

# 青岛近海浒苔光谱特征研究

樊彦国, 白羽, 陈潘潘, 丁智慧, 徐琳

(中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:** 针对从 2008 年以来, 每年夏季我国黄海南部暴发大面积的浒苔(*Enteromorpha*)灾害, 对海洋环境及经济造成不利影响的状况, 为了进一步研究浒苔特性, 为利用遥感手段监测浒苔提供一定的理论依据, 通过实地测量不同条件下浒苔的光谱反射率曲线, 定性分析了浒苔的光谱特征。结果表明, 浒苔的基本光谱特征表现为在蓝光波段和红光波段形成反射谷, 在绿光波段形成反射峰, 而在近红外波段反射率明显增大, 形成高反射峰。因此将红光波段和近红外波段作为敏感波段, 利用 NDVI(归一化植被指数)提取遥感图像上的浒苔信息, 可取得较好效果, 有利于浒苔监测。

**关键词:** 浒苔(*Enteromorpha*); 光谱特征; 反射率曲线; Landsat 陆地卫星影像(TM); 中分辨率成像光谱仪影像(MODIS)

中图分类号: P76 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2015)04-0087-05

doi: 10.11759/hyxx20130715003

浒苔(*Enteromorpha*), 主要附着在岩石、潮带滩涂或者石砾上生长<sup>[1-3]</sup>, 有极强的环境适应能力和繁殖能力, 正常情况下 20 d 就能繁殖到原来的 1.5 倍<sup>[4]</sup>。2008 年奥运会帆船比赛前夕, 黄海海域暴发了规模很大的浒苔灾害<sup>[5]</sup>, 从此每年 5 月至 7 月份黄海海域均会暴发大规模浒苔灾害, 已对我国海洋环境以及海洋经济造成很大危害<sup>[6-7]</sup>。近年来, 国内外学者开展了许多关于浒苔的科学研究, 在利用遥感技术监测浒苔方面取得了良好的进展。曾韬等<sup>[8]</sup>基于“北京一号”小卫星数据, 利用人机交互的方法提取了青岛近海的浒苔信息。蒋兴伟等<sup>[9]</sup>基于 SAR 数据, 运用面向对象的方法快速提取浒苔信息。邢前国等<sup>[10]</sup>利用不同空间分辨率、多时相的卫星遥感数据, 对 2007~2010 年间黄海、东海发生的绿潮灾害进行了监测。赵文静等<sup>[11]</sup>研究了水下悬浮浒苔的海面光谱响应, 分析了海面光谱随着浒苔厚度、悬浮物深度以及水体浑浊度的变化规律。卢霞等<sup>[12-13]</sup>从定性和定量两个角度研究了浒苔从成熟期至死亡期的光谱特征和光谱位置变量。

浒苔的光谱特征是利用遥感手段监测浒苔的重要基础, 本文主要通过测定不同条件下浒苔的光谱反射率曲线, 获取浒苔的光谱特征, 并通过分析 Landsat 陆地卫星影像(TM)图像和中分辨率成像光谱仪影像(MODIS)图像上浒苔的光谱特征, 提取浒苔信息, 为实现高效地浒苔遥感监测提供一定的理论依据。

## 1 实测浒苔光谱数据分析

### 1.1 实验过程

本研究通过测定浒苔的光谱反射率来分析其光谱特征, 于 2012 年 7 月 19 日、20 日在青岛市黄岛区金沙滩进行海水和浒苔光谱数据测量。采用的仪器是 AvaField 地物光谱仪, 光谱范围 200~1 100 nm, 光谱分辨率为 2.4 nm, 视场角为 25°, 光谱间隔采用 6 nm, 室外测量。由于岸边海水波动较大, 影响测量精度, 对于海水及水中浒苔光谱反射率的测量通过采集样本的方式实现。实验分为以下三部分: 实验(1)利用内壁为黑色的圆桶采集海水样本及海水中浒苔样本各 3 组, 桶高为 30 cm, 海水组需要加满海水, 浒苔组粗略设定浒苔厚度为 10 cm, 加满海水, 每组均测量 10 条光谱反射率曲线进行平均, 然后对每组的数据取平均, 得出海水及浒苔的反射率曲线。实验(2)分别选取沙滩上及岩石海岸上有浒苔覆盖的站点 5 处, 每个站点均测量 10 条光谱反射率曲线进行平均, 然后对 5 处的数据进行平均, 得到覆盖于沙滩和岩石海岸上浒苔的光谱反射率曲线。实验(3)内壁为

