

# 光学浅水海草高光谱识别

杨超宇<sup>1,2</sup>, 杨顶田<sup>1</sup>, 赵俊<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室, 广东 广州 510301; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 以三亚湾泰莱藻为例, 对海草光谱特征进行分析。结果表明, 450—780nm 是海草光谱主要敏感波段, 其波段内的导数光谱是海草叶面积大小序列辨别的有效依据。一阶导数获得的红边与叶片叶绿素 a 浓度密切相关。海草在 625nm、675nm 两处出现明显的导数特征峰, 两峰峰值相差较大; 其优势特征峰分布在 550nm、700nm、750—780nm。实际应用中, 此特征可作为海草底质分类的识别条件, 与海草覆盖率和光谱特征的关系相结合, 可对大量的遥感数据进行识别, 从而达到大尺度遥感监测海草分布和动态变化的目的。

**关键词:** 海草; 高光谱; 光学浅水; 导数光谱; 覆盖率

中图分类号: P733.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)02-0074-06

## Hyperspectral recognition of seagrass in optically shallow water

YANG Chao-yu<sup>1,2</sup>, YANG Ding-tian<sup>1</sup>, ZHAO Jun<sup>1,2</sup>

(1. LED, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Graduate Univ. of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The authors use the spectrum of *Thalassia* to analyze the optical properties of seagrass substrates. The results show that in the range of 450–780nm, the derivative spectral reflectance of seaweed can reflect the variability of leaf area index with high accuracy. Red edge calculated by the first order derivative spectrometry is a good indicator for chlorophyll concentration. In the derivative spectra, there are two obvious peaks at 625nm and 675nm, and the difference between the two peak values is large for seagrass. Other dominated peaks appear at 550nm, 700nm, and 750–780nm. Combining with the relationship between seagrass coverage rate and the spectral properties, the properties of peak distribution can be utilized to classify plenty of remote sensing data sets in order to monitor large scale spatio-temporal dynamic patterns.

**Key words:** seagrass; hyperspectrum; optically shallow water, the first derivative spectrum; coverage rate

海草床(又称海底草原)为三大典型海洋生态系统之一, 它不仅是海洋生物索饵和育幼的良好场所, 还是一些大型生物乃至哺乳动物赖以生存的栖息地。然而, 我国却未能够给予海草足够的重视和保护。近年来, 海草已经遭到了严重破坏。为了更有效地监测、管理和保护海草, 亟需对海草的健康状况和分布范围进行调查研究。

近年来, 随着高光谱遥感技术的发展与应用, 遥感影像的空间分辨率和光谱分辨率得到很大提高。遥感技术已成为地表组成信息监测的主要手段, 广泛应用于资源与环境动态监测<sup>[1]</sup>。国外已有学者

开始探索应用遥感技术监测水下植物分布时空变化与生长状况<sup>[2-7]</sup>。Han 等<sup>[8]</sup>研究了金鱼藻在不同深度的清水和富含藻类水体中光谱反射率的变化。在国内, 吴长山等<sup>[9]</sup>对高光谱数据和叶片叶绿素密度相关性作了研究, 建立了近红外波段 762nm 处的高光谱数据与叶绿素密度的回归方程。迄今为止, 国内海草方面的遥感监测应用技术的研究还较少。

本项研究分别采用表面光谱仪和底质反射率探测仪测量了泰莱藻的反射率光谱, 经数据处理分析后得到了不同底质的反射率及反射率导数光谱特征; 通过进一步研究海草叶面面积指数(Leaf Area Index,

收稿日期: 2009-05-06; 修订日期: 2009-09-22。孙淑杰编辑

基金项目: 国家自然科学基金(40876092); 国家高技术研究发展计划项目(2006AA09Z155); 广东省科技计划项目(2008B030303026); 广东省自然科学基金团队项目(8351030101000002); 中国科学院南海海洋研究所知识创新工程领域前沿项目(LYQY200701)

作者简介: 杨超宇(1985—), 女, 新疆石河子市人, 硕士研究生, 主要从事海洋水色研究。Email: ycy@scsio.ac.cn

LAI)与植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的相关性,建立了线性回归模型。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域

