

基于MODIS的2019年中国南黄海绿潮生消过程分析

刘旭^{1,2}, 田杰¹, 吴彬锋¹, 滕骏华¹, 何恩业¹

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 2. 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘 要: 基于MODIS影像数据, 通过归一化植被指数法提取2019年绿潮信息, 分析了水温和降水对浒苔生消过程的影响。结果表明: 2019年浒苔灾害最早出现时间为4月下旬, 最晚时间为9月中旬, 绿潮生消过程总体分成5个阶段, 分别为初期发育期(4月下旬—5月中旬)、中期生长期(5月中旬—6月上旬)、快速生长期(6月上旬—7月上旬)、成熟白化期(7月上旬—中旬)和快速消亡期(7月中旬—9月中旬)。6月23日, 绿潮覆盖面积和分布面积均达到当年峰值, 分别为780 km²和59 420 km², 水温为22 ℃。绿潮的覆盖面积变化随水温季节性的升高呈现先上升后下降的走势, 降雨对绿潮覆盖面积的增长有一定的刺激作用。

关键词: 绿潮; MODIS; 归一化植被指数法; 水温; 降雨

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1003-0239(2021)05-0053-07

1 引言

绿潮通常是指由于大型绿藻(如浒苔)的过度增殖、生长和聚集而形成的一种生态灾害^[1], 它不仅给海洋生态环境带来一定的影响, 也给我国南黄海沿岸造成了巨大的经济损失^[2-4]。自2007年首次监测到青岛浒苔绿潮规模性聚集以来^[5-6], 国内外藻类学、生态学、物理海洋学以及遥感学等不同领域专家围绕绿潮展开研究^[7-8], 主要集中在浒苔灾害暴发的原因^[9-13]、生物学机制^[14]和遥感卫星监测^[15-17]等方面。

相较于传统的现场监测调查评估方法^[18], 遥感技术监测具有大范围、全天候、多频次和低成本的特点^[5-6, 19], 是监测和预判绿潮时空分布特征的有效手段^[6, 20]。目前, 利用海洋一号卫星(HY-1C)、中分辨率成像光谱仪(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)、环境一号卫星(HJ-1)、地球静止海洋水色成像仪(Geo-stationary Ocean Color Imager, GOCI)、高分一号卫星(GF-1)、

Landsat 8等光学卫星数据和合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)数据基本实现了绿潮的综合监测^[16, 21-24], 其中, MODIS影像具有幅宽大、数据源稳定、光谱信息丰富和免费获取的特点, 可保障数据的连续性和绿潮的大范围宏观监测^[22, 25]。但是, MODIS数据存在空间分辨率较低(250 m)的问题, 应用的归一化植被指数法(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)存在混合像元等问题, 从而导致浒苔覆盖面积提取误差偏高, 制约了浒苔遥感监测的应用效率和绿潮灾害的应急决策水平。

绿潮覆盖面积的精细化提取逐渐成为绿潮遥感研究热点, 方法主要包括线性混合光谱模型、模糊监督分类模型和神经网络模型等^[16-17, 25], 其中混合像元分解模型可有效提高精度。研究绿潮生消过程及其影响因素对于分析预判南黄海绿潮分布特征和灾害预警具有重要指导意义^[26-29]。本文采用线性像元分解法对2019年绿潮覆盖面积进行提取, 跟踪监测并分析了水温和降雨对我国南黄海浒苔规

收稿日期: 2019-11-06; 修回日期: 2020-07-07。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1407402、2016YFC1401605); 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)自主科研项目(SML2020 SP008); 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室开放基金课题(MESTA-2020-B012)。

作者简介: 刘旭(1986-), 女, 工程师, 博士, 主要从事海洋灾害评估及系统分析。E-mail: fairyjube@126.com

模性生长和聚集过程的影响,以期为绿潮高发区的监测预报及防灾减灾提供信息支撑。

2 数据与方法

2.1 研究区与数据

研究区域为南黄海海域(33°~38°N, 119°~123°E),区域内主要城市为青岛、日照、连云港和盐城。遥感数据采用250 m分辨率的MODIS数据。筛选出2019年5—9月绿潮在南黄海海域生长爆发期间,云覆盖度较低且成像条件较好的36景影像作为研究数据,对2019年绿潮演变进行动态分析^[30]。水温和降雨量数据来源于日照和吕泗浮标(10 m),时间分辨率为1 h。

