

doi: 10.3969/j.issn.1007-7146.2014.06.012

空间分辨率对绿潮覆盖面积、密集度 卫星遥感信息提取的影响

巩加龙^{1,2}, 肖艳芳², 蔡晓晴², 牟冰¹, 秦平¹, 刘荣杰², 崔廷伟^{2*}

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要: 研究表明, 多源卫星数据提取的绿潮信息存在较大差异, 通常认为可能的主要原因是不同卫星遥感器的空间分辨率、过境时间差、波段设置等各不相同, 但对此仍缺乏深入的研究。本文采用波段设置和过境时间完全相同、仅空间分辨率不同的四景 MERIS 全、降分辨率(300 m 和 1 200 m)影像, 利用统一的算法(NDVI)进行绿潮信息提取, 量化了空间分辨率对绿潮覆盖面积、密集度(由斑块个数、聚合度表征)卫星遥感信息提取的影响。结果表明: 空间分辨率对绿潮覆盖面积卫星遥感信息提取影响显著, 全、降分辨率 MERIS 影像提取的绿潮覆盖面积最大相对偏差可达 67%, 遥感影像的空间分辨率对绿潮面积提取结果的影响既与绿潮 NDVI 探测阈值有关, 还可能与绿潮发展阶段有关。绿潮密集度卫星遥感提取结果也受遥感影像空间分辨率的影响, 全分辨率 MERIS 影像提取的绿潮斑块个数为降分辨率影像的 7~21 倍, 绿潮聚合度较降分辨率影像高 15%~25%。

关键词: 绿潮; MERIS; 空间分辨率; 覆盖面积; 密集度

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1007-7146(2014)06-0579-06

Impact of the Spatial Resolution of Satellite Image on the Remote Sensing Monitoring of Green Macroalgae Bloom

GONG Jialong^{1,2}, XIAO Yanfang², CAI Xiaoqing², MU Bing¹, QIN Ping¹, LIU Rongjie², CUI Tingwei^{2*}

(1. Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China;

2. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, Shandong, China)

Abstract: Information of the green microalgae bloom extracted from different satellite images may show noticeable difference, which is commonly attributed to the various spatial resolutions, bands configuration and the overpass time differences between the earth-observing sensors. But the dedicated research exploring these factors has not been widely performed and the underlying mechanism has not been well documented. In this paper, we aim to quantify the impact of spatial resolution of satellite image on the extracted information of green macroalgae bloom (GMB). Four MERIS full and reduced resolution (300 m and 1 200 m) images are adopted, which have the same bands and overpass time with the only difference in their spatial resolutions. GMB are extracted from these images with the same method of NDVI algorithm. The covered area and the distribution concentration (characterized by the macroalgae patch number and aggrega-

收稿日期: 2014-11-20; 修回日期: 2014-12-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41476159); 国家海洋局第一海洋研究所基本科研业务费专项资金项目(GY0214T03); 龙计划项目(ID10470)

作者简介: 巩加龙(1991-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生。(电子邮箱) jialonggong@126.com

* 通讯作者: 崔廷伟(1979-), 男, 内蒙古人, 副研究员, 主要从事海洋光学与水色遥感研究。(电话) 0532-88896419; (电子邮箱) cuitingwei@fio.org.cn

tion index) of GMB are analyzed. The results indicate that the influence of spatial resolution on the satellite derived GMB area is significant. The relative percentage difference in the extracted GMB area from MERIS full and reduced resolution images can be up to 67% , depending on the NDVI threshold and possibly also on development phase of the bloom. Similar trend is also found for the extracted patch distribution concentration of GMB. The patch number and aggregation index derived from full-resolution MERIS images are about 7 ~ 21 times and 15% ~ 25% higher than those from reduced MERIS images , respectively.