测量地点在三亚湾鹿回头半岛北部海岸(图1),

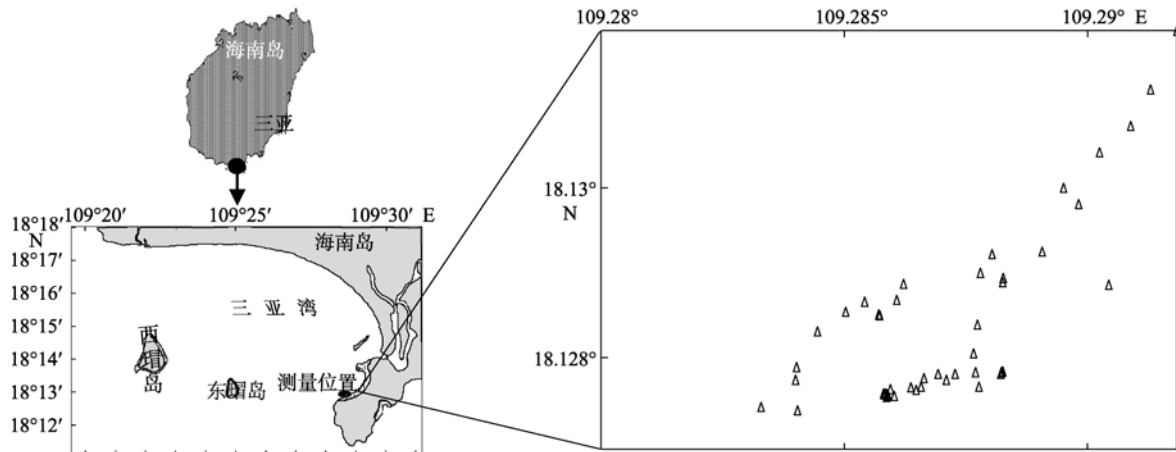


图1 研究区域

Fig. 1 Study area

### 1.2 光谱测定

表面法测量采用 Avaspec-2048FT-3-DT, 光谱仪波段在 350—1000nm; 传感器探头全视场角(FOV)10 度。通过合理的观测几何安排和测量积分时间设置,即得到观测量。

水下现场测量采用底质反射率检测仪,该系统的光谱仪是 USB4000-UV-VIS, 波长范围是 200—850nm, 光学分辨率 1.5nm FWHM。为了方便地对岸反射率进行探测,该系统采用了透光玻璃和光纤以及加载在外围的水密系统。

数据采集过程中依次对水面、天空、反射板的辐照度码值进行测量存储,每 10—15 个数据为一组,同时记录与之相匹配的暗电流值,以做校正准备。

### 1.3 LAI 的测量

在各研究站点处理中随机抽取 100 株海草,统计每株的叶片数  $I$ , 求出  $I$  片叶海草的株数所占的百分比  $X_i$ ; 再随机抽取同一叶片数的海草各 10 株。将其叶片平铺于固定大小的矩形框(25cm × 40cm)之上,在其垂直正上方对叶片拍照。将相片扫描,利用计算机的 PHOTOSHOP 软件得出叶片及矩形框的像元数。因为框的实际面积已知(1000cm<sup>2</sup>),利用比例求出叶片的实际面积。

海草床的面积小于 1 万 m<sup>2</sup>, 主要种类有海菖蒲、泰来藻, 优势种群是泰来藻。观测时间是 2008 年 4 月中下旬。本项研究采用水面之上法和剖面法现场收集光谱数据(海草底质站点 16 个, 浅水区白沙底质站点 10 个, 深水区珊瑚底质 13 个), 进行校正处理, 得到了不同底质类型的底质反射率。

通过测量和计算得到各处理中不同叶片数海草的单叶平均面积  $S_i$ , 后按比例求出各处理的叶面积指数  $S$ 。

$$S = P \times \sum (i \times S_i \times X_i)$$

$P$  是各处理中统计的海草密度(株·m<sup>-2</sup>)

