赵英时, 2013)。

国内外学者在绿潮的遥感监测方面展开诸多研究。在数据源选择上, 吴孟泉等(2014)利用 MODIS 数据对 2008 年至 2012 年山东半岛绿潮暴发特征进行提取, 发现从面积、影响范围、相对聚集度等指标综

合来看, 2008、2009 年浒苔暴发较为严重; 吴传庆等(2015)将环境卫星 CCD 数据与人工辅助判读法相结合, 研究 2013 年黄海夏季浒苔发生与发展过程的, 发现能提供更加精确的浒苔覆盖面积, 是绿潮监测的有效手段; 在浒苔提取算法上, 发展出监督分类、单波段阈值分割、多波段比值、辐射传输模型等方法(邱亚会等, 2015), 如 Hu(2009)提出一种新的浮游藻类指数 FAI(Floating algae index)并对青岛附近海域浒苔信息进行监测, 效果相对 NDVI 指数较好; Shi 等(2009)基于 MODIS 数据提出归一化藻类指数 NDAI(normalized difference algae index), 并应用于 2008 年黄海绿潮监测中; Xing 等(2016)提出 VB-FAH 浮藻遥感识别指数(virtual-baseline floating microalgae height), 结合 Landsat 卫星数据对黄海绿潮信息进行监测; 赵文静等(2009)针对悬浮浒苔展开反射率与

* 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目, 2016ASKJ02 号; 国家自然科学基金项目, 41876107 号; 山东省联合基金项目, U1706219 号; 科技部基础支撑项目, 2014FY210600 号。宋德彬, 博士研究生, E-mail: dbsong@yic.ac.cn

通讯作者: 高志强, 研究员, 博士生导师, E-mail: zqgao@yic.ac.cn

收稿日期: 2017-12-29, 收修改稿日期: 2018-07-15

浒苔厚度、悬浮深度、水体浑浊度等要素变化规律的研究。综合各研究,发现有关绿潮提取算法的对比研究较少,随着 GF-4、GOCI 等静止轨道卫星的业务化运行,绿潮的遥感监测的时间分辨率提高,而相关研究鲜有报道。

本文基于 GOCI 卫星数据,对常见的浒苔提取算法进行对比,选出适用于 GOCI 影像的业务化算法,分析 2017 年南黄海浒苔灾害演变,并研究浒苔暴发时期的逐小时变化特征,弥补了相关传感器时间分辨率低的缺陷,以期对相关决策提供更快、更宏观的数据支持。

1 数据与方法

1.1 研究区与数据

本文研究范围位于黄海中部及南部海域(32°—37°N, 119°—124°E, 图 1),冬季盛行西北风,夏季为东南季风,区域内的青岛、日照、连云港、盐城等主要城市,社会经济发达。诸多研究(Liu *et al*, 2009; 范士亮等, 2012)认为苏北浅滩的大规模紫菜养殖和收割是浒苔灾害暴发的源头,后在风、流场、温度、营养盐等有利条件下大规模繁殖(李德萍等, 2009),形成覆盖山东、江苏海域的绿潮灾害。

