

# 基于光谱特征的 MODIS 影像 东海水体类别信息提取

申力, 许惠平, 吴萍

(同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海, 200092)

**摘要:** 近年来东海海洋环境由于赤潮频发日趋恶化, 为了进行基于水体类别信息提取的水体宏观分异规律探究, 本文在对不同水体光谱曲线分析的基础上, 提出了两种基于光谱特征波段运算的 MODIS 影像水体类别提取模型, 通过优化并确定各类水体阈值, 最终得到了 2004 年 6 月 11 日和 2007 年 10 月 2 日东海赤潮期悬浮泥沙水体、富营养化水体、赤潮水体、赤潮边界水体和远洋洁净水体五大类的分布和变化特征, 并分别对两个时期的影像进行了叶绿素 a (Chl a) 和海表温度 (SST) 反演辅助分析, 研究结果不仅能从宏观上有效识别悬浮泥沙和赤潮等水体的分布范围, 同时也能反映出不同水体因子从海岸带向远洋深海的变化规律, 为海洋环境进一步探讨提供了研究基础。

**关键词:** MODIS; 光谱特征; 波段运算; 赤潮; 叶绿素; 悬浮泥沙

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.03.013

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)115-0071-06

## Water Class Extraction of the East China Sea Using MODIS Data Based on Spectral Characteristics

SHEN Li, XU Hui ping, WU Ping

(State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract:** In recent years the marine environment in the East China Sea (ECS) tends to become deteriorated because of frequent algal blooms. In order to detect the microscopic distribution of ocean waters based on the classification extraction, efforts are firstly made in this paper to analyze the spectrums of each water class, and then two bands ratio classification algorithms based on spectral characteristics are developed. After the optimization of the threshold values, distribution and variation characteristics of suspended sediment water, eutrophication water, algae bloom water, boundary water of algae bloom, and open ocean water are obtained from the MODIS L1 data respectively on Jun 11<sup>th</sup>, 2004 and Oct 2<sup>nd</sup>, 2007 when algal blooms broke out. Besides, Chlorophyll a (Chl a) and Sea Surface Temperature (SST) derived from the same original data are analyzed as ancillary information. This result not only can identify the distribution of different waters but also reveal the changing pattern of water factors from the coastline to the open ocean, providing the baseline for future discussion of the marine environment in ECS.

**Key words:** MODIS; spectral characteristics; bands ratio algorithm; algal bloom; chlorophyll a; suspended sediments

### 1 引言

大尺度海洋水体类别信息提取是海洋环境变化

监测的基础,不但能为赤潮监测提供目标水域的时空分布特征,同时也能为大气研究提供下垫面情况。而基于遥感影像的水体类别提取则从时间和空间尺

收稿日期: 2010-05-05    修订日期: 2010-06-03

基金项目: 同济大学海洋地质国家重点实验室自主研究课题重点项目 (MG20080104) 和海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室开放研究基金 (20080)。

作者简介: 申力 (1986~), 女, 河北张家口人, 硕士研究生, 从事海洋遥感研究。

**E mail:** shenli063042@163.com

度上极大地提高了海洋监测效率,体现出海洋遥感服务于社会的优势。

国内外研究人员对遥感影像水体类别提取进行了相关的研究。Nitin 等<sup>[1]</sup>通过分析 TM 影像不同波段 DN 值与各类水体因子的定量关系,发现红光和短波红外波段是富营养水体总溶解物质的特征波段。Samps a 等<sup>[2]</sup>对模拟的 MERIS 数据进行了透明度、浑浊度和叶绿素 a (Chl a) 3 类水体提取并得到可操作标准。Linda. V 等<sup>[3]</sup>提出两种基于聚类原理的水体类别提取方法,并对大西洋西北部水体进行了应用。Niklas 等<sup>[4]</sup>研究结果表明光谱后向散射来源于悬浮泥沙,长波段是提取 Chl a 的特征波段。吴文<sup>[5]</sup>提出一种金字塔图像分层结构的多分辨率模糊 C-均值算法用于不同类别水体提取。谢欢<sup>[6]</sup>建立了基于半分析算法的水体类别遥感定量估算模型。