### 1.4 数据分析

QuickBird 遥感影像的波段划分与 TM 和 SPOT 等遥感影像波段比较接近,具有一定的推广性和实用性。对高光谱数据进行截取和 Lambda 积分时,一般研究大多都选择在 QuickBird 多光谱遥感影像的 4 个波段(蓝光: 450—520nm; 绿光: 520—600nm; 红光: 630—690nm; 近红外: 760—800nm)。

为了可以切实服务于水下植物的遥感应用,本研究选择可见光和近红外波段范围的光谱数据(400—800nm), 分别对表面及剖面数据进行剔除、筛选,根据实测现场状况对剖面数据进行直方图分析<sup>[10]</sup>。通过截取与计算得出反射率值,再对反射率光谱数据进行一次求导,得到反射率光谱曲线极值及极值分布,从而对海草的信息进行提取。

在此需要说明的是,虽然海草光谱在近红外波段可识别,但是这些波段只能有效地区分暴露在水外的遥感数据,因而此波段的数据在实际应用中具有局限性。在蓝光波段水下遥感判别也是困难的,

因为遥感器在蓝光波段的灵敏度很低,同时大气也很大程度上影响了反射率值。

## 2 结果与分析

### 2.1 底质光谱分析

不同底质的反射率光谱具有明显的差异(图 2)。相对来说,光学深水(珊瑚底质 a38)的反射率值最低,在 600—800nm 之间曲线平稳;此外,海草底质的反射率值明显低于白沙底质的反射率值。

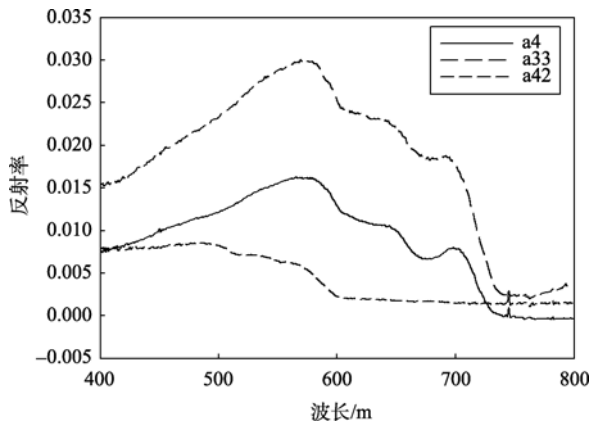


图 2 不同底质反射率

a42: 深水区珊瑚底质; a33: 浅水区白沙底质; a4: 海草底质  
Fig.2 Bottom reflectances, with a42 for coral substrate in optically deep water, a33 for white sand substrate in optically shallow water; and a4 for seagrass substrate

由于海草叶片中色素组分不同,反射率值在 540—700nm 呈现较大差异(如图 3 所示)。其中,540—560nm 以及 670—680nm 的光谱值与叶片叶绿素含量密切相关;除了叶片的叶绿素含量,海草的体表寄生物也会影响海草的反射率值(集中表现在 560—670nm)<sup>[11]</sup>。光学浅水中,水体的衰减系数严重影响