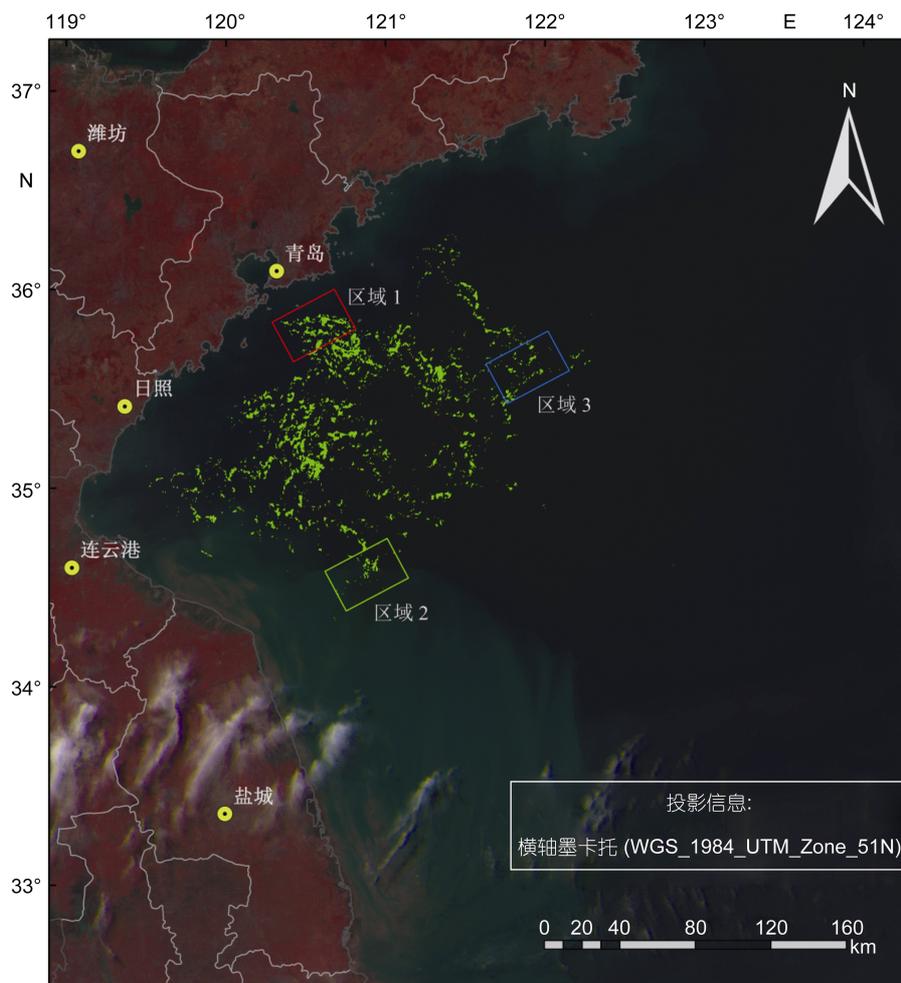


图 1 研究区概况

Fig.1 Location of the study area

本研究使用的 GOCI 数据由搭载在 COMS (Communication, Ocean & Meteorological Satellite) 卫星上的静止轨道海洋水色成像仪(Geostationary Ocean Color Imager) 获取,覆盖了从 412—865nm 的可见光和近红外共 8 个波段,能实现从上午 8:00 到下

午 15:00(北京时间)的逐小时观测,其时间分辨率(1h)和空间分辨率(500m)优势可用于沿岸海洋环境监测。本文筛选 2017 年 5—7 月间南黄海海域无云有效数据 27 景,其中浒苔达到最大覆盖面积当天 8 景,作为本文研究数据。

1.2 浒苔提取算法

浒苔具有与陆地植物类似的光谱反射特征,在可见光波段反射率较低,在近红外波段反射率较高,与水体的光谱差异极为明显(Hu *et al.*, 2010)。由于GOCI数据光谱分辨率较粗糙,导致波长与波段的对应关系模糊,本文随机选取浒苔暴发时期的三个子区域(图1),基于目视解译法分别选取了绿潮和海水端像元样本,探讨在GOCI不同波段处的反射率特征(图2),发现水体和浒苔信息在1—6波段区别不明显,浒苔反射率在7、8近红外波段呈现明显的上升态势,和洁净水体拉开差距。

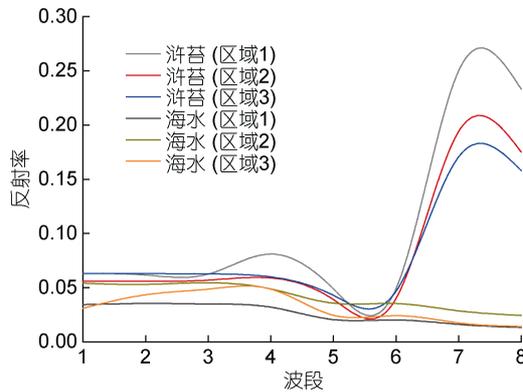


图2 研究区浒苔与海水的光谱特征曲线

Fig.2 Characteristic spectra of *Ulva prolifera* and seawater of the study area

对已完成校正和裁剪的影像数据,使用如下三种GOCI主流的浒苔探测算法:NDVI、IGAG(Son *et al.*, 2012)、KOSC分别得到计算结果,并基于阈值分割和目视解译,对同一景影像中的分割阈值进行了统一以减少人工判读的误差。