Key words: green microalgae bloom; MERIS; spatial resolution; covered area; concentration

自 2007 年以来,绿潮在我国黄、东海海域连续大规模爆发,对水产养殖、海洋旅游等相关产业造成了严重影响。卫星遥感技术凭借其大范围、同步、快速观测等优势,已经成为绿潮监测的重要手段^[1-5],在绿潮起源、空间分布、生消过程和漂移监测等方面发挥了重要作用^[6-11]。

基于多源卫星数据(包括 MODIS、GOCI、HJ-1 CCD 和 SAR 等)的绿潮提取结果存在较大差异^[12-14]。Cui 等^[13]利用准同步的光学和微波卫星遥感数据,进行了多源卫星数据绿潮监测能力的差异分析。结果表明,空间分辨率相同(30 m)的 ENVI-SAT ASAR 与 HJ-1 CCD 数据绿潮提取能力相近,相对偏差约为 14%;MODIS(250 m)数据绿潮提取面积为 HJ-1 CCD 的 2.41 倍。作者指出,空间分辨率是导致多源卫星绿潮提取结果存在差异的主要原因,此外,多源卫星过境时间、成像机制及波段设置等方面的差异也是潜在的影响因素。

本文在上述研究工作的基础上,深入分析并量化空间分辨率对绿潮卫星遥感监测的影响。通过选择波段、过境时间相同的 MERIS 全、降分辨率影像,利用 NDVI 算法进行绿潮信息提取,对比分析不同空间分辨率遥感影像绿潮覆盖面积、密集度提取结果的差异,定量评价空间分辨率对绿潮卫星遥感提取结果的影响。

1 数据与方法

1.1 卫星遥感数据

中等分辨率成像光谱仪(Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument, MERIS)是 European Space Agency(ESA)发射的海洋水色传感器,具有全分辨率(300 m)和降分辨率(1 200 m)两种模式。受到星上存储容量和卫星数据下传速率的制约, MERIS 虽以全分辨率模式成像,但星上全部实时重采样为降分辨率数据并下传,而仅遴选部分区域的全分辨率影像下传,所以并不是所有的降分辨率 MERIS 影像都有与之对应的全分辨率影像。MERIS 在可见光

至近红外(390-1 040 nm)范围内设置了 15 个波段,光谱分辨率在 3.75-20 nm 之间^[15]。

本文选用的 MERIS L1B 数据(全、降分辨率)成像时间为 2010 年 6 月 6 日和 2011 年 6 月 13 日(见图 1),其中 2010 年 6 月 6 日处于绿潮爆发初期,绿潮分布范围较小且稀疏,2011 年 6 月 13 日处于绿潮大规模爆发时期,绿潮分布范围较大且密集。

1.2 绿潮卫星遥感提取算法

绿潮覆盖面积和密集度是绿潮卫星遥感监测的两个重要参数,其中,绿潮覆盖面积反映了绿潮的爆发规模,密集度则反映了绿潮斑块空间分布的聚集程度。

利用 NDVI 算法进行绿潮卫星遥感信息提取:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

式中, NIR、R 分别为近红外波段和红光波段的反射率,本文 NIR 采用 MERIS 影像第 10 波段(753.75 nm)、R 采用第 8 波段(681.25 nm)。

通过设置合理的 NDVI 阈值 T 以提取绿潮信息;理论上通常 T 取 0 即可,但实际上由于大气辐射等因素的影响^[13], T 值可能不为 0,目前准确的阈值确定还存在困难。本文基于假彩色合成图像及 NDVI 结果,确定了可能的阈值分布范围,在该范围内选取多个阈值分别进行绿潮信息提取,其中 2010 年 6 月 6 日 MERIS 影像的阈值区间为 [-0.08, -0.04], 2011 年 6 月 13 日 MERIS 影像的阈值区间为 [-0.035, 0]。

统计研究区 NDVI > T 的像元个数 N,计算绿潮覆盖面积 S:

$$S = N \times r^2 \quad (2)$$

式中 r 为卫星传感器空间分辨率。

采用斑块个数^[16](NP)和聚合度^[17](AI)两个指标来表征绿潮密集度,其中聚合度的计算公式如下:

$$AI = \sum_i^n = \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (3)$$

式中 n 为绿潮斑块个数, P_{ij} 是绿潮斑块 i 与 j 相

邻的概率。斑块个数和聚合度均通过 fragstat4.1 软件计算得到。

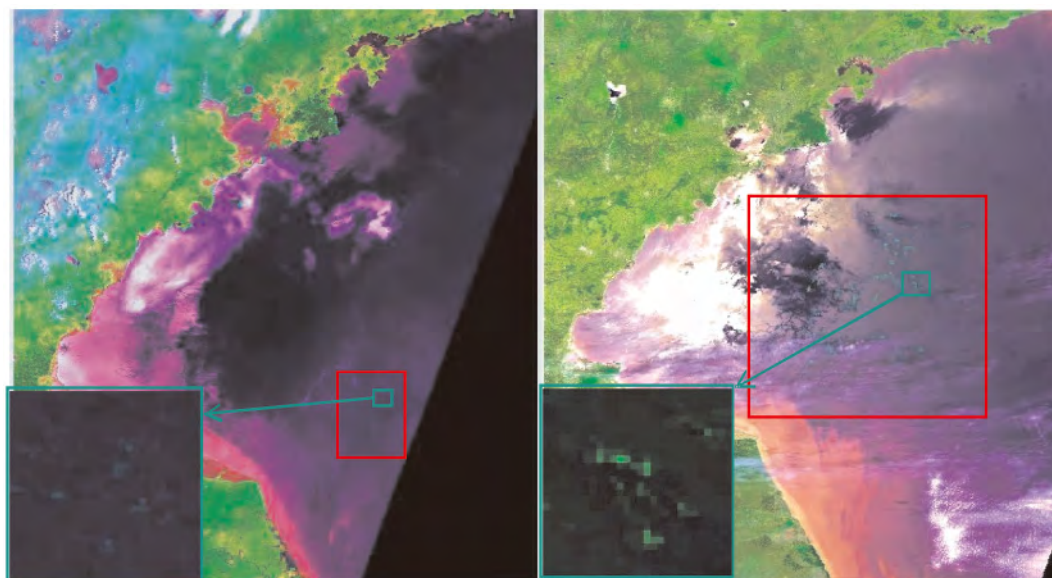


图 1 2010 年 6 月 6 日(左)和 2011 年 6 月 13 日(右) MERIS 全分辨率影像假彩色合成图(波段组合方式为: R: band 7, G: band 10, B: band 2) 图中红框为所选取的研究区, 其中的部分绿潮斑块(绿框)放大显示于左下角

Fig. 1 False color composite image of MERIS full-resolution images on June 6th, 2010 (left) and June 13th, 2011 (right) (R: band 7, G: band 10, B: band 2). The red-colored rectangle shows the study area. The information of green macroalgae bloom (GMB) (green-colored rectangle) is enlarged and displayed in the lower left corner

2 遥感影像空间分辨率对绿潮卫星遥感提取结果的影响

2.1 遥感影像空间分辨率对绿潮覆盖面积遥感提取的影响

在阈值区间内,按固定步长选取多个绿潮探测阈值,分别计算全、降分辨率影像中的绿潮覆盖面积,并以全分辨率影像结果为基准,计算二者的相对偏差,结果见图 2 和图 3。

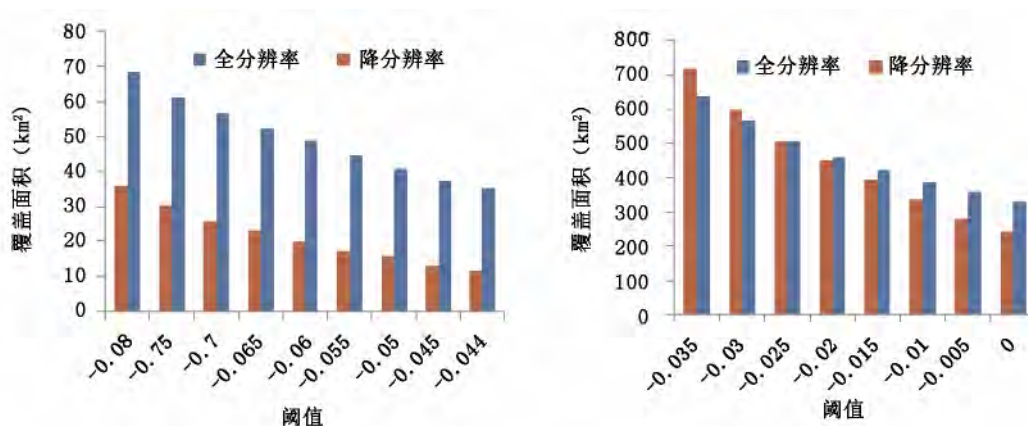


图 2 2010 年 6 月 6 日(左)和 2011 年 6 月 13 日(右) MERIS 影像绿潮覆盖面积

Fig. 2 GMB covered area in MERIS image on June 6th, 2010 (left) and June 13th, 2011 (right)