2.2 数据预处理

利用ENVI(ENvironment for Visualizing Images)软件对影像进行几何校正、大气校正、镶嵌裁剪和陆地掩膜等处理(见图1),选取影像中的1波段、6波段、8波段和26波段的反射率数据,利用多波段阈值法提取云像元,进行云掩膜处理^[31]。

2.3 NDVI 阈值法

浒苔在可见光红光波段反射率较低,在近红外波段反射率较高,与水体的光谱差异较为明显^[15,31]。监测方法主要包括单波段阈值法、多波段比值算

法、叶绿素 α 浓度反演算法、图像分类法、NDVI、归一化藻类指数和漂浮藻类指数等方法^[16,32-35]。综合对比各算法的监测能力,NDVI对绿潮各个生长阶段的监测能力均较强,这也是海洋监测技术规程推荐采用的方法^[18],因此选用NDVI法对浒苔生消演变进行监测。

NDVI算法是基于近红外的反射峰与红光波段叶绿素引起的强吸收谷之间的差值特征建立的植被信息提取模型,公式如下:

$$NDVI = \frac{R(NIR) - R(RED)}{R(NIR) + R(RED)}$$

式中,NDVI为归一化植被指数; R 为反射率; NIR 为近红外通道; RED 为红光通道。对于MODIS传感器, NIR 选取波段2, RED 选取波段1。

理论上,当海面 $NDVI > 0$ 时,初步判定为发生绿潮。但是,MODIS遥感影像还会受到薄云和条带噪声的影响,在实际操作中,还需结合假彩色合成图像进行阈值调整和判定^[30]。用NDVI阈值法提取含有浒苔的像元,应用浒苔像元对光谱分解结果掩膜,与假彩色合成影像建立动态分析过程,通过动态NDVI阈值进行绿潮图斑分割^[30,36]。

3 结果与分析

3.1 绿潮信息提取结果

基于假彩色合成图筛选出无云或少云覆盖的36期MODIS卫星遥感影像,特别选取11期浒苔爆发阶段的监测结果着重分析(见表1)。浒苔生命周期(4月下旬—9月中旬)总体可分成5个阶段:初期发育期(4月下旬—5月中旬)、中期生长期(5月中旬—6月上旬)、快速生长期(6月上旬—7月上旬)、成熟白化期(7月上旬—中旬)和快速消亡期(7月中旬—9月中旬)。在遥感影像上,初期发育期表现为零星的小斑块浒苔,中期生长期逐渐成长为小聚集性条带状大斑块,快速生长期表现规模性大斑块,成熟白化期表现为浒苔斑块NDVI值出现高转低的过程,快速消亡期为斑块消失的过程。从浒苔出现到消亡的过程中,根据MODIS影像绿潮聚集区出现时间、位置、聚集形态、边缘线及不同生长阶段亮度变化等因素,结合当日海面风和海流的数值预报