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R}, \quad (1)$$

$$IGAG = \frac{R_G - R_R}{R_{NIR} + R_R} \cdot \frac{R_{NIR}}{R_R}, \quad (2)$$

$$KOSC = \frac{\text{Max}(R_G - R_R \cdot R_{NIR})}{R_R}, \quad (3)$$

式中, R_G 、 R_R 、 R_{NIR} 为绿波段、红波段和近红外波段的反射率,分别对应GOCI的4、5或6及7或8波段。评价绿潮算法的探测能力,重点是衡量算法对浒苔、海水两者的分辨能力和结果的稳定性,分辨能力强、稳定性高的算法可作为浒苔提取的业务化算法,本文提出如下指标对浒苔算法展开定量评价:

$$P = \frac{(\bar{X}_G - \bar{X}_w)^2}{\sigma_G^2 - \sigma_w^2}, \quad (4)$$

式中, \bar{X}_G 、 \bar{X}_w 为不同算法得到的浒苔和海水的计算结果均值, σ_G^2 、 σ_w^2 为对应的方差, P 值越大,表明该方法对浒苔和海水信息的分辨能力越强,计算方差越小,反之探测能力较弱。

1.3 技术流程

本文下载的GOCI影像首先在GDPS(GOCI Data Processing System)软件中完成辐射定标、大气校正工作,根据官网经纬度数据,在ENVI软件中完成基于GLT的空间校正,并根据掩膜裁剪研究区,实现水陆分离,通过比较不同算法的提取能力,得到适用于GOCI的浒苔业务化算法,实现对2017年南黄海浒苔演变特征的提取。

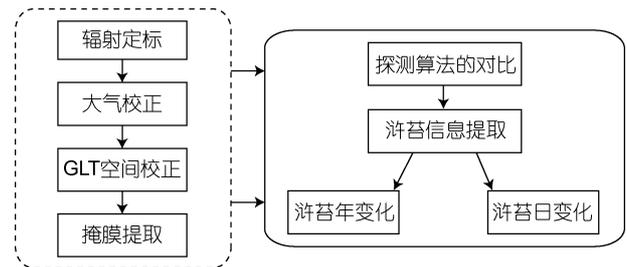


图3 GOCI数据处理流程

Fig.3 Flowchart of the GOCI data processing

2 结果与讨论

2.1 不同算法探测能力的对比

由于在GOCI数据中,红色波谱(660—680nm)对应5、6波段,近红外波谱(780—3000nm)对应7、8波段,因此针对上述3种算法,每种算法两两结合共有4种可能,选择浒苔不同发展阶段共8景影像数据,对每种算法的四种波段组合分别进行探测能力 P 值的计算,结果如表1所示。

由各算法及波段组合的对比结果来看,在探测能力上,NDVI算法在6景影像中排名第一,在6月4日和6月9日浒苔暴发时期,探测能力排第二位,而IGAG算法在这两景影像中则排名第一,表明IGAG算法对浒苔暴发时期的提取结果较准确,其他时期则表现不如NDVI稳定,KOSC在绿潮监测能力上显著差于NDVI和IGAG算法;从不同时期的对比结果来看,浒苔的发展对不同算法的提取结果也存在差异,类似于IGAG,NDVI和KOSC算法在浒苔暴发的6月前期数据中也表现出上升的趋势,而在浒苔发展和衰退阶段,各算法 P 值略低于浒苔暴发时期;从不同波段组合的角度分析,发现当 R 选择5、6波段时

的 P 值差异要显著小于 NIR 选择 7、8 时的差异, 结合 GOCI 波段范围, 这种原因可能是由 5、6 波段之

间的波宽间隔小于 7、8 波段造成的, 说明近红外波段选择的适当性对提取结果可能存在较大影响。

表 1 不同算法探测能力评价 P 值表

Tab.1 The P -value table of detecting ability of different algorithms for each method