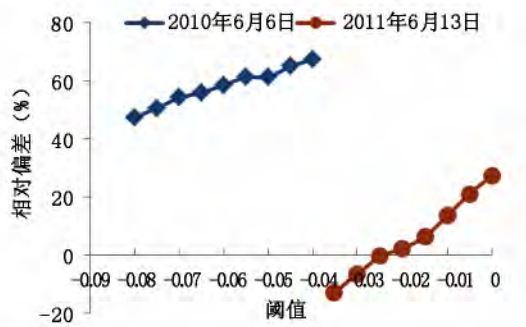


图3 绿潮覆盖面积相对偏差随 NDVI 探测阈值的变化

Fig. 3 Relative error of extracted GMB covered area as function of the NDVI detection threshold

由图 2 和图 3 可见, MERIS 全、降分辨率影像的绿潮覆盖面积提取结果存在明显差异。空间分辨率不同导致的绿潮覆盖面积相对偏差与 NDVI 算法的绿潮探测阈值有关, 最大相对偏差可达 67%, 且相对偏差随着阈值的增大而增大。

绿潮覆盖面积随探测阈值的增大而减小, 但减小幅度与空间分辨率有关, 降分辨率影像的减小幅度大于全分辨率影像, 在阈值区间内, 全分辨率影像绿潮覆盖面积减小了约 49%, 而降分辨率影像减小可达 68%。

2.2 遥感影像空间分辨率对绿潮密集度遥感提取的影响

全、降分辨率 MERIS 影像绿潮斑块个数和聚合度的计算结果分别如图 4 和图 5 所示。

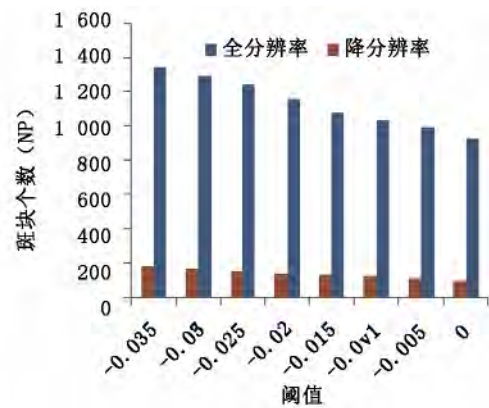
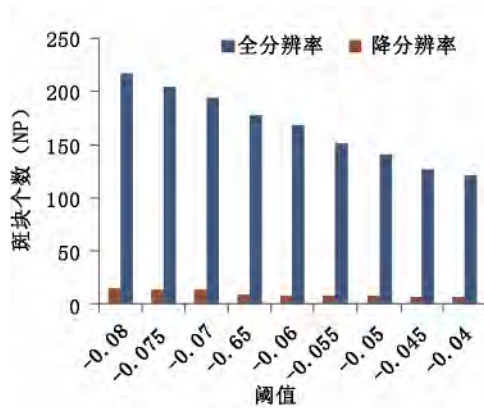


图4 2010 年 6 月 6 日 (左) 和 2011 年 6 月 13 日 (右) 绿潮斑块个数 (NP)

Fig. 4 Number of patches (NP) of GMB on June 6th, 2010 (left) and June 13th, 2011 (right)

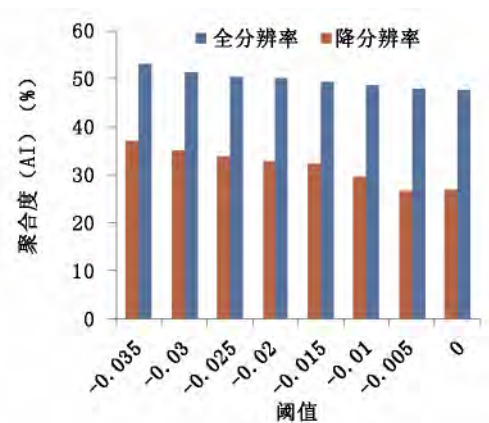
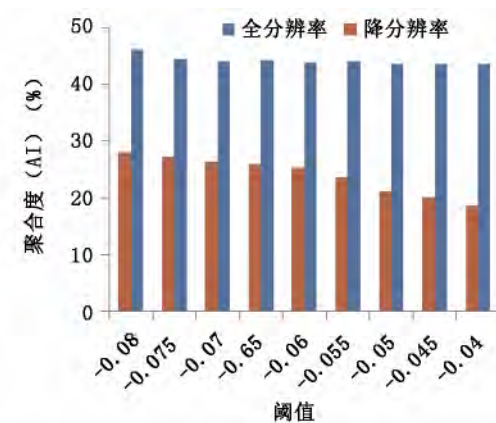