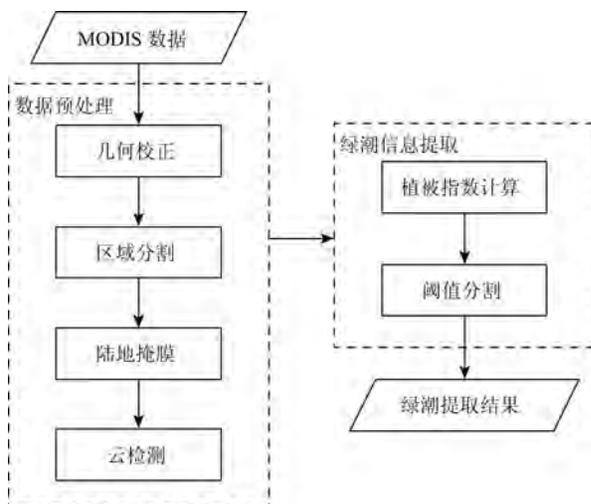


图1 基于MODIS数据绿潮覆盖面积提取流程图

表1 2019年南黄海绿潮分布动态变化表

时间 /(月/日)	第一波浒苔 覆盖面积/km ²	第二波浒苔 覆盖面积/km ²	第三波浒苔 覆盖面积/km ²	第四波浒苔 覆盖面积/km ²	总覆盖 面积/km ²	总分布 面积/km ²	聚集度 /%
6/10	43	181 ii	106 ii	—	330	20 900	1.44
6/15	32	248 iii	255 iii	25 i	560	35 430	1.58
6/23	48	257	275	200 ii	780	59 420	1.31
6/29	v	50	117	220 iii	387	36 482	1.06
7/1	—	141	201	133	475	36 482	1.30
7/2	—	90	176	199	465	50 156	0.93
7/3	—	68	167	230	465	47 581	0.98
7/5	—	35	89	103	227	55 702	0.41
7/8	—	35 iv	100	119	254	34 681	0.73
7/12	—	1 v	9 iv	45	55	16 220	0.34
7/15	—	—	2 v	116 iv	118	17 126	0.69

注: i 为初期发育期, ii 为中期成长期, iii 为快速生长期, iv 为成熟白化期, v 为快速消亡期

结果,通过人机交互识别覆盖面积内绿潮聚集区边缘线,将2019年绿潮分成4个波次(见表1)。图2为绿潮的遥感反演图。一般情况下,浒苔初期发育于江苏盐城附近,MODIS浒苔反演假彩图呈现出零星小斑块浒苔漂移;中期生长期随着浒苔向北漂移,生物量增加并呈现出小聚集性条带状大斑块特征;

快速生长期浒苔生物量迅速增加,表现为规模性大斑块(见图2a);成熟白化期表现为浒苔斑块NDVI值出现高转低的过程(见图2b中圈2);快速消亡期表现为斑块消失的过程(见图2b中圈1)。

4月下旬,首次发现零星浒苔漂浮位于江苏盐城外海。6月4日,遥感监测到绿潮覆盖面积达到

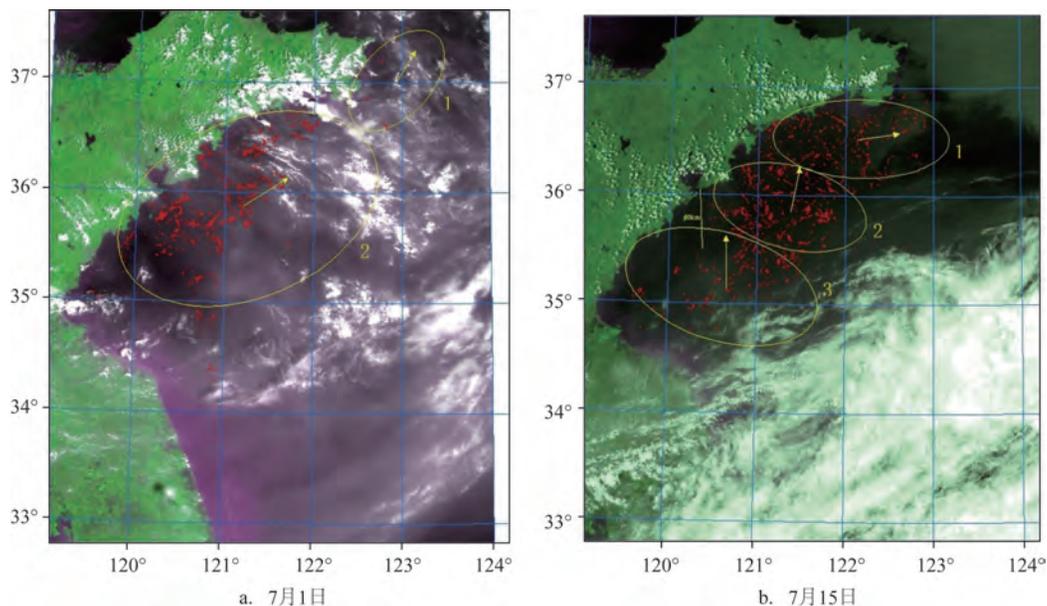


图2 绿潮遥感反演图(黄色线圈为分波标记,数字表示浒苔生成波次)

61 km²,分布面积约为18 000 km²,第一波浒苔分布范围前缘位置为121°26'E,35°42'N,距离青岛市和乳山市分别约90 km和100 km。根据《HY/T 217-2017 绿潮预报和警报发布》标准^[1],当日覆盖面积达到小规模绿潮水平,分布面积达到较大规模绿潮水平,因此加密监测频率。6月15日,浒苔覆盖面积达到较大规模绿潮水平,分布面积达到大规模绿潮水平,可发布黄色警报,并监测到新生成的第四波绿潮呈条带状生长分布。6月23日,覆盖面积达到较大规模绿潮水平,分布面积达到特大规模绿潮水平,均达到本年度峰值,可发布黄色警报。

