

风云三号卫星监测海洋浒苔、赤潮和溢油*

希爽^{1,2,3,4}, 方程格格^{2,5}, 翁富忠^{2,6}, 韩秀珍^{1,3,4}, 杨俊^{2,6}

(1. 国家卫星气象中心 遥感室, 北京 100081; 2. 中国气象局地球系统数值预报中心卫星资料同化室, 北京 100081;
3. 许健民气象卫星创新中心, 北京 100081; 4. 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 北京 100081;
5. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044; 6. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 风云卫星对海洋环境灾害(浒苔、赤潮和溢油)的定量遥感监测业务能力需要提升。利用风云三号D星中分辨率光谱成像仪MERSI-II资料以及部分高分卫星数据,探索解决大气校正和云检测两个技术难点问题的方法,分别依据浒苔、赤潮和溢油的光谱特征,建立相关的遥感监测算法,实现对海洋浒苔、赤潮和溢油的判识,并在相应个例中取得较好的监测效果。

关键词: 浒苔; 赤潮; 溢油; 卫星遥感监测; 风云三号D星

中图分类号: P407.8

文献标志码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.233856

中文引用格式: 希爽, 方程格格, 翁富忠, 等. 风云三号卫星监测海洋浒苔、赤潮和溢油[J]. 电子技术应用, 2023, 49(10): 106-111.

英文引用格式: Xi Shuang, Fang Chenggege, Weng Fuzhong, et al. Ulva prolifera, red tide and oil spill remote sensing monitoring using FY-3 satellite[J]. Application of Electronic Technique, 2023, 49(10): 106-111.

Ulva prolifera, red tide and oil spill remote sensing monitoring using FY-3 satellite

Xi Shuang^{1,2,3,4}, Fang Chenggege^{2,5}, Weng Fuzhong^{2,6}, Han Xiuzheng^{1,3,4}, Yang Jun^{2,6}

(1. Office of Remote Sensing Application, National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China;
2. Satellite Assimilation Division, Center for Earth System Modelling and Prediction of CMA, Beijing 100081, China;
3. Innovation Center for Fengyun Meteorological Satellite, Beijing 100081, China;
4. Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 5. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
6. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The quantitative remote sensing monitoring of Fengyun satellite for Marine environmental disasters (ulva prolifera, red tide and oil spill) should be improved. This paper uses the MERSI data of FY-3D satellite data, as well as some high-resolution satellite data, to explore methods to solve the two technical difficulties of atmospheric correction and cloud detection. Based on the spectral characteristics of ulva prolifera, red tide and oil spill, relevant monitoring algorithms were established for identifications of ulva prolifera, red tide and oil spill, and there were good monitoring performances in corresponding cases.

Key words: ulva prolifera; red tide; oil spill; satellite remote sensing monitoring; FY-3D satellite

0 引言

海洋环境灾害如浒苔、赤潮和溢油,给人类生产生活带来严重影响,需要及时发布监测预警。卫星资料具有高时空分辨率、观测范围广的特点,能够监测没有常规资料的海洋上空。浒苔、赤潮和溢油与海水之间存在光谱特征差异,使得卫星遥感监测海洋环境灾害事件成

为可能。在数据质量方面,风云三号D星中分辨率光谱成像仪II型(FY-3D MERSI-II)数据质量完全可以与国际上同类先进仪器数据相比^[1-3],在遥感监测方面,风云三号卫星资料^[4-6]在天气分析和陆地环境遥感监测等方面业务应用较多,但海洋环境监测能力则有待提升。

为了加强海洋环境监测建设,国家卫星气象中心面对海洋经济发展、海洋生态环境保护和国防军事活动保

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(41905031)

障等方面的迫切需求,研制完成海洋环境监测分析服务软件,并陆续在国家卫星气象中心和山东省气候中心部署应用,在业务中实现近海海域赤潮监测、浒苔监测及面积统计、海上石油溢油监测等功能。

1 系统简介

海洋环境监测分析服务软件利用FY-3D MERSI-II数据,采用C/S架构,遵循极轨卫星遥感监测平台插件规范,以地理信息等为辅助,构建绿潮监测子系统、赤潮监测子系统和溢油监测子系统三个子系统,采用人机互动方式实现对海洋环境的监测。