NIR/R	NDVI				KOSC				IGAG			
	7/6	7/5	8/6	8/5	7/6	7/5	8/6	8/5	7/6	7/5	8/6	8/5
05-16	10.23	12.65	8.98	8.09	4.54	8.78	6.59	9.67	2.33	7.43	3.29	7.39
05-21	10.99	11.32	8.53	10.01	3.87	5.29	8.40	9.36	4.78	5.67	7.40	6.09
05-28	11.94	13.07	6.63	7.86	9.09	8.90	4.52	9.04	6.49	3.09	4.39	4.16
06-04	12.39	12.45	9.05	9.09	16.91	17.03	14.22	12.52	16.10	21.49	14.69	19.60
06-09	12.02	11.98	8.91	10.00	9.09	10.18	4.67	10.86	18.18	17.05	15.38	19.39
06-16	11.98	13.32	10.73	12.35	2.34	7.39	8.89	15.39	5.39	4.99	7.47	5.50
06-25	13.02	13.54	8.49	9.36	5.56	9.01	7.40	4.04	5.60	6.38	2.75	5.39
07-12	9.91	10.98	7.74	8.99	1.90	5.39	6.09	3.55	6.91	3.09	7.26	7.59
均值	11.56	12.41	8.63	9.47	6.66	9.00	7.60	9.30	8.22	8.65	7.83	9.39

综合来看, NDVI 算法的绿潮探测能力显著高于 KOSC 算法及 IGAG 算法, 且在不同景影像数据中, P 值表现稳定, 因此将 NDVI 算法中 P 值最高的 7、5 波段组合作为本研究的浒苔提取算法。

2.2 浒苔的时空演变特征

2.2.1 浒苔的年变化及路径分析

本研究应用 NDVI 绿潮提取算法($R=5$, $NIR=7$), 结合目视解译和阈值分割法, 对前文已完成预处理工作的研究区影像进行绿潮信息的提取, 选取不同发展阶段的绿潮时空分布特征, 如图 4 所示; 图 5 为绿潮覆盖面积的变化。

根据绿潮覆盖面积规模和增长速率, 可将 2017 年南黄海浒苔发展过程划分为“发现-发展-暴发-衰退-消亡”五个阶段(图 5), 本研究于 5 月 13 日首先在江苏盐城外海开阔海域发现漂浮浒苔的零星斑块, 覆盖面积为 70.31km^2 , 因此浒苔的形成应不晚于 5 月上旬; 5 月中旬到月底为浒苔的发展期, 期间浒苔覆盖面积以 $20\text{—}30\text{km}^2/\text{d}$ 的速度缓慢增长, 图像中浒苔零星斑块逐渐聚集成团状, 其前锋向北发展到江苏、山东毗连海域; 从 6 月初至 6 月上旬时间段内, 浒苔受适宜海表温度的影响(衣立等, 2010; 孙慧等, 2016), 进入快速暴发阶段, 从江苏盐城至山东青岛的广阔海域内都有浒苔分布, 覆盖面积从 6 月 2 日的 1492.7km^2 增至 6 月 4 日的 2363.12km^2 , 达到峰值, 浒苔前锋位置距山东海岸线东南 $10\text{—}20\text{km}$, 具备登陆条件; 进入 6 月中上旬至 7 月初, 浒苔覆盖面积以 $60\text{—}70\text{km}^2/\text{d}$ 的速度快速衰退, 其中 6 月 14 日—17 日期间衰退最为显著, 达 $144.3\text{km}^2/\text{d}$, 积聚成团状的

浒苔也逐渐破碎化为斑块状, 其前锋位置转向东北迁移至海阳近岸; 至 7 月 12 日, 浒苔覆盖面积仅为 14.32km^2 , 零碎斑块散布于青岛-烟台-威海近岸 50km 范围内, 断定浒苔灾害消亡, 此次浒苔灾害持续时间约为 68d。

研究表明 2017 年南黄海浒苔迁移路径、时空分布特征与往年变化过程大体一致, 但持续时间显著弱于往年, 整个周期出现得晚、消失得早, 且浒苔最大覆盖面积也小于往年数据(杨静等, 2017)。