6月29日,绿潮覆盖面积和分布面积开始逐渐缩小,第一波浒苔已未能监测到,第二波浒苔临近海阳和乳山并有少量登陆,第四波浒苔仍处于生长阶段。7月1—8日,第二波浒苔陆续登陆海阳、乳山、文登和荣成,并于7月12日开始逐渐消亡。7月1—12日,第三波浒苔陆续登陆即墨、青岛、海阳和乳山,7月12日进入成熟白化阶段。7月8—15日,第四波浒苔登陆日照、青岛、即墨、海阳和乳山,7月12日起生长速率逐渐减弱。在MODIS影像中,浒苔登陆时斑块亮度仍较强,因此推断尚未到达白化成熟阶段。登陆后,斑块亮度明显减弱,NDVI值逐渐减小,推断进入白化成熟期和快速消亡期。8月中旬—9月中旬还有少量残余浒苔。截止到9月中

旬,在MODIS影像上仍有部分可见,但距离海岸线较远,判断不会再次造成绿潮灾害。

从浒苔生活史过程看,初期发育期随着水温上升(10~15℃),浒苔开始大量萌发繁殖进入中期生长期。当达到最适宜条件时(15~20℃),浒苔进入快速生长期。当水温高于最适宜条件范围(25℃)时,进入成熟白化期^[37-40]。除了环境条件改变外,快速生长期之后还伴随着浒苔登陆和打捞工作的开展,也是绿潮覆盖面积减小的主要因素^[39]。

3.2 环境条件对绿潮覆盖面积的影响

位置距盐城最近的吕泗浮标的水温于3月14日达到10℃,4月17日达到15℃,5月18日达到20℃。实验室通过设置温度梯度分析浒苔对温度的敏感性,结果表明浒苔适宜生长水温范围为10~25℃,最高生长率水温范围为15~20℃,最适宜萌发水温为20℃^[27],25℃以上浒苔配子/孢子不具有耐高温性^[40]。吕泗浮标4月下旬水温达到15℃,盐城附近有零星浒苔漂浮^[40],出现日期水温与实验室观测结论较为吻合(见图3)。因此,即便MODIS难以在早期观测到浒苔零星漂浮,推断吕泗浮标首个15℃对浒苔初期发育日期有一定的指导意义。