收稿日期: 2013-07-15; 修回日期: 2013-09-16

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(11CX06007A)

作者简介: 樊彦国(1965-), 男, 河北望都人, 教授, 博士, 从事地理信息系统(GIS)和遥感(RS)在地质学中的应用研究, 电话: 0532-86891878, E-mail: ygf@upc.edu.cn

黑色的圆桶高为 30 cm, 分为 3 组, 每组 3 个, 第一组浒苔厚度为 5 cm, 第二组浒苔厚度为 10 cm, 第三组浒苔厚度为 15 cm, 然后 3 组圆桶均加满海水。每个桶中的浒苔漂浮于海水表面, 均测量 10 条光谱反射率曲线进行平均, 然后对每组的数据取平均, 得到不同厚度的浒苔反射率曲线。

## 1.2 实验结果分析

### 1.2.1 海水与水中浒苔光谱特征分析

根据实验(1)得到海水与水中浒苔的光谱反射率曲线, 如图 1 中所示, 实线表示海水的光谱反射率曲线。如果是纯净水体, 反射峰会出现在可见光中的蓝绿光波段, 在可见光其他波段的反射率会很低, 在近红外和中红外波段反射率趋近于 0<sup>[14]</sup>。但是由于本次实验所测量的海水是用内壁为黑色的圆桶所装, 对海水的反射率测量结果产生了一定影响, 致使蓝绿光波段的反射峰表现不明显; 而且由于黄海海域的水体属于 I 类水体, 水中含有的叶绿素浓度较高, 从而使近红外波段反射率抬高, 光谱反射率曲线整体趋于平缓。

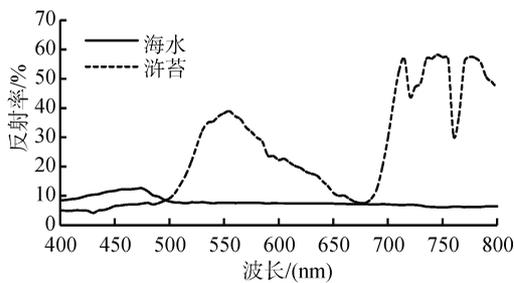


图 1 海水和浒苔实测光谱反射率曲线

Fig.1 Spectral reflectance curves of seawater and enteromorpha

图 1 中虚线为测得的浒苔光谱反射率曲线, 在可见光波段, 由于藻类色素在蓝光波段(440 nm)附近和红光波段(670 nm)附近存在着吸收峰, 在绿光波段(550 nm)附近存在一个吸收低谷, 所以浒苔光谱曲线在 440 nm 附近和 670 nm 附近反射率低, 形成反射低谷; 而在 550 nm 附近反射率迅速提升形成一反射峰。在近红外波段, 反射率迅速增大, 形成一个“陡坡”, 这主要是浒苔中叶绿素 a 的影响; 而在 710 nm 及 760 nm 处突然形成的反射谷, 主要是由于大气在荧光区间窄的强吸收带(730 nm 的水汽吸收带和 760 nm 的氧气吸收带)造成的<sup>[15]</sup>。总之, 浒苔与海水的光谱反射率曲线特征差别非常明显。

### 1.2.2 覆盖于沙滩、岩石海岸表面浒苔光谱特征对比分析

根据实验(2)得到覆盖于岩石海岸、沙滩表面浒苔光谱反射率曲线, 分别如图 2 实线和虚线中所示, 曲线整体趋势保持一致, 在蓝光波段(440 nm)附近和红光波段(670 nm)附近形成反射谷, 而在绿光波段(550 nm)附近形成反射峰; 在近红外波段反射率明显增大; 由于沙滩上的浒苔表面存在不少泥沙, 造成沙滩上浒苔的光谱反射率整体高于岩石海岸上浒苔的光谱反射率。

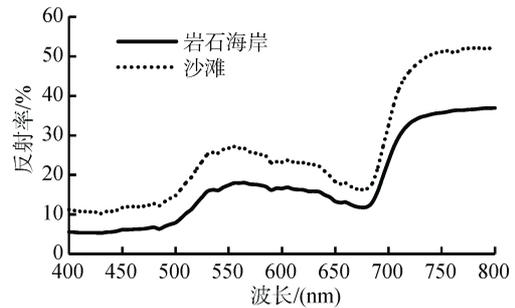


图 2 覆盖于沙滩、岩石海岸表面浒苔光谱反射率曲线  
Fig.2 Spectral reflectance curves of enteromorpha on the surface of sand and rocky coast