利用 ArcGIS 的 Mean Center 工具找出各时相浒苔的中心位置, 以此代表该时相浒苔的漂移重心并绘制浒苔逐期漂移轨迹, 如图 4f 所示: 浒苔在 6 月中上旬前, 漂移趋势自东南向西北, 此阶段伴随浒苔的发展、暴发期, 并陆续在青岛、烟台、威海沿岸登陆; 进入衰退期后, 面积不断减少的浒苔沿山东海岸线走向转为东北漂移, 并集中登陆沿岸, 直至消亡。整个阶段浒苔最大日漂移速度为 $6.3\text{km}/\text{d}$, 最小日漂移速度为 $3.1\text{km}/\text{d}$, 有关研究表明, 浒苔的迁移速率、方向和实时的风、流场密切相关(郑向阳等, 2011; 李曰嵩等, 2014; 马艳等, 2015), 但漂移驱动机制存在着时空差异(夏深圳, 2016)。GOCI 影像较高的时间分辨率为浒苔漂移路径、速率与风、流场叠置分析的相关研究提供了可能。

2.2.2 浒苔的日变化及路径分析

本文选取了 6 月 4 日浒苔覆盖面积最大的一天, 监测了其从北京时间 8 点到 15 点的逐小时浒苔动态演变, 结果如图 6 所示。

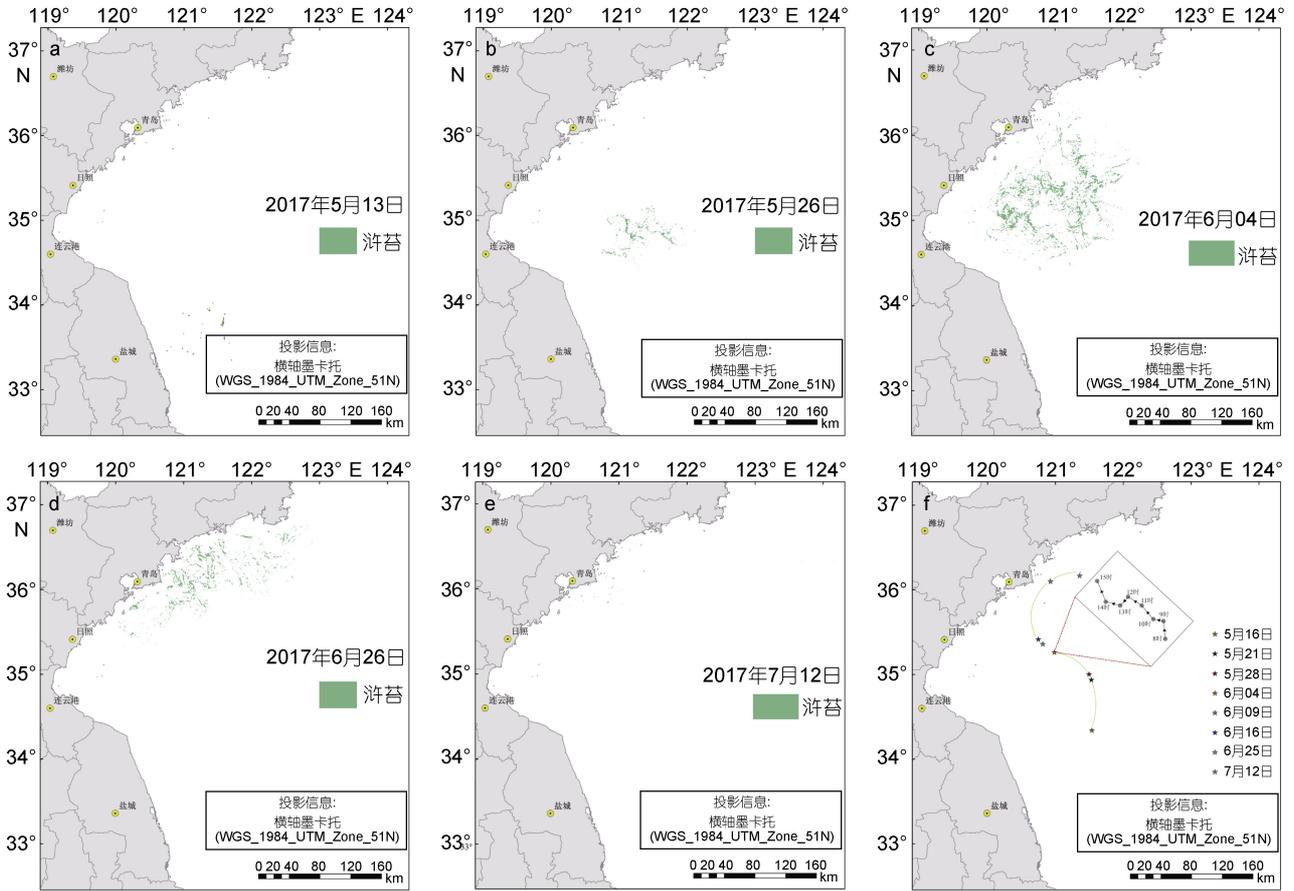


图4 研究区2017年浒苔发展时空分布图

Fig.4 The spatial and temporal distribution of *ulva prolifera* in the study area, 2017

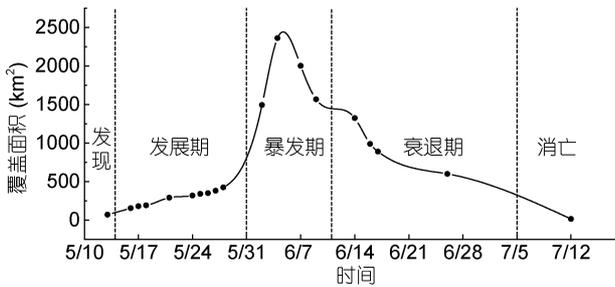