6月4日,MODIS开始观测到大量浒苔漂浮,位置相对较近的日照浮标水温达到17℃,处于最高生

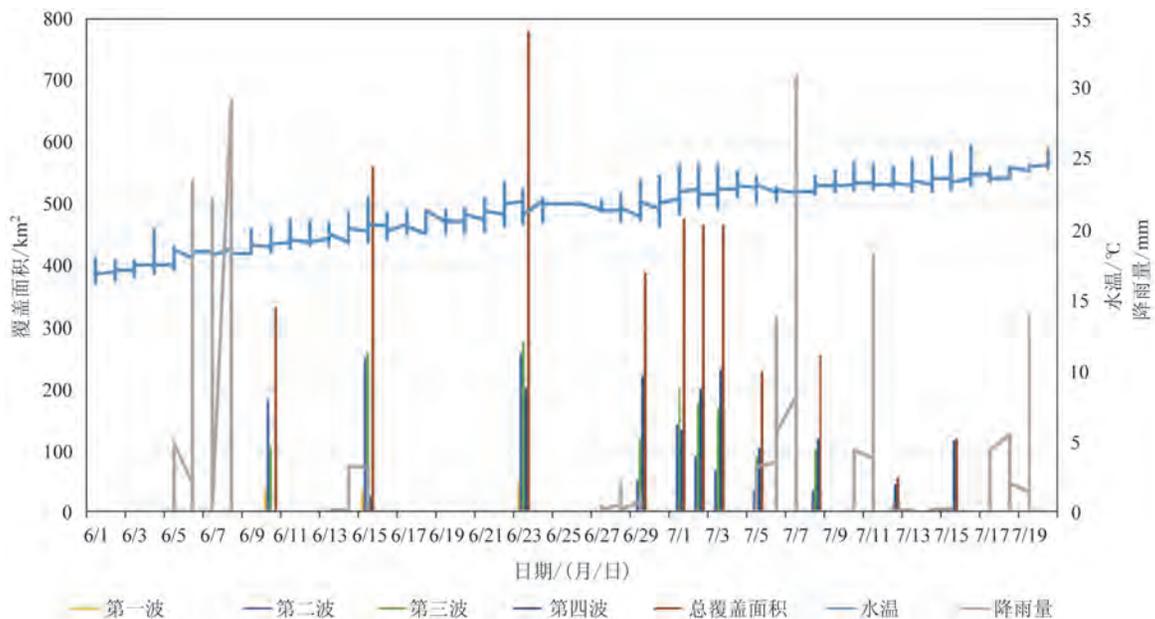


图3 绿潮覆盖面积与日照浮标温度和降水量相关性分析图

长率水温范围。5月15日照浮标水温达到15℃,6月17日达到20℃。6月15日,监测出现第四波浒苔,说明浒苔在此期间快速繁殖。6月23日,浒苔覆盖面积达到全年最大值,水温达到22℃。在中期成长和快速生长期阶段,MODIS监测绿潮面积变化日期水温与实验室观测结论较为吻合。因此,推断日照浮标水温达到15℃后,有规模性绿潮出现,水温达到20℃后,可能出现大规模爆发,达到全年最大值。6月23日后,浒苔面积开始逐渐减小,日照浮标水温7月23日达到25℃,超过了浒苔适宜生长水温。

对比结果表明绿潮不同阶段的水温作用差异明显,吕泗浮标表明水温超过15℃触发绿潮,而日照浮标表明水温超过15℃进入绿潮中期成长期,超过20℃可能出现最大覆盖面积,超过25℃基本进入成熟白化期和快速消亡期。以上结论与实验结果相近^[27,40-42],因此在MODIS监测绿潮过程中,参考水温因素会对绿潮监测和预测具有一定的辅助作用。

营养盐是浒苔生长的重要条件,突发的大气降水能使表层营养盐浓度提高,给浒苔生长提供必要的生长条件^[43-44]。实验室进行的不同营养盐条件下浒苔生长速率的研究表明,浒苔对N的需求很高,添加Fe和Mn等微量元素可明显促进浒苔的生长与繁殖。在2019年的绿潮监测过程中,6月5—8日存在有效降雨,总降雨量为377mm,6月10日浒苔总覆盖面积达到300km²;6月13—15日,总降雨量为64mm,6月15日浒苔总覆盖面积达到560km²;7月5—7日,总降雨量达到290mm,7月5日浒苔总覆盖面积为227km²,7月8日浒苔总覆盖面积为254km²。由此可见,降水与绿潮覆盖面积存在一定的相关性,推断大量降水后有利于绿潮的规模形成。

4 结论与展望

本文基于250m分辨率的MODIS卫星遥感数据,利用NDVI法提取了2019年南黄海绿潮信息,采用浮标水温和降雨量数据,分析其对绿潮生消的影响。从绿潮发生的时间来看,2019年浒苔灾害最早出现时间为4月下旬,最晚时间为9月中旬。4月底—6月初为浒苔初期发育期和中期生长期,6月初—7月

初为集中爆发阶段(快速生长期),浒苔的覆盖面积、分布面积和密集度都达到最大。7月初前3波浒苔逐渐进入成熟白化期,7月中旬第四波浒苔影响逐渐减弱。8月上旬—9月中旬浒苔逐渐消亡。

从绿潮的空间分布来看,2019年浒苔首先在江苏盐城外海出现,此后陆续在海阳、乳山、文登、荣成、即墨、青岛和日照滨海海域登陆,其中青岛市在6月29日—7月15日持续有浒苔登陆。2019年遥感监测绿潮最大覆盖面积为780km²,最大分布面积为59420km²,达到大规模绿潮水平,可发布黄色警报,6月24日自然资源部北海局启动了绿潮灾害二级应急响应。