本文根据东海不同水体因子光谱特征分析结果,建立了两种 MODIS 影像水体类别提取的波段比值模型,计算并通过程序实现,得到了赤潮期的东海 5 大类水体分布模式,其空间范围及边缘特征与实际水体吻合性较好,并得到了 Chl a 和 SST 反演结果的辅助解释与验证,特别对悬浮泥沙水体和赤潮水体提取具有广阔的应用前景。

## 2 数据及方法介绍

本文的研究区域是我国黄金海岸和水道的交汇处,包含了整个长江口、杭州湾以及邻近东海海域。海洋环境特征表现为河口悬浮泥沙浓度高,水体富营养化严重,每年都会有高频率、大面积的赤潮灾害爆发,大大降低了东海渔业生产能力,严重破坏了海洋生态环境。因此对该海域进行水体类比信息提取研究具有重要的环境和经济意义。

本文采用的数据为具有 36 个光谱波段的中分辨率成像光谱仪 MODIS L1B 数据。与其他传感器相比,MODIS 的显著特点表现在对高优先级的大气、海洋以及地表特征可以进行高精度、多频次和多光谱波段的同步观测。

本文首先对原始 MODIS L1B 数据进行了去除条带噪声和数据重叠、几何校正、图像增强等预处理,得到 649nm、555nm、469nm 三波段真彩反射率影像,目视解译得到研究对象的先验信息。然后通过光谱特征分析建立提取模型,代入实际反射率值计算并优化阈值,最后编写程序实现了东海水体类别提取模型,具体流程见图 1。

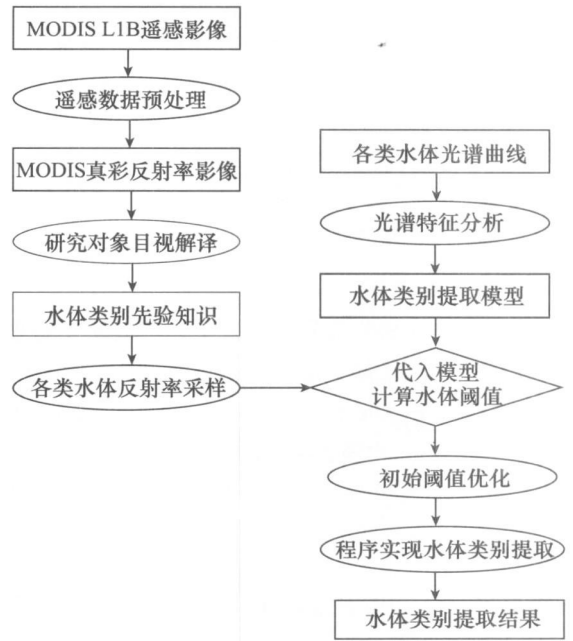


图 1 MODIS 影像水体类别信息提取流程

## 3 光谱分析及模型建立

### 3.1 水体光谱特征分析

东海海洋环境相关资料表明,赤潮期东海主要水体因子为悬浮泥沙,Chl a 和赤潮生物种。图 2<sup>[7]</sup>反射光谱曲线表明,悬浮泥沙在 590nm~650nm 波段范围内较为敏感,出现反射率峰值,是遥感监测水体浑浊度的最佳可见光波段。而在 450nm 附近悬浮沙水体反射率很低,所以该波段也可作为识别悬沙水体的对比特征波段<sup>[8]</sup>。Chl a 是海洋浮游生物的主要色素,它在 560nm 和 668nm 处分别出现反射峰值,而在 440nm 和 670nm 附近出现吸收峰,Chl a 同时也是反映富营养化程度的重要参数,富营养化时 Chl a 对近红外波段具有明显的“陡坡效应”。赤潮水体在 440nm~460nm 和 650nm~670nm 分别有两个吸收峰,在 560nm~580nm 和 690nm~710nm 有两个反射峰<sup>[9]</sup>。