图5 2010 年 6 月 6 日 (左) 和 2011 年 6 月 13 日 (右) 绿潮聚合度 (AI)

Fig. 5 Aggregation index (AI) of GMB on June 6th, 2010 (left) and June 13th, 2011 (right)

由图 4 和图 5 可以看出, 空间分辨率对绿潮密集度遥感提取结果具有显著的影响, 两景全分辨率

MERIS 影像提取的绿潮斑块个数分别是降分辨率影像的 14 ~ 21 倍和 7 ~ 10 倍, 聚合度也分别较降分辨

率影像高17%~25%和15%~21%。

绿潮斑块个数随阈值的增大而减小,在相应的阈值区间内,全、降分辨率影像的降幅分别可达79%和114%。绿潮聚合度在阈值区间内随阈值的增大呈减小趋势,两景全分辨率影像的降幅分别为5.2%和11.2%,两景降分辨率影像的降幅分别为50.1%和37.7%。

3 讨论

本文的目标是量化空间分辨率对绿潮卫星遥感信息提取的影响,为不同分辨率卫星绿潮提取结果的相互转换提供依据,为揭示多源卫星数据绿潮监测结果存在明显差异的原因奠定基础。目前的结果表明,空间分辨率对绿潮卫星遥感(面积、密集度)信息提取存在显著影响,但影响方式复杂,既与绿潮NDVI探测阈值有关(图2和图4),还可能与绿潮发展阶段(初期和爆发期等)有关(见图2、图4和图5),未来需针对上述因素利用大量的数据分别开展进一步的研究。

受卫星数据政策的影响,本文只获取了四景MERIS全、降分辨率(300 m和1 200 m)影像进行分析,未来可考虑针对绿潮生消全过程,利用重采样方法和中高分辨率影像生成一系列降分辨率影像,深入开展绿潮提取结果的对比分析,包括不同重采样方法可能引入的差异以及不同绿潮发展阶段分辨率的影响等。

由于多种因素的影响,绿潮NDVI探测阈值尚难以准确确定,本文选取了一定的阈值区间,在该区间选取多个阈值进行绿潮信息提取和结果的对比分析,需要指出的是,针对不同日期的MERIS影像,确定的阈值区间并不相同,可能的原因是:不同影像成像时刻的大气、海洋环境存在差异,以及绿潮处于不同的发展阶段等。

4 结论

本文利用MERIS全、降分辨率(300 m和1 200 m)影像研究了遥感影像空间分辨率对绿潮覆盖面积和密集度卫星遥感信息提取的影响,结果表明:(1)遥感影像的空间分辨率对绿潮卫星遥感(面积、密集度)信息提取存在显著影响,但影响方式复杂,其影响既与绿潮NDVI探测阈值有关,还可能与绿潮发展阶段有关。(2)绿潮覆盖面积随探测阈值的增大而减小,空间分辨率越低减小越显著。空间分辨率差

异导致的绿潮覆盖面积相对偏差随绿潮NDVI探测阈值的增大而增大,最大相对偏差可达67%。(3)空间分辨率对绿潮密集度遥感提取结果具有显著影响,全分辨率MERIS影像提取的绿潮斑块个数为降分辨率影像的7~21倍,绿潮聚合度较降分辨率影像高15%~25%。绿潮斑块个数随阈值的增大而减小,而绿潮聚合度随阈值的变化不大。下一步需针对绿潮生消全过程开展不同分辨率卫星遥感提取结果的对比分析。