海水温度在绿潮不同阶段差异明显,吕泗浮标显示水温超过15℃触发绿潮,报道出现零星浒苔漂浮。日照浮标显示水温超过15℃进入绿潮中期成长期,MODIS影像开始出现绿潮规模性生长,水温达到20℃后,绿潮可能出现最大覆盖面积,水温超过25℃基本进入绿潮成熟白化期和快速消亡期,绿潮覆盖面积开始减小并且NDVI值减小。降水带来了大量的营养盐,且降水与绿潮覆盖面积存在一定的相关性,大量降水后有利于绿潮的规模形成。因此,在绿潮遥感监测过程中,综合水温和降雨等因素有利于对绿潮的生消时间和覆盖面积变化进行预判,从而为绿潮防灾减灾提供参考。

下一步工作主要集中在提高绿潮遥感精细化提取准确率的基础上,研究环境因素对浒苔生消过程的定量关系,尤其是对不同波次浒苔生消过程的差异性影响,从而为绿潮爆发预警提供精细化信息服务。

参考文献:

- [1] 国家海洋局. HY/T 217-2017 绿潮预报和警报发布[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [2] 单俊伟, 张俊杰, 王海华. 依靠“蓝色经济”, 服务全球绿色农业——浅谈浒苔无害化综合利用技术开发与经济效应分析[C]//第四届建设创新型国家大会——首届中国农资分论坛论文集. 北京: 中国磷肥工业协会, 2012.
- [3] 周罡. 近海藻华灾害对渔业直接经济损失评估方法研究[J]. 中国渔业经济, 2015, 33(5): 107-112.
- [4] 林雨霏, 杨阳, 王国善, 等. 浒苔绿潮灾害损失调查与评估方法构建[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(3): 452-456.
- [5] 蒋兴伟, 邹亚荣, 王华, 等. 基于SAR快速提取浒苔信息应用研究[J]. 海洋学报, 2009, 31(2): 63-68.