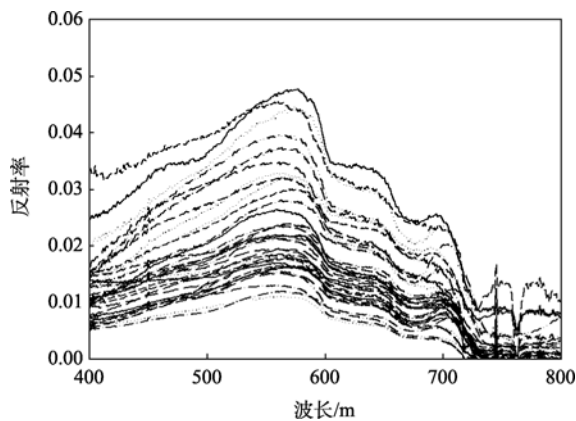


图 3 不同覆盖率海草的光谱特征

Fig. 3 Spectral properties of seagrass with different coverage rates

海草的生长状态,因而海草的反射率值与衰减系数有着较高的相关性<sup>[12]</sup>。

### 2.2 一阶导数光谱特征分析

一阶导数获得的红边是单叶片叶绿素含量的较好的评价器,二阶导数冠层光谱反射率则是冠层叶绿素较好的指示器。如图 4 所示,海草在 625nm、675nm 两处出现明显的导数峰,且两峰峰值相差较大;虽然浅水白沙底质反射率导数光谱也在 625nm、725nm 处出现峰值,但是峰值都较小,且两峰峰值相差较小;深水区珊瑚底质的反射率导数光谱在 580nm 处出现了导数波谷(图 4)。

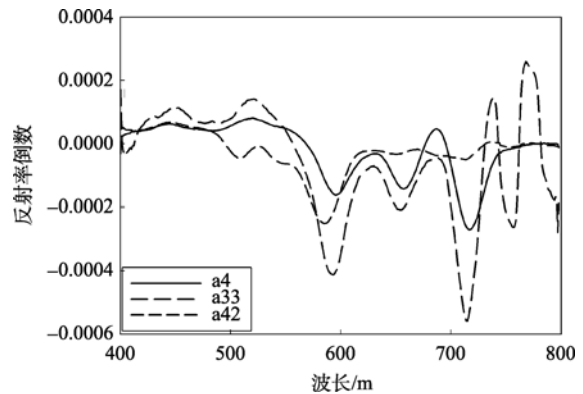


图 4 不同底质反射率一阶导数光谱

a4: 海草; a33: 浅水区白沙底质; a42: 深水区珊瑚底质  
Fig. 4 First derivative spectra, with a4 for seagrass substrate, a33 for white sand substrate in optically shallow water, and a42 for coral substrate in optically deep water

### 2.3 不同底质反射率峰值分布特征

不同底质的反射率极值分布各具特色(图 5、6、7)。浅水区白沙底质特征峰从个数来说少于海草底质的特征峰,说明曲线较为平稳。从特征峰分布状

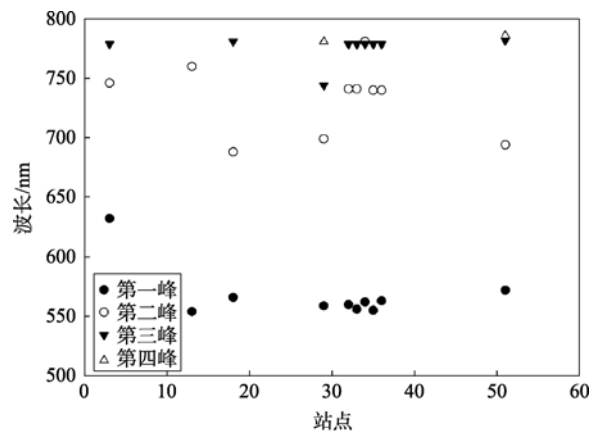


图 5 浅水区白沙底质光谱峰值分布

Fig. 5 Peak location distribution of white sand substrate in optically shallow water