2 关键技术

2.1 云检测算法

有云像元占卫星遥感图像50%以上,给监测目标的提取和处理带来很大干扰,所以对有云像元进行识别和剔除^[7]。

采用12 μm通道亮温和0.65 μm和0.86 μm通道反射率的阈值标准识别云体,并做相应的剔除。当以下条件(1)或(2)或(3)被满足时,就定义为有云,在计算植被指数时就要做相应的剔除。

$$\rho_{065} + \rho_{086} > 0.65 \quad (1)$$

$$T_{B12} < 260 \text{ K} \quad (2)$$

$$\rho_{065} + \rho_{086} > 0.6 \text{ 并且 } T_{B12} < 280 \text{ K} \quad (3)$$

其中, T_{B12} 为12 μm通道亮温, ρ_{065} 和 ρ_{086} 分别为0.65 μm和0.86 μm通道表观反射率。

2.2 大气校正算法

为了要消除大气影响、得到真实的地表发射率,选用一种基于统一的线性化矢量辐射传输模型UNL-VRM^[8]的高精度表大气校正方法对MERSI-II资料进行大气辐射校正。

3 监测方法

3.1 浒苔监测

大型海洋藻类爆发性生长聚焦形成浒苔^[9-11],大量绿色藻类随着海流移动,严重破坏海洋景观和生态环境。

3.1.1 海水和浒苔的光谱特征差别

图1为浒苔的光谱特征曲线^[12]:在不同谱段藻类色素的吸收特征不同,在绿光波段(550 nm)有一个反射低谷(位于440 nm和670 nm),以及一个吸收低谷和反射峰。在近红外波段反射率受叶绿素a影响呈现为“陡坡”。根据海水和海洋藻类之间的光谱特征差异,使用FY-3D MERSI II等传感器数据近红外波段和红光波段的比值,能够突出浒苔信息。

3.1.2 浒苔监测算法

单波段阈值法、多波段比值法和归一化植被指数法是遥感监测浒苔类型的主要方法。采取归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

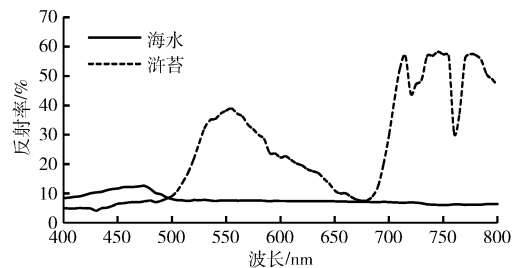


图1 实测海水和浒苔实测光谱反射率曲线

法^[13],通过水体中的叶绿素浓度判识绿潮和赤潮。该方法受大气和云影响较小,被广泛应用。NDVI指数 N_{DVI} 定义如下:

$$N_{DVI} = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (4)$$

其中, R_{NIR} 和 R_{RED} 分别代表近红外波段和红外波段的反射率,轻度、中度和重度浒苔的 N_{DVI} 阈值分别被设置为0.15、0.25和1。

3.2 赤潮监测

3.2.1 海水和赤潮的光谱特征差别

海洋生物爆发性增殖或高度聚集、引起水体变色的生态现象被称为赤潮^[14-15]。

3.2.2 赤潮监测算法

类似于浒苔监测,实现赤潮监测也是基于赤潮水体和非赤潮水体的光谱特性差异。图2^[15]为赤潮水体在450 nm和660 nm附近形成吸收峰,在700 nm附近形成小反射峰,随叶绿素浓度升高向长波方向移动;在450 nm、660 nm和700 nm附近,非赤潮水体则没有明显吸收峰和反射峰。

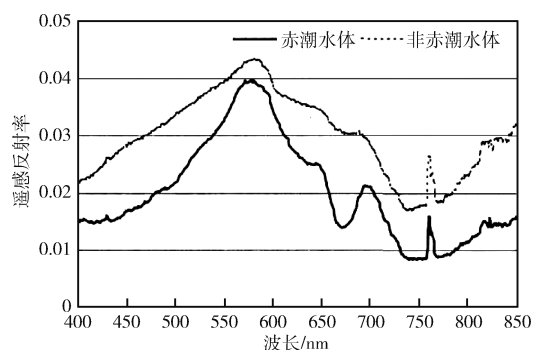


图2 赤潮的光谱特征曲线图

根据赤潮的以上特性以及FY-3D MERSI-II的通道设置,定义赤潮指数 R_{RED} 为:

$$R_{RED} = R_{709 \text{ nm}} / R_{670 \text{ nm}} \quad (5)$$

其中, $R_{709 \text{ nm}}$ 和 $R_{670 \text{ nm}}$ 代表波长分别为709 nm和670 nm的反射率。当 $R_{RED} > 0.785$ 时,判定该区域为赤潮。可实现赤潮识别强度的分级显示,其中轻度、中度和重度赤潮的 R_{RED} 阈值分别被设置为0.15、0.25和0.45。