- [6] 邱亚会, 卢剑波. 浒苔遥感监测研究进展[J]. 生态学报, 2015, 35(15): 4977-4985.
- [7] 顾行发, 陈兴峰, 尹球, 等. 黄海浒苔灾害遥感立体监测[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(6): 1627-1632.
- [8] 王宗灵, 傅明珠, 肖洁, 等. 黄海浒苔绿潮研究进展[J]. 海洋学报, 2018, 40(2): 1-13.
- [9] 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.
- [10] 宋晓丽, 黄蕊, 苑克磊, 等. 山东半岛东部沿海绿潮灾害的发生特点[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(3): 391-395.
- [11] 陈磊, 王希明, 张绪良. 青岛近海浒苔暴发灾害成因探析[J]. 高师理科学刊, 2018, 38(9): 37-42.
- [12] 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.
- [13] 于仁成, 刘东艳. 我国近海藻华灾害现状、演变趋势与应对策略[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1167-1174.
- [14] 王广策, 唐学玺, 何培民, 等. 浒苔光合作用等关键生理过程对环境因子响应途径的研究进展[J]. 植物生理学报, 2016, 52(11): 1627-1636.
- [15] Hu C M, Li D Q, Chen C S, et al. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115(C5): C05017.
- [16] 孙立娥, 崔廷伟, 崔文连. 多源卫星绿潮遥感信息提取易混淆因素分析[J]. 遥感信息, 2015, 30(6): 8-12.
- [17] 王艺, 张建恒, 霍元子, 等. 黄海绿潮发生过程监测[J]. 海洋湖沼通报, 2019(1): 135-145.
- [18] 国家海洋局. HY/T 147.7-2013 海洋监测技术规程 第7部分: 卫星遥感技术方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [19] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-6.
- [20] 姚东瑞. 浒苔[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 89-100.
- [21] 蒋兴伟, 林明森, 张有广. 中国海洋卫星及应用进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1185-1198.
- [22] 王蕊, 王常颖, 李劲华. 多源多分辨率遥感影像黄海绿潮监测能力分析[J]. 青岛大学学报(自然科学版), 2018, 31(4): 95-101, 106.
- [23] 宋德彬, 高志强, 徐福祥, 等. 基于GOCI的2017年南黄海浒苔演变遥感分析[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(5): 1068-1074.
- [24] 万剑华, 苏婧, 盛辉, 等. 利用静止轨道卫星开展绿潮业务化监测的可行性研究[J]. 激光生物学报, 2018, 27(2): 155-160.
- [25] 盛辉, 王法景, 郭结琼. 基于MODIS数据黄海绿潮覆盖面积精细化提取[J]. 激光生物学报, 2017, 26(1): 37-43.
- [26] 白雨, 赵亮, 刘境舟. 生态因子在黄海绿潮生消过程中的作用[J]. 海洋学报, 2019, 41(8): 97-105.
- [27] Taylor R, Fletcher R L, Raven J A. Preliminary studies on the growth of selected 'green tide' algae in laboratory culture: effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate[J]. Botanica Marina, 2001, 44(4): 327-336.
- [28] 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.
- [29] Cui J J, Zhang J H, Huo Y Z, et al. Adaptability of free-floating green tide algae in the Yellow Sea to variable temperature and light intensity[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 101(2): 660-666.
- [30] 地球大数据促进可持续发展. MODIS 遥感影像绿潮精细化监测可行性研究[C]//吴彬锋. 首届中国数字地球大会. 北京, 2019: 36.
- [31] 解本巨, 马浩, 刘国柱. 基于MODIS数据的黄渤海海域云检测方法及其应用研究[J]. 海洋科学, 2018, 42(3): 17-22.
- [32] Hu C M. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10): 2118-2129.
- [33] Shi W, Wang M H. Green macroalgae blooms in the Yellow Sea during the spring and summer of 2008[J]. Journal of Geophysical Research, 2009, 114(C12): C12010.
- [34] 邢前国, 郑向阳, 施平, 等. 基于多源、多时相遥感影像的黄、东海绿潮影响区检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(6): 1644-1647.
- [35] 何恩业, 杨静, 李尚鲁, 高姗. 基于双隐层ANN模型的叶绿素a浓度智能预报方法[J]. 海洋预报, 2021, 38(01): 44-54.
- [36] 王宁, 黄娟, 崔廷伟, 等. 基于MODIS数据的5种植被指数对不同生长阶段绿潮的探测能力对比及应用[J]. 激光生物学报, 2014, 23(6): 590-595.
- [37] 郭伟, 赵亮, 李秀梅. 黄海绿潮分布年际变化特征分析[J]. 海洋学报, 2016, 38(12): 36-45.
- [38] 辛蕾, 丁一, 王宁, 等. 基于遥感的黄海绿潮覆盖面积受表层温盐的影响分析[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(3): 210-215.
- [39] 张广宗, 吴孟泉, 孙晓, 等. 南黄海浒苔漂移轨迹年际变化规律及驱动因素[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(5): 1084-1093.
- [40] 韩红宾, 韦章良, 霍元子, 等. 温度与光照强度对浒苔孢子/配子放散和萌发的影响[J]. 海洋渔业, 2015, 37(6): 517-524.
- [41] 陈月红. 温度、光照对浒苔生长及其硝酸还原酶活力的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [42] 何恩业, 季轩梁, 高姗, 等. 黄海浒苔漂移运输和生长消亡过程的数值模拟与预测应用[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(1): 39-50.
- [43] Zhang J, Liu M G. Observations on nutrient elements and sulphate in atmospheric wet depositions over the Northwest Pacific coastal oceans—Yellow Sea[J]. Marine Chemistry, 1994, 47(2): 173-189.
- [44] 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.

Analysis of the formation and decay progress of the green tide in the southern Yellow Sea in 2019 based on MODIS

LIU Xu^{1,2}, TIAN Jie¹, WU Bin-feng¹, TENG Jun-hua¹, HE En-ye¹

(1. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2. School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083 China)

Abstract: Based on the MODIS data, the green tide information of 2019 in the southern Yellow Sea is extracted using the Normalized Difference Vegetation Index method, and the influence of sea temperature and precipitation on the formation and decay process of green tide is analyzed. The results show that the green tide started in late April and ended in middle September. The green tide formation and decay can be generally divided into 5 stages, namely the initial development period (late April to mid-May), middle development period (mid-May to early June), burst period (early June to early July), mature fading (early July to mid-July) and rapid decaying (mid-July to mid-September). The sea surface temperature is 22 °C on 23rd June, and the coverage area and distribution area of the green tide both reached the peak of the year, which were 780 km² and 59 420 km², respectively. The green tide coverage area changed with the seasonal increase of sea temperature, showing a trend of first rising and then falling. The precipitation had a certain stimulating effect on the growth of green tide coverage area.

Key words: green tide; MODIS; normalized difference vegetation index; sea temperature; precipitation