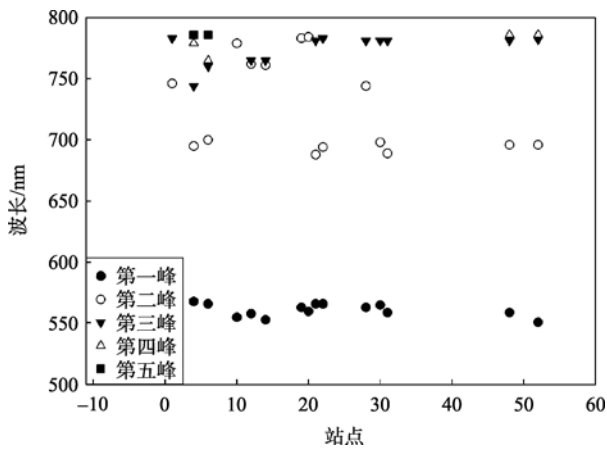


图 6 海草底质光谱峰值分布  
Fig. 6 Peak location distribution of seagrass substrate

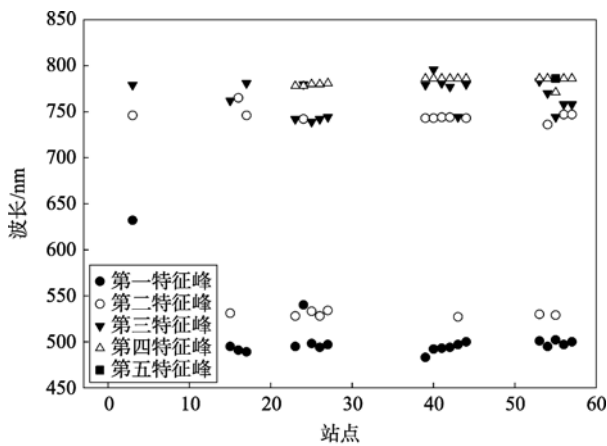


图 7 深水区珊瑚底质光谱峰值分布  
Fig. 7 Peak location distribution of coral substrate in optically deep water

况来看, 其特征峰在 550—600nm 之间呈现优势(图 5), 而其他波段的峰值分布较为零散。而海草底质的特征峰分布在 550nm、700nm、750—780nm(图 6), 在 700nm 附近的波峰会随着叶绿素含量的变化而变化。叶绿素含量高, 红光区域吸收增加, 导致红边向长波移动。深水区珊瑚底质的特征峰分布主要出现在 450—550nm 和 750—800nm, 分布较为集中。对海草反射率峰值分布特征进行处理分析并收集记录, 以此建立海草底质识别搜索条件集, 对大量的遥感数据进行归类辨别, 从而将海草底质类型的海区识别出来。

#### 2.4 反射率与叶面指数相关性分析

在自然光照条件下, 海草反射的辐照度光谱既包括太阳光诱导荧光的发射光谱, 又包括叶片对入射光的反射, 是荧光发射光谱和海草反射光谱的线性耦合, 从而使得海草的反射率光谱曲线具有可识别性。如图 3 所示, 我们可以从海草叶片叶绿素的

强吸收带 450—550nm 和与叶绿素荧光峰对应的反射峰(700—720nm)来分析海草的叶面面积大小序列。

随着海草覆盖率的增大, 可见光部分冠层反射率降低, 近红外部分冠层反射率增高, 尤其在 710nm 处附近的海草特征的反射峰强度明显增强(图 8)。此趋势与归一化植被指数 NDVI 和叶面积指数 LAI 关系趋势相一致(图 9)。这是因为, 当叶面积指数增大时, 反射率越来越多地受海草光谱特性的影响, 受其下垫面的影响越来越少。探头视场范围内白沙或珊瑚碎石底质所占比例减小, 因而光谱中白沙或碎珊瑚底质的信息所占比例相应减小。且随着叶面面积增加, 海草在 700nm 处的特征峰有红移现象发生。随着叶面积指数增加和叶片重叠, 近红外反射的散射和反射增加, 导致红边向短波方向移动。在近红外波段影响海草光谱特征的主导因素是冠层的结构, 冠层结构不同, 对光线的反射和吸收能力也不相同。

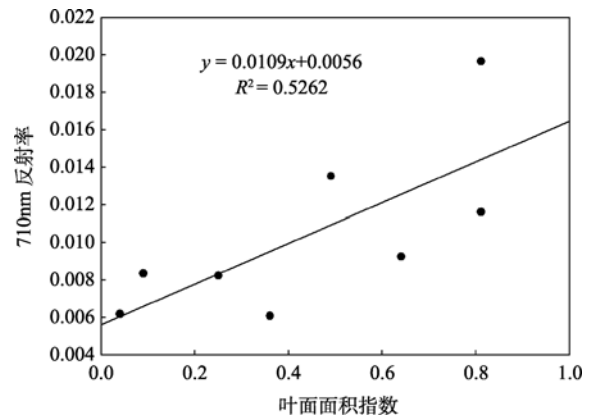


图 8 海草叶面积指数与其 710nm 反射率回归分析  
Fig. 8 Regression analysis of leaf area index and reflectance at 710nm