3.3 溢油监测

溢油^[16]是指由于原油或油品泄漏,在海面形成的一层薄厚不等的油膜。

3.3.1 溢油的光谱特征

由于在可见光波段(0.4~0.7 μm),水面油膜的光谱反射率(高)与洁净海面的反射率差异较大,因此能够从该波段遥感影像分离溢油信息^[17]。但可见光遥感传感器受干扰多,只能在白天对溢油情况进行监测。

常温石油在热红外波段的发射率远小于海水发射率,使得能够全天候监测溢油的红外波段(0.76~1 000 μm)应用更广泛。有一定厚度的深色油膜吸收太阳辐射并释放热能。溢油的主要反射率特征和明显的吸收带位于1.2 μm 、1.73 μm 和2.3 μm 。此方法对分辨率要求较高,但不能很好地区分浮游植物和溢油。

3.3.2 溢油监测算法

根据溢油的以上特性以及FY-3D MERSI-II的通道设置, FY-3 MERSI溢油指数 R_{OIL} 为:

$$R_{OIL} = R_{BLUE} / R_{NIR} \quad (6)$$

其中, R_{BLUE} 和 R_{NIR} 分别代表蓝波段(如0.47 μm)和近红外波段(如0.85 μm)的发射率。当溢油指数 >3.6 时,系

统判定该区域为溢油,其他区域为海水,轻度、中度和重度溢油的 R_{OIL} 阈值分别为3、6和100。

4 总体架构和技术流程

4.1 总体架构

利用风云三号卫星的中分辨率光谱成像仪等传感器数据,分别依据浒苔、赤潮和溢油与周围水体的光谱特性区别,监测浒苔、赤潮和溢油的覆盖区域和动态变化,同时结合人机交互方式和计算机自动判识技术,对中国周边海域及全球重点关注区域进行浒苔、赤潮和溢油监测的精细化处理,提取浒苔、赤潮和溢油范围并估算面积。系统总体技术路线如图3所示。

4.2 技术流程

以浒苔监测为例,读入FY-3D MERSI-II数据,进行几何校正和大气校正,获取遥感反射率影像;将目标区域的遥感图像裁切出来;基于目标区遥感反射率影像进行NDVI指数计算,提取水体区域,得到目标区域NDVI影像;利用NDVI动态阈值法提取浒苔面积^[18]。