图5 研究区2017年浒苔覆盖面积变化

Fig.5 The coverage area of *ulva prolifera* in the study area, 2017

在运移路径上(图4f), 浒苔在8点至12点自东南向西北漂移, 与该时期浒苔迁移路径大方向保持一致, 该阶段平均漂移速率达271.93m/h; 12点到14点, 浒苔斑块经历了短暂的向西南和向西漂移, 图6a绿色和红色部分分别为12点、13点的浒苔分布, 红色斑块比绿色部分存在明显向西南漂移的趋势, 其漂移速率为192.06m/h; 14点到15点, 浒苔继续沿海岸线方向自东南向西北迁移, 速率为303.56m/h。

从浒苔覆盖面积日变化曲线分析(图6b), 呈先增长再减小的“M”型变化, 在10点和13点存在两个高峰, 最大覆盖面积出现在13点, 达到2363.12km², 最小值为15点的2219.35km²。剔除提取结果的影响, 梁宗英等(2008)的研究表明造成此现象的原因是浒苔的浮力会随着光合效率发生改变, 10—13点时间段光照充足, 悬浮水下的藻类细胞为更好进行光合作用而上浮, 导致相同阈值条件下提取的浒苔面积增大, 与有关学者在东海赤潮藻的研究类似(Lou *et al*, 2014), 表现出藻类趋光性的生物特征; 浒苔在12点左右覆盖面积减少, 尚无文献对此作出解释, 猜测过强光照可能会使藻类细胞蒸腾作用上升, 气孔关闭, 致使光合速率下降, 因此浒苔对光照应要求有一定适宜区间, 这还需要未来研究数据的验证。