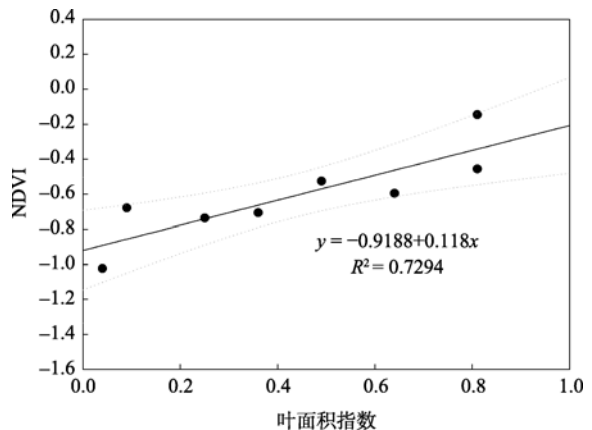


图 9 海草叶面积指数与其 NDVI 的回归关系  
Fig. 9 Regression analysis of leaf area index and normalized difference vegetation index

### 2.5 海草体表附着物与光学浅水水体的光谱影响

水体中含有藻类和其他悬浮物质, 这些物质不仅会增加对光的吸收, 同时还会附着在叶片表面, 改变植物的结构, 从而改变海草在近红外区域的反射光谱特征。这可能是造成海草反射光谱中在近红外波段 740nm 和 770nm 附近形成两个波谷的主要原因(图 10)。此外, 黄色物质在短波波段对光具有很强的吸收性, 从而增加了海草在 520 nm 以内的短波波段识别的难度。

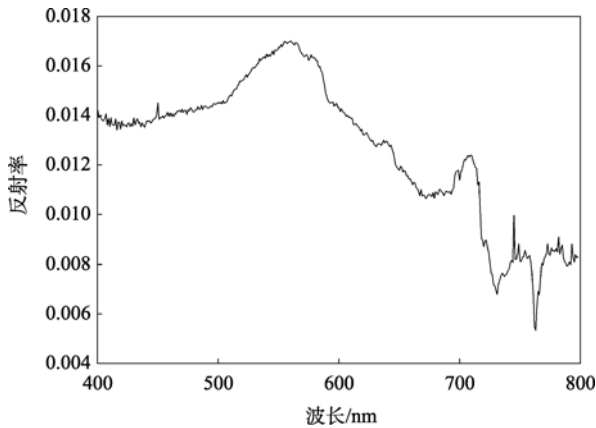


图 10 浅水区海草光谱特征

Fig. 10 Spectra properties of seagrass in optically shallow water

从图 11 可以看出, 700nm 后的反射率是持续上升的, 但是在光学浅水水体的影响下, 其反射率在 730nm 后呈明显下降趋势。通过对比分析相应站点的水体衰减系数可知, 730nm 后衰减程度明显大于其他波段, 这表明光谱仪传感器接收的反射光谱不仅是植物本身的光谱信息, 同时也包括了部分水体和底质的反射光谱。随着海草覆盖率的降低, 水域与基质的面积逐渐增多, 因而在绿光波段和近红外波段的光谱反射率也随之下降。当海草覆盖率为零时, 所测得的反射光谱主要来自基质和水体, 其反射光谱虽然在可见光和近红外波段范围内仍有一定的吸收, 但却不具有典型的植物光谱吸收特征。