### 1.2.3 相同水深不同厚度的浒苔光谱特征对比分析

根据实验(3)得到粗略条件下相同水深不同厚度的浒苔光谱反射率曲线, 如图 3 所示, 分别为浒苔厚度为 5, 10, 15 cm 时的反射率曲线, 3 条曲线的整体趋势基本一致, 随着浒苔厚度的增加, 在不同波段所形成的波峰更加明显, 这主要是由于随着浒苔厚度的增加, 水中的叶绿素浓度不断增高, 荧光效应增强, 从而使各波段表现的特征更加明显。

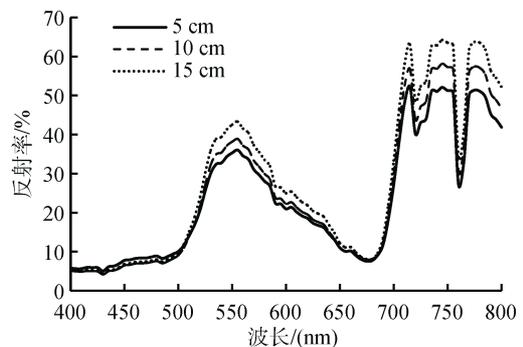


图 3 不同厚度的浒苔光谱反射率曲线  
Fig.3 Spectral reflectance curves of enteromorpha with different thicknesses

## 2 基于遥感图像的浒苔光谱特征分析

### 2.1 TM 图像浒苔光谱特征分析

选取 2009 年 7 月 15 日青岛近海的 LANDSAT5 卫星图像, 该图像已经过系统级的几何校正, 满足实验需要。对 TM5 卫星图像进行预处理, 将灰度值转化为反射率值, 并剔除第六波段后重新组合显示, 得到的真彩色图像如图 4 所示, 图像上可以观察到在近海区域有条带状分布的绿色物质, 便是浒苔, 进而得到浒苔光谱反射率曲线如图 5 所示。

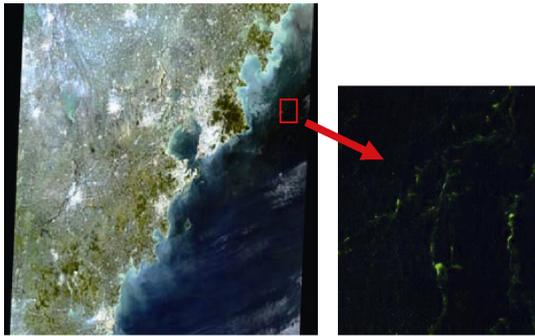


图 4 TM 真彩色图像

Fig.4 True color images of TM

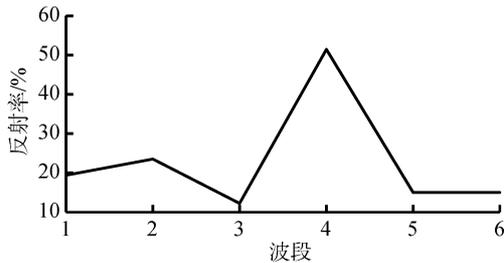


图 5 TM 图像上浒苔反射率光谱曲线

Fig.5 Spectral reflectance curves of enteromorpha on TM

从图 5 中看到, 浒苔光谱反射率曲线在蓝光波段(波段 1)和红光波段(波段 3)出存在反射谷, 在绿光波段(波段 2)存在反射峰, 而在近红外波段(波段 4)反射率明显增大, 形成“陡坡”。

### 2.2 MODIS 图像浒苔光谱特征分析

选取 2008 年 7 月 6 日上午过境的分辨率为 250 m 的黄海区域 1B 级定标辐射率产品 MODIS02。对 MODIS 图像进行几何校正、大气校正、图像裁剪等预处理, 得到各波段的反射率值, 结果图像如图 6 所示, 青岛附近海面上出现的条带状分布的物质即为浒苔, 从而获得 MODIS 图像上浒苔的光谱反射率曲线, 如图 7 所示。