其中,交互判识功能包含云判识与绿潮判识两部分:云判识功能可选用“云判识”与“快速云检测”两种方法,通过设置远红外波段及可见光与远红外波段比值的

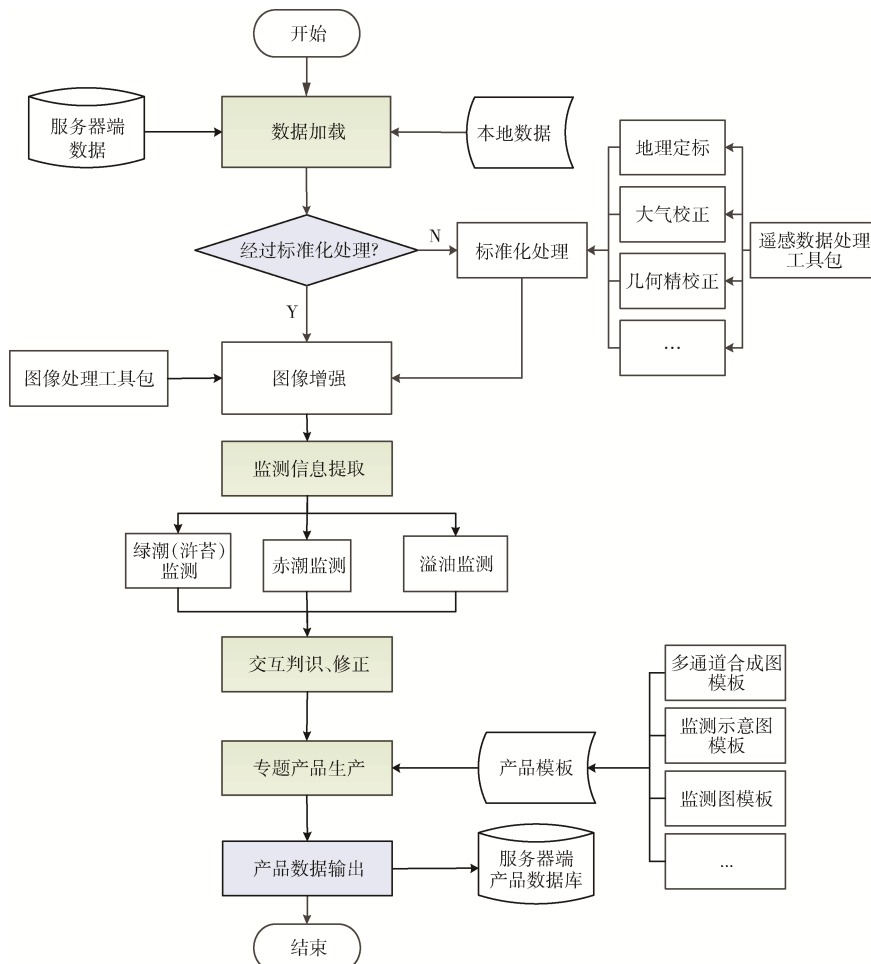


图3 海洋环境监测分析的技术路线图

阈值生成云判识结果,生成结果后可通过闪烁功能进行人工交互调整阈值,判识结果满意后保存输出;绿潮判识功能可选用“NDVI”与“RVI”两种方法,通过设置NDVI或RVI的阈值生成绿潮判识结果,生成结果后可通过闪烁功能进行人工交互调整阈值,判识结果满意后保存输出。

4.3 主要模块功能

(1) 信息提取

如:基于叶绿素浓度等判识绿潮和赤潮信息;根据溢油的光谱特性等来判断溢油信息。

(2) 面积计算

根据所提取的浒苔、赤潮和溢油信息,计算面积,建立相应的基于风云三号卫星数据面积估算模型。

(3) 产品制作

制作浒苔、赤潮和溢油监测多通道合成图、专题图和面积统计列表等。

4.4 系统开发环境

系统开发环境为 MS Windows 7 操作系统和 MS.NET、C#语言、VC++等程序设计语言。

在业务人员工作台上直接安装监测分析服务软件平台单机版。

5 监测个例

5.1 浒苔个例

选取 2019 年黄海海域发生浒苔^[19]期间,使用 FY-3D MERSI-II 在 7 月 11 日的观测数据,生成此次浒苔专题图片产品(如图 4(a)和图 4(b)所示),并统计浒苔面积(如图 4(c)所示)。

这套系统同样适用于高分系列数据。以高分四号(GF-4)卫星观测为例,2019年黄海海域苔出现浒苔期间,GF-4卫星在8月5日在相应区域有观测数据,由于8月浒苔已经进入消亡期,因此监测到的浒苔区域较小,如图5所示。

5.2 赤潮个例

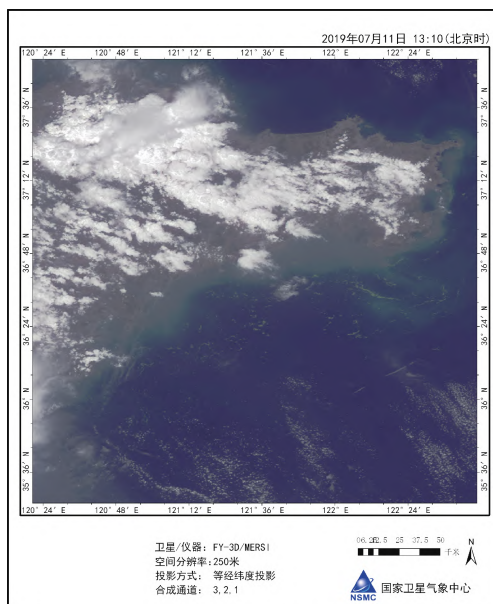
2019年发生面积最大(800 m²)且持续时间最长(34 d)的单次赤潮^[19]发生在温州南麂列岛至洞头列岛以东海面。选取此次赤潮期间5月24日的FY-3D MERSI-II在南海海域观测数据,生成相应专题图片产品(如图6(a)和图6(b)所示),并导出面积统计表格(如图6(c)所示)。