3 结论

本文基于GOCI遥感数据, 利用目视解译和阈值分割法, 对NDVI、IGAG、KOSC三种主流浒苔提取

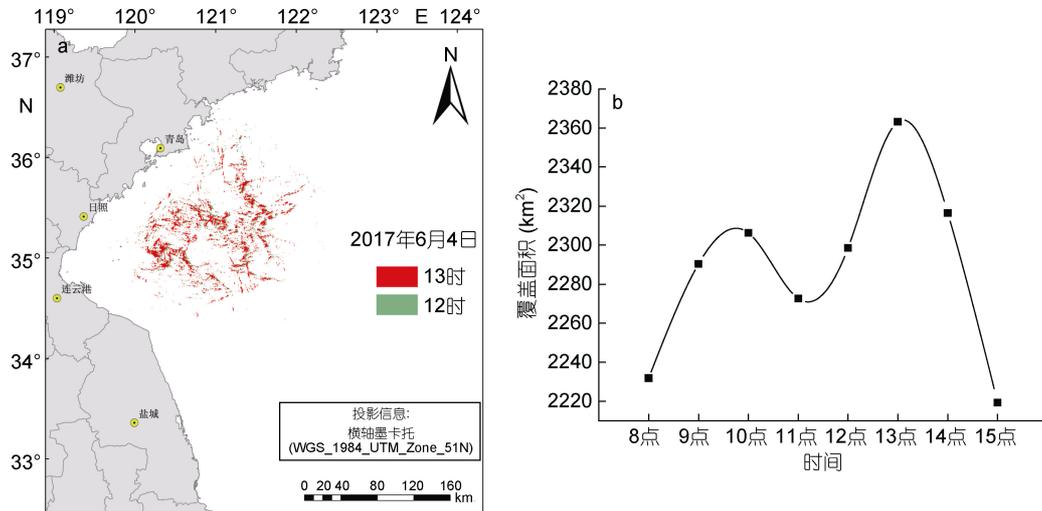


图 6 研究区 6 月 4 日年浒苔逐小时发展分布图

Fig. 6 The hourly spatial and temporal distribution of *Ulva prolifera* in the study area on July 4

算法的探测能力进行了比对,并筛选出最优波段组合,对 2017 年南黄海浒苔特征信息进行了提取,结论如下:

(1) NDVI 算法的浒苔探测能力显著优于 IGAG 和 KOSC,表现稳定,可作为 GOCI 数据的浒苔提取业务化算法;5、6 红波段之间差异小于 7、8 近红外波段,近红外波段选择对浒苔提取结果影响较大,本文确定的最优组合为 5、7 波段。

(2) 南黄海 2017 年浒苔迁移路径、时空分布特征与以往变化过程大体一致,但持续时间显著比往年短,整个周期出现得晚、消失得早,且浒苔最大覆盖面积也小于往年。

(3) GOCI 影像较高的时间分辨率为浒苔漂移路径、速率与风流场叠置分析的相关研究提供了可能,浒苔覆盖面积的日变化曲线受光合效率影响呈“M”型。GOCI 与风流场、温度等水文数据相结合,可实现浒苔演变发展更深层次的研究,这也是下一步工作的重点。

致谢 感谢韩国海洋科学技术院提供的 GOCI 卫星数据和 GDPS 数据处理软件。

参 考 文 献

马 艳,郭丽娜,黄 容等,2015. 2008—2010 年青岛近海浒苔暴发气象条件及其漂移特征. 气象与环境学报, 31(4): 89—96

衣 立,张苏平,殷玉齐,2010. 2009 年黄海绿潮浒苔暴发与漂移的水文气象环境. 中国海洋大学学报, 40(10): 15—23

孙 松,于志刚,李超伦等,2012. 黄、东海水母暴发机理及其生态环境效应研究进展. 海洋与湖沼, 43(3): 401—405

孙 慧,谢小平,2016. 基于 MODIS 数据的日照市近海浒苔监测及影响因子分析. 国土资源遥感, 28(1): 144—151

李曰嵩,潘灵芝,肖文军等,2014. 风对黄海绿潮藻漂移的影响. 海洋环境科学, 33(5): 772—776

李德萍,杨育强,董海鹰等,2009. 2008 年青岛海域浒苔大爆发天气特征及成因分析. 中国海洋大学学报, 39(6): 1165—1170

杨 静,张 思,刘桂梅,2017. 基于卫星遥感监测的 2011—2016 年黄海绿潮变化特征分析. 海洋预报, 34(3): 56—61

杨佰娟,郑 立,陈军辉等,2009. 黄、渤海漂移浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 脂肪酸组成及聚类分析的研究. 海洋与湖沼, 40(5): 627—632