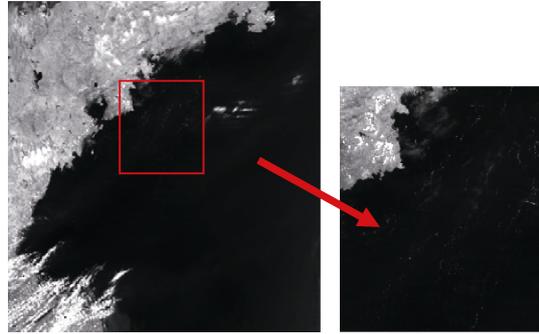


图 6 预处理后的青岛近海 MODIS 图像

Fig.6 MODIS images of Qingdao offshore after preprocessing

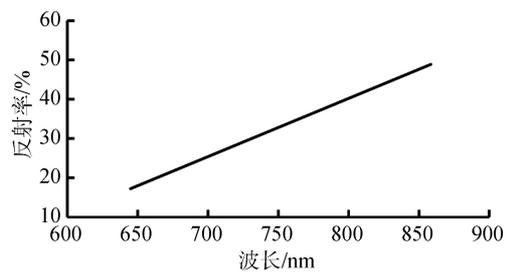


图 7 MODIS 图像上浒苔光谱反射率曲线

Fig.7 Spectral reflectance curves of enteromorpha on MODIS

由于 MODIS 250m 分辨率数据只有红光波段和近红外波段, 从图 7 中可以看出, 红光波段中心波长(645 nm)对应的反射率低, 近红外波段中心波长(858 nm)对应的反射率高, 差别十分明显。

## 3 遥感图像浒苔信息提取

根据上述分析可知, 光谱特征表现为在红光波段有反射谷, 而在近红外波段有明显的反射峰, 所以可将红光波段和近红外波段作为浒苔遥感监测的敏感波段。将海里的浒苔看作是含有大量水体的绿色植被, 在植被遥感研究中, NDVI 应用最广, 归一化植被指数(NDVI)<sup>[4]</sup>的计算公式可表示为

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_R}{P_{NIR} + P_R}$$

其中  $P_{NIR}$  和  $P_R$  分别表示近红外、红光波段的像元亮度(DN)值或反射率值, 其比值大小限定于-1 到 1 之间。

分别基于 TM 图像和 MODIS 图像计算 NDVI 值, 对陆地进行掩膜处理, 进而提取浒苔信息。通过反复试验发现, 对于 TM 图像, 当 NDVI 值取为 0.3~0.4 可以较好地获取浒苔信息; 对于 MODIS 图像, 当 NDVI 值取为 0~0.1 可以较好地获取浒苔信息。浒苔

提取结果如图 8 和图 9 所示, 图中绿色部分表示浒苔, 黄色部分表示陆地, 蓝色部分表示海水, 由于云雾等因素的影响, 提取结果存在一定误差。

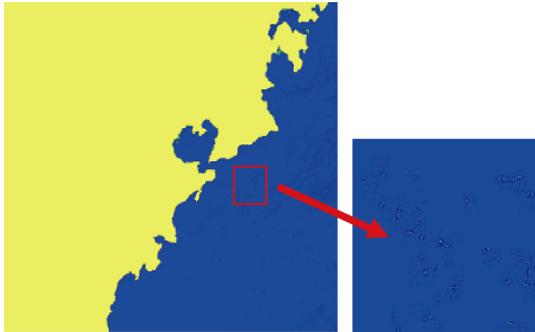


图 8 TM 图像 NDVI 提取结果  
Fig.8 NDVI extracting result of TM

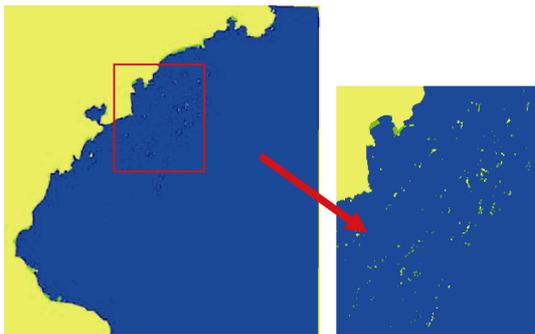


图 9 MODIS 图像 NDVI 提取结果  
Fig.9 NDVI extracting result of MODIS

## 4 结论

本文首先通过三组实验实地测量不同条件下浒苔的光谱反射率曲线, 结果表明: (1)浒苔与海水的光谱反射率曲线特征差别非常明显; 浒苔的基本光谱特征表现为在蓝光波段和红光波段附近形成反射谷, 在绿光波段形成反射峰, 而在近红外波段反射率明显增大, 形成高反射峰; (2)覆盖于沙滩上的浒苔光谱反射率比覆盖于岩石上的浒苔光谱反射率高; (3)随着浒苔厚度的增加, 在不同波段所形成的波峰更加明显。