参考文献

- [1] 蒋兴伟,刘建强,邹斌,等. 浒苔灾害卫星遥感应急监测系统及其应用[J]. 海洋学报,2009,31(1):52-64.
JIANG Xingwei, LIU Jianqiang, ZOU Bin, et al. The satellite remote sensing system used in emergency response monitoring for *Enteromorpha prolifera* disaster and its application [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 31(1): 52-64.
- [2] 孙凌,郭茂华,李三妹,等. 用FY-3A MERIS进行青岛海域浒苔监测[J]. 遥感信息,2010,(1):64-68.
SUN Ling, GUO Maohua, LI Sanmei, et al. *Enteromorpha prolifera* monitoring with FY-3A MERIS around the Sea Area of Qingdao [J]. Remote Sensing Information, 2010, (1): 64-68.
- [3] 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.
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, (1): 76-82.
- [4] SHI W, WANG M. Green macroalgae blooms in the Yellow Sea during the spring and summer of 2008 [J]. Journal of Geophysical Research, 2009, 114(C12): C12010.
- [5] SON Y B, MIN J E, RYU J H. Detecting massive green algae (*Ulva prolifera*) blooms in the Yellow sea and East China sea using geostationary ocean color imager (GOCI) Data [J]. Ocean Science Journal, 2012, 47(3): 359-375.
- [6] 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.
- [7] 刘建强,蒋兴伟,邹斌,等. 浒苔多源卫星遥感监测技术研究[M]. 浒苔生态学研究,北京:海洋出版社,2009:3-41.
LIU Jian-qiang, JIANG Xing-wei, ZOU Bin, et al. Research of *Enteromorpha prolifera* monitoring based on multi-source satellite data [M]. Ecology research of *Enteromorpha prolifera*, Beijing: China Ocean Press, 2009: 3-41.
- [8] 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.
GU Xing-fa, CHEN Xing-feng, YIN Qiu, et al. Stereoscopic remote sensing used in monitoring *Enteromorpha prolifera* disaster in

- Chinese Yellow Sea [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis , 2011 , 31(6) : 1627-1632.
- [9] CIAPPA A , PIETRANERA L , COLETTA A , *et al.* Sea surface transport detected by pairs of COSMO-SkyMed ScanSAR images in the Qingdao region (Yellow sea) during a macro-algal bloom in July 2008 [J]. Journal of Marine Systems , 2010 , 80(1) : 135-142.
- [10] QIAO L , WANG G , LV X , *et al.* Drift characteristics of green macroalgae in the Yellow Sea in 2008 and 2010 [J]. Chinese Science Bulletin , 2011 , 56(21) : 2236-2242.
- [11] 赵文静, 张杰, 崔廷伟, 等. 水下悬浮浒苔海面光谱响应的辐射传输模拟 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009 , 29(6) : 1656-1660.
- ZHAO Wenjing , ZHANG Jie , CUI Tingwei , *et al.* *Enteromorpha prolifera* underwater spectral research based on simulation of radiation transmission [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis , 2009 , 29(6) : 1656-1660.
- [12] 祁建春, 李洪建, 李莘莘, 等. HJ-1-CCD 与 MODIS 数据的 NDVI 比较分析 [J]. 遥感信息, 2013 , 28(3) : 44-49.
- QI Jianchun , LI Hongjian , LI Xinxin , *et al.* Comparison and analysis of NDVI between HJ-1-CCD data and MODIS data [J]. Remote Sensing Information , 2013 , 28(3) : 44-49.
- [13] 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.
- [14] CUI T W , ZHANG J , SUN L E , *et al.* Satellite monitoring of massive green macroalgae bloom (GMB) : imaging ability comparison of multi-source data and drifting velocity estimation [J]. International Journal of Remote Sensing , 2012 , 33(17) : 5513-5527.
- [15] 高中灵, 汪小钦, 陈云芝. MERIS 遥感数据特性及应用 [J]. 海洋技术, 2006 , 25(3) : 61-65.
- GAO Zhongling , WANG Xiaoqin , CHEN Yunzhi. The characteristic and applications of MERIS [J]. Ocean Technology , 2006 , 25(3) : 61-65.
- [16] 邬建国, 李百炼, 伍业钢. 缀块性和缀块动态 [J]. 生态学杂志, 1992 , 11(4) : 41-45 .
- WU Jianguo , LI bailian , WU Yegang. Patchiness and patch dynamics [J]. Chinese Journal of Ecology , 1992 , 11(4) : 41-45 .
- [17] HE H S , DEZONIA B E , MLADENOFF D J. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes [J]. Landscape Ecology , 2000 , 15(7) : 591-601.