吴传庆,马万栋,王雪蕾等,2015. 基于环境卫星 CCD 数据的黄海浒苔遥感监测. 中国环境科学, 31(3): 161—165

吴孟泉,郭 浩,张安定等,2014. 2008 年-2012 年山东半岛海域浒苔时空分布特征研究. 光谱学与光谱分析, 34(5): 1312—1318

吴玲娟,曹丛华,高 松等,2013. 我国绿潮发生发展机理研究进展. 海洋科学, 37(12): 118—121

邱亚会,卢剑波,2015. 浒苔遥感监测研究进展. 生态学报, 35(15): 4977—4985

范士亮,傅明珠,李 艳等,2012. 2009—2010 年黄海绿潮起源与发生过程调查研究. 海洋学报, 34(6): 187—194

郑向阳,邢前国,李 丽等,2011. 2008 年黄海绿潮路径的数值模拟. 海洋科学, 35(7): 82—87

赵文静,张 杰,崔廷伟等,2009. 水下悬浮浒苔海面光谱响应的辐射传输模拟. 光谱学与光谱分析, 29(6): 1656—1660

赵英时,2013. 遥感数据源. 见: 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 2 版. 北京: 科学出版社, 34—35

夏深圳,2016. 基于遥感的黄海浒苔漂移速度与驱动机制研究. 南京: 南京大学硕士学位论文, 62—63

梁宗英,林祥志,马 牧等,2008. 浒苔漂流聚集绿潮现象的初步分析. 中国海洋大学学报, 38(4): 601—604

Hu C M, 2009. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. Remote Sensing of Environment, 113(10): 2118—2129

- Hu C M, Li D Q, Chen C S *et al*, 2010. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C5): C05017
- Liu D Y, Keesing J K, Xing Q G *et al*, 2009. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China. *Marine Pollution Bulletin*, 58(6): 888—895
- Lou X L, Hu C M, 2014. Diurnal changes of a harmful algal bloom in the East China Sea: observations from GOCI. *Remote Sensing of Environment*, 140: 562—572
- Shi W, Wang M H, 2009. Green macroalgae blooms in the Yellow Sea during the spring and summer of 2008. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C12): C12010
- Son Y B, Min J E, Ryu J H, 2012. Detecting massive green algae (*Ulva prolifera*) blooms in the Yellow Sea and East China Sea using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) data. *Ocean Science Journal*, 47(3): 359—375
- Xing Q G, Hu C M, 2016. Mapping macroalgal blooms in the Yellow Sea and East China Sea using HJ-1 and landsat data: application of a virtual baseline reflectance height technique. *Remote Sensing of Environment*, 178: 113—126

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE GREEN TIDE IN THE SOUTH YELLOW SEA IN 2017 DECIPHERED FROM THE GOCI IMAGE

SONG De-Bin^{1,2}, GAO Zhi-Qiang¹, XU Fu-Xiang^{1,2}, AI Jin-Quan³,
NING Ji-Cai¹, SHANG Wei-Tao^{1,2}, JIANG Xiao-Peng^{1,2}

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3. *Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200241, China*)

Abstract Based on the visual interpretation and threshold segmentation method, we evaluated the difference of green tide detection algorithms including NDVI, IGAG, and KOSC by building suitable indices, and monitored the outbreak of green tide in the South Yellow Sea, 2017 and its evolution. The results show that NDVI is significantly better than the other two methods in both extraction capability and stability, and the selection of 7 or 8 NIR band in GOCI may affect the final extraction result somewhat while the best band combination is 5 and 7. The outbreak of a green tide in 2017 lasted for 65 days in five stages: appearance, development, outbreak, recession, and disappearance. The outbreak started in the open waters near Yancheng, Jiangsu Province on May 16, reached the maximum coverage area of 2363.12km² on June 4 and disappeared from the remote sensing image on July 12. Under the combined action of the airflow field, the migration path moved northward first and then shifted northeastward along the southern flank of the Shandong Peninsula in late June and its frontline stayed in Qingdao-Yantai-Weihai until it died out. The development and migration path of the green tide is similar to those in previous years, while the duration time of the whole period and the maximum coverage area were significantly less. Our work shows that the GOCI image of high temporal resolution is applicable to the study on the migration path and speed of a green tide.

Key words GOCI; *ulva prolifera*; the south Yellow Sea; remote sensing