总之, 不同环境中的其他物质因子会对浒苔的光谱特征造成一定影响, 使光谱反射率曲线有所不同, 但浒苔的基本光谱特征保持不变。

在此基础之上, 通过分析 TM 图像和 MODIS 图像上浒苔的光谱特征, 进一步验证浒苔在红光波段的低反射率特征和近红外波段的高反射率特征, 将红光波段和近红外波段作为敏感波段, 利用 NDVI 方法提取浒苔信息, 有较好的效果, 体现了光谱特

征对于浒苔监测的重要性。

本文仅仅是对于浒苔的光谱特征进行了初步研究探索, 为了更好地提高浒苔遥感监测的效率, 将对遥感图像上浒苔的信息提取方法以及浒苔灾害暴发的时空分布特征进行深入研究, 以期能为浒苔的预防治理提供依据。

参考文献:

- [1] 段维军, 郭立新, 陈先锋, 等. 扁浒苔 PCR 快速检测方法研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 30-35.
- [2] Yabe T, Ishii Y, Amano Y, et al. Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan [J]. Limnology, 2009, 10(3): 239-245.
- [3] 金浩良, 徐年军, 严小军. 浒苔中生物活性物质的研究进展[J]. 海洋科学, 2011, 35(4): 100-106.
- [4] 刘振宇, 江涛. 基于 MODIS 数据的浒苔信息提取方法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(1): 113-114.
- [5] 孙立娥. 绿潮遥感探测影响因素分析[D]. 青岛: 青岛大学, 2012.
- [6] 王国伟, 李继龙, 杨文波, 等. 利用 MODIS 和 RADARSAT 数据对浒苔的监测研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010, 4: 1-8.
- [7] 郑向阳, 邢前国, 李丽, 等. 2008 年黄海绿潮路径的数值模拟[J]. 海洋科学, 2011, 35(7): 82-87.
- [8] 曾韬, 刘建强. “北京一号”小卫星在青岛近海浒苔灾害监测中的应用[J]. 遥感信息, 2009, 3: 34-37.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [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.
- [12] 卢霞, 周立, 谢宏全, 等. 连云港海域浒苔藻体的光谱特征分析[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(6): 814-818.
- [13] 卢霞, 谢宏全, 周立, 等. 浒苔藻体时间序列光谱特征的曲线估计[J]. 海洋湖沼通报, 2012, 3: 96-102.
- [14] 于风. 青岛-黄海浒苔卫星光学遥感[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [15] 宋瑜, 宋晓东, 江洪. 太湖藻类的遥感监测研究[J]. 遥感信息, 2008, 4: 102-108.

# Research of spectrum characteristics of enteromorpha in Qingdao offshore

FAN Yan-guo, BAI Yu, CHEN Pan-pan, DING Zhi-hui, XU Lin

(China University of Petroleum (East China), School of Geosciences, Qingdao 266580, China)

**Received:** Jul., 15, 2013

**Key words:** *Enteromorpha*; spectral characteristics; reflectance curve; Landsat Thematic Mapper (TM) image; Moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS)

**Abstract:** Since 2008, large scales of *Enteromorpha* disaster broke out every summer in the southern Yellow Sea, resulting in negative influence on the marine environment and economy. In order to further study the characteristics of *Enteromorpha*, and provide certain theoretical basis of *Enteromorpha* monitoring by means of remote sensing, in this paper, we obtained spectral reflectance curves through the field measurements for different conditions and analyzed the basic spectral characteristics of *Enteromorpha* qualitatively. It formed reflection valley in blue and red band and formed reflection peak in green band. The reflectance increased obviously and formed high reflection peak in the near infrared band. Therefore using red band and near-infrared band as sensitive wave bands and to extract *Enteromorpha* information of remote sensing image based on NDVI, good results can be obtained, which is beneficial to *Enteromorpha* monitoring.

(本文编辑: 刘珊珊)