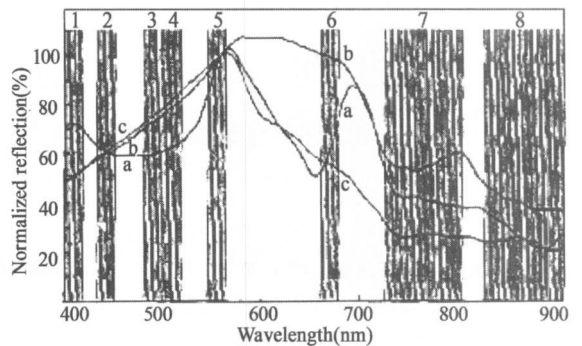


图 2 赤潮 (a)、悬浮泥沙 (b) 和清水 (c) 反射光谱曲线

### 3.2 波段比值提取模型

水体光谱特征分析结果表明,在红蓝波段(620nm~700nm,430nm~470nm)各类水体的反射率差异比较明显,而645nm、555nm、469nm正是MODIS的1、4、3真彩色合成波段。故本文采用645nm的反射率与469nm的反射率之比建立东海水体类别信息提取模型1,很好的利用了悬浮泥沙敏感波段645nm。

$$C1 = Lrs(645)/Lrs(469) \quad (1)$$

$Lrs(645)$ ,  $Lrs(469)$  分别是MODIS数据第3和第1通道的水体反射率值,  $C1$  是模型1设定的水体类别阈值,其范围大小取决于各水体因子特征。

MODIS第3通道反射率含有赤潮水体的吸收信息,第4通道则含有赤潮水体的反射信息,故利用555nm处的水体反射率与469nm处的反射率比值建立东海水体类别信息提取模型2。

$$C2 = Lrs(555)/Lrs(469) \quad (2)$$

$Lrs(555)$  是MODIS数据第4通道的水体反射率值,  $C2$  是模型2设定的水体类别阈值,其大小与研究海域的赤潮生物种有关,它在一定程度上表明了浮游藻类聚集程度,是Chl a含量的一种反映,有助于提取不同程度富营养化水体时光谱特征的解释。

## 4 反射率采样及模型实现

### 4.1 先验类别知识获取

结合2004年中国海洋环境质量公报,对2004年6月11日中肋骨条藻赤潮爆发时研究区域的真

彩色影像进行目视解译,建立东海水体类别先验知识,可将研究区域水体初步定为5大类,蓝黑色水域为远洋洁净水体(有大片高反射率云层覆盖),深褐色水域为赤潮水体,墨绿色水域为赤潮边界水体,大片蓝绿色水域为富营养化水体,长江口及杭州湾内黄色水域为近岸悬浮泥沙水体(图3)。

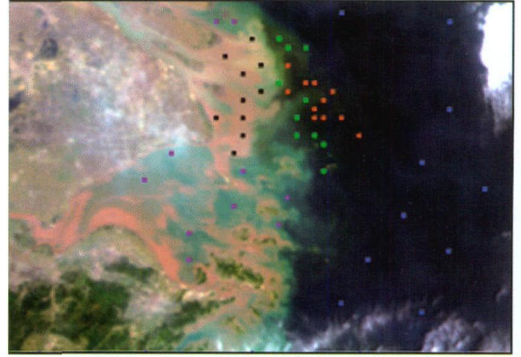


图3 2004年6月11日MODIS真彩反射率影像

### 4.2 反射率数据分析

对各类典型水域进行3个波段的反射率值取样(图3),将采样点数据代入两种模型运算并分析(表1),根据表1的统计结果进行两种模型阈值初步设置,对于模型1,阈值初设中赤潮水体和赤潮边界水体有部分重叠,因此进行阈值平均优化。对于模型2,初设结果显示不同水体阈值重叠范围很少,说明该模型的分类效果较好,最终得到的水体阈值结果(表2),根据各类水体两种阈值范围从小到大的分布,得到依次排列的5类水体是:悬浮泥沙水体、富营养化水体、赤潮边界水体、赤潮水体、远洋洁净水体。