5.3 溢油个例

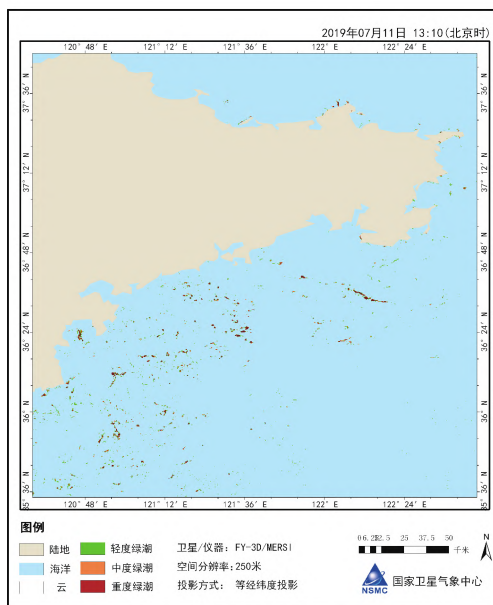
巴西东北部地区的海岸线自2019年9月初以来持续受到油性物质污染,2019年10月17日FY-3D MERSI-II在巴西东北部监测的溢油如图7(a)和图7(b)所示,面积统计表格如图7(c)所示。

6 结论

本文基于风云三号卫星观测数据以及浒苔、赤潮和



(a) 气象卫星多通道合成图



(b) 气象卫星监测绿潮强度分布图 (km²)

| 面积 | 总面积 | 轻度面积 | 中度面积 | 重度面积 |
|----|--------|--------|-------|-------|
| 数值 | 403.53 | 252.05 | 70.39 | 81.08 |

(c) 面积统计

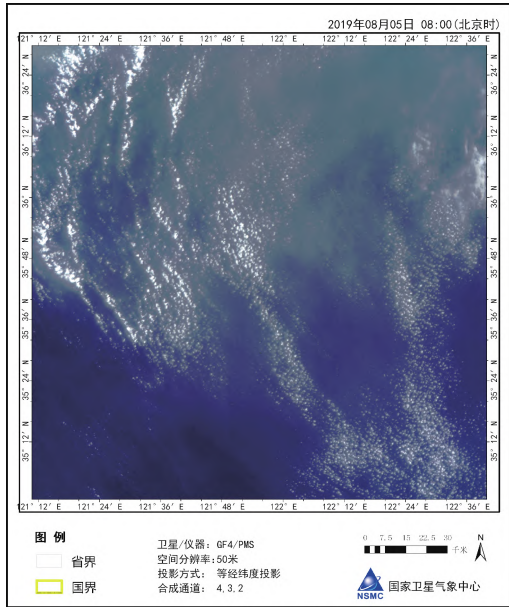
图4 FY-3D 监测浒苔(绿潮)分布

溢油的光谱特性,通过选取敏感波段的比值或者差值比值运算,设定阈值来提取海洋环境事件信息,实现对海洋浒苔、赤潮和溢油的监测,取得较好的应用效果。

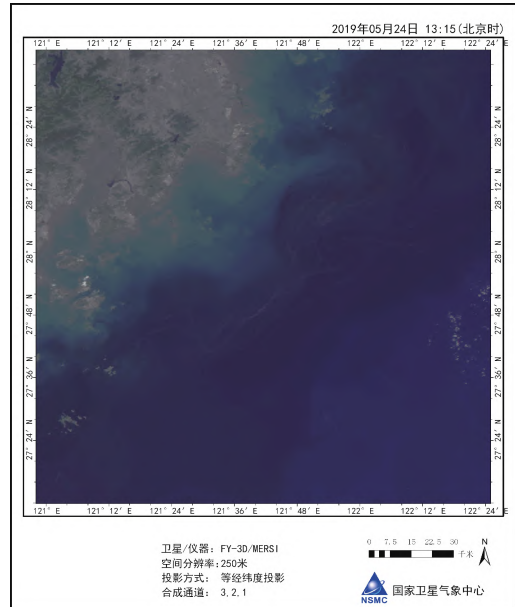
未来更多个例可以被用来检验和改进风云卫星遥感监测算法。另外作为影响海洋环境事件强度和走向的重要因素,水文气象因素^[20-21]也需要被考虑进去。