海草的光谱特征往往还受到水体理化特性、环境条件和浮游生物的影响, 因此水体环境对沉水植

物光谱特征所产生的影响还有待进一步研究。

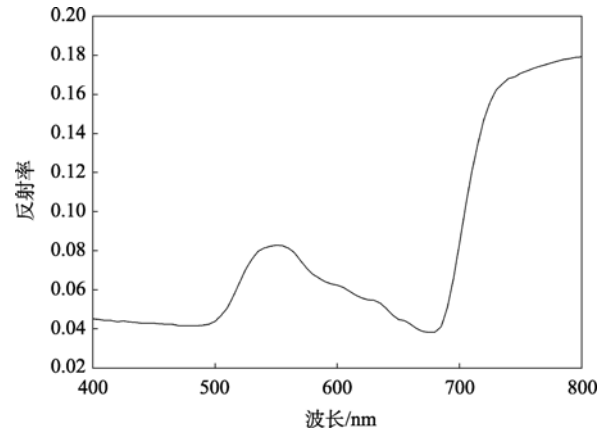


图 11 海草实验室实验光谱特征

Fig. 11 Spectra properties of seagrass in laboratory experiments

### 3 结论

通过光谱分析可知, 450—550nm 是海草叶片叶绿素的强吸收带, 700—720nm 呈现与海草叶绿素荧光峰对应的反射峰。随着海草覆盖率的增大, 可见光部分冠层反射率降低, 近红外部分冠层反射率增高, 尤其在 710nm 处附近的具有海草典型特征的反射峰强度明显增强。随着叶面面积增加, 海草在 700nm 处的特征峰有红移现象发生。随着叶面积指数增加和叶片重叠, 近红外反射的散射和反射增加, 导致红边向短波方向移动。在近红外波段影响海草光谱特征的主要因素是冠层的结构, 由于冠层结构不同, 对光线的反射和吸收能力也不相同。反射峰峰值随叶面指数的降低而下降, 尤其在近红外区域, 反射率随海草覆盖率变化最为明显, 从 0.012 下降到 0.008。

海草在 625nm、675nm 两处出现明显的导数峰, 且两峰峰值相差较大; 其优势特征峰分布在 550nm、700nm、750—780nm。此分布特征可以做海草底质识别的搜索识别条件, 用其对大量的遥感图片相对应的波段信息进行底质判别筛选, 从而达到将其海草底质类型的区域识别、归类的目的。

### 参考文献

- [1] ROUGH G J, RUNNING S, MATAON P. What does remote sensing do for ecology[J]. *Ecology*, 1991, 72(6): 1981–1922.
- [2] ACKLESON S G, KLEMAS V. Remote sensing of submerged aquatic vegetation in Lower Chesapeake Bay: A comparison of LandSat MSS to TM imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1987, 22: 235–248.
- [3] JENSEN J R. Measurement of seasonal and yearly aquatic macrophyte changes in a reservoir using multirate SPOT

- panchromatic data[J]. Technical Papers, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1992, 1: 167–176.
- [4] JENSEN J R, NARUMALANI S, WEATHERBEE O, et al. Measurement of seasonal and yearly cattail and waterlily changes using multirate SPOT panchromatic data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1993, 59: 519–525.
- [5] KIRKMAN H. Baseline and monitoring methods for seagrass meadows[J]. Environment Management, 1996, 47: 191–201.
- [6] NOHARA S. A study on annual changes in surface cover of floating-leaved plants in a lake using aerial photography[J]. Vegetation, 1991, 97: 125–136.
- [7] WELCH R, REMILLIARD R R, SLACK R B. Remote sensing and geographic information system techniques for aquatic resource evaluation[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54: 177–185.
- [8] ORTH R J, MOORE K A. Chesapeake Bay: an unprecedented decline in submerged aquatic vegetation[J]. Science, 1983, 222: 51–53.
- [9] HAN L, RUNDQUIST D. The response of both surface reflectance and the underwater light field to various levels of suspended sediments: Preliminary results[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, 60: 1463–1471.
- [10] 吴长山, 项月琴. 利用高光谱数据对作物群体叶绿素密度估算的研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 228–232.
- [11] 陈清莲. 利用直方图方法处理二类水体剖面数据研究[J]. 海洋技术, 2005, 24(3): 116–119.
- [12] FYFE S K, DEKKER A G. Seagrass species—are they spectrally distinct?[J]. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. 6: 2740–2742.
- [13] BECKER B L, DAVID P L, QI J G. Identifying optimal spectral bands from in situ measurements of Great Lakes coastal wetlands using second-derivative analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(2): 238–248.