参考文献

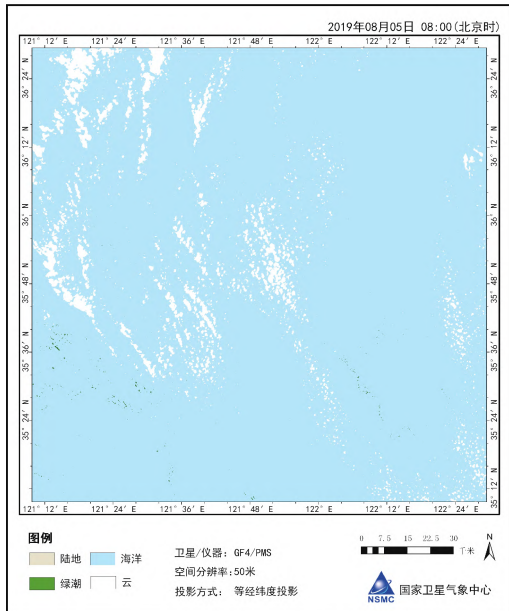
[1] HAN X, WANG F, HAN Y. Fengyun-3D MERSI true color imagery developed for environmental applications[J].



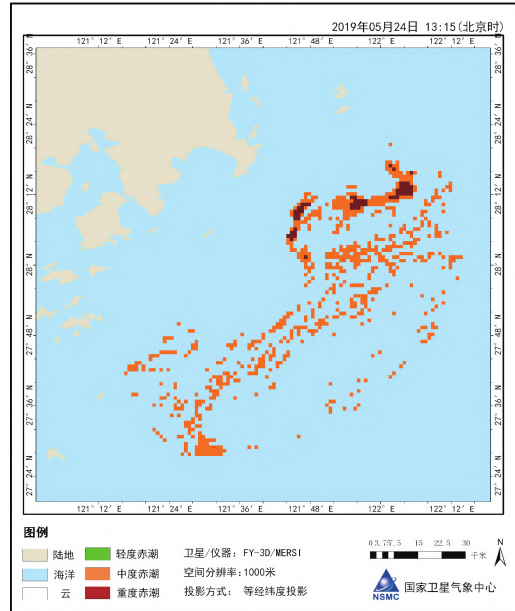
(a) 气象卫星多通道合成图



(a) 气象卫星多通道合成图



(b) 气象卫星监测绿潮分布图



(b) 气象卫星监测监测强度分布图 (km²)

图5 高分四号卫星监测浒苔(绿潮)分布

| 面积 | 总面积 | 轻度面积 | 中度面积 | 重度面积 |
|----|--------|------|--------|-------|
| 数值 | 848.57 | 0.00 | 786.46 | 62.11 |

(c) 面积统计

图6 风云三号卫星监测赤潮分布

Journal of Meteorological Research,2019,33(5):914-924.

[2] FAN Y,LI S,HAN X, et al. Machine learning algorithms for retrievals of aerosol and ocean color products from FY-3D MERSI-II instrument[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2020, 250: 219054153.

[3] 张靖玮,丘仲锋. 针对海洋水体的FY-3D MERSI II 数据质量评估[J]. 光学学报,2021,41(12):19-38.

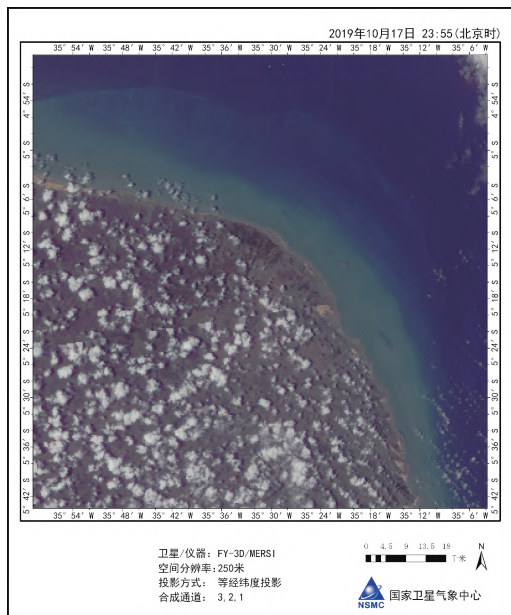
[4] 卢乃锰,郑伟,王新,等. 气象卫星及其产品在天气气候分析和环境灾害监测中的应用概述[J]. 海洋气象学报, 2017,37(1):20-30.

[5] YANG Z,ZHANG P,GU S, et al.Capability of Fengyun-3D satellite in earth system observation[J].Journal of Meteorological Research,2019,33(6):1113-1130.

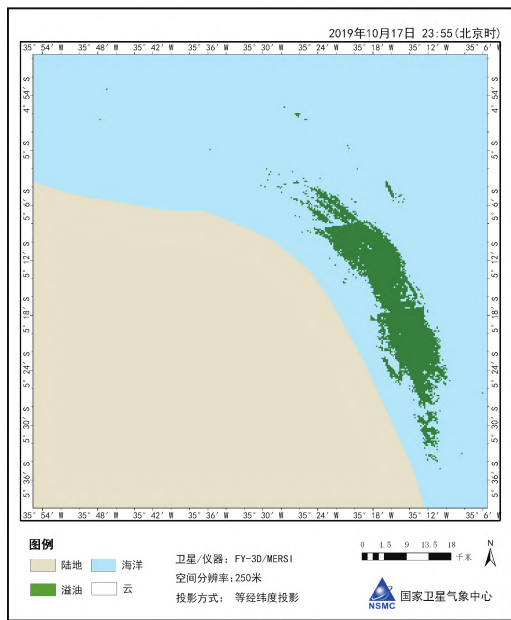
[6] 张鹏,杨虎,邱红,等. 风云三号卫星的定量遥感应应用能力[J]. 气象科技进展,2012,2(4):6-11.

[7] 张鑫. 新型星载观测数据的云检测与大气校正研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2016.

[8] Xu Xiaoguang,Wang Jun.UNL-VRM,a testbed for acro-



(a) 气象卫星多通道合成图



(b) 气象卫星监测溢油分布图 (km²)

| 面积 | 总面积 | 轻度面积 | 中度面积 | 重度面积 |
|----|--------|------|--------|------|
| 数值 | 379.71 | 0.00 | 379.71 | 0.00 |

(c) 面积统计

图7 2019年10月17日风云卫星监测的巴西溢油个例

sol remote sensing: model developments and applications [M]. Berlin: Springer, 2019: 1-69.

[9] 王萌, 郑伟, 李峰. Himawari-8 气象卫星黄海浒苔动态监测[J]. 应用气象学报, 2017, 28(6): 714-723.

[10] 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): 76-82.

[11] 孙凌, 郭茂华, 李三妹, 等. 用 FY-3A MERSI 进行青岛海域浒苔监测[J]. 遥感信息, 2010(1): 64-68.

[12] 樊彦国, 白羽, 陈潘潘, 等. 青岛近海浒苔光谱特征研究[J]. 海洋科学, 2015, 39(4): 87-91.

[13] 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.

[14] 丛丕福, 赵冬至, 曲丽梅. 利用卫星遥感技术监测赤潮的研究[J]. 海洋技术, 2001, 20(4): 69-72.

[15] 马金峰, 詹海刚, 陈楚群, 等. 赤潮卫星遥感监测与应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(5): 604-610.

[16] 苏伟光, 苏奋振, 周成虎, 等. 海面溢油光学卫星遥感监测能力分析[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(4): 523-530.

[17] 尹奇志, 初秀民, 孙星, 等. 船舶溢油监测方法的应用现状及发展趋势[J]. 船海工程, 2010, 39(5): 246-250.

[18] 郭继强, 潘洁, 刘文雅, 等. 基于 Suomi NPP VIIRS 数据的黄海浒苔遥感监测研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(15): 63-66.

[19] 中国海洋灾害监测预警技术重点实验室. 中国海洋灾害公报(2019)[M]. 北京: 海洋出版社, 2020.

[20] 何进, 邵红兵, 刘东艳. 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): 573-580.

[21] 张晓玲, 燕成玉. 秦皇岛近海赤潮发生的气象条件分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(35): 186-189.

(收稿日期: 2023-02-21)

作者简介:

希爽(1981-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 卫星资料同化。



扫码下载电子文档