表1 各类水体反射率数据模型运算结果分析

分类模式		悬浮泥沙水体	富营养化水体	赤潮水体	赤潮边界水体	远洋洁净水体
R/B	最大值	1.616336	2.304388	2.731521	2.518672	3.079605
	最小值	1.544329	2.131802	2.506373	2.328110	2.841584
G/B	最大值	1.338266	1.388345	1.606568	1.521842	1.791473
	最小值	1.247448	1.353927	1.482059	1.390143	1.656133

表2 水体类别阈值统计优化结果

水体类别	C1 初值	C1 终值	C2 初值	C2 终值
悬浮泥沙水体	1.544~1.616	≤1.874	1.247~1.338	≤1.346
富营养化水体	2.132~2.304	1.874~2.316	1.354~1.388	1.346~1.389
赤潮水体	2.506~2.732	2.513~2.787	1.482~1.607	1.502~1.632
赤潮边界水体	2.328~2.519	2.316~2.513	1.390~1.522	1.389~1.502
远洋洁净水体	2.842~3.079	≥2.787	1.656~1.791	≥1.632

### 4.3 模型的程序实现

本文在 VC++ 平台上实现了上文提到的两种模型, 最初结果见图 4 和图 5, 由于研究海域中远洋水体被大片云层覆盖, 表现出的混合像元造成光谱特征信息丢失, 使本应为蓝色的远洋水体颜色杂乱。为避免误判和陆地的干扰, 故对初始结果进行海岸线提取和陆地云层掩膜处理, 提高了解译判读的准确度。处理结果分别见图 6 至图 9。

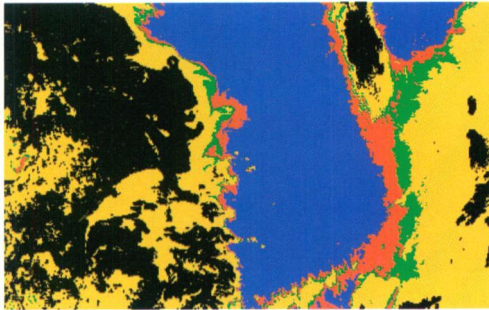


图 4 模型 1 水体类别提取结果

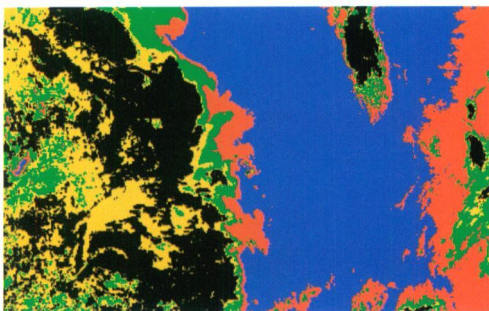


图 5 模型 2 水体类别提取结果

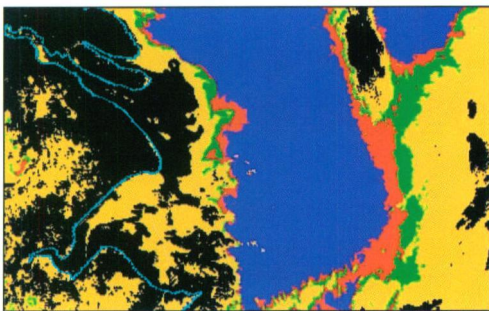


图 6 模型 1 海岸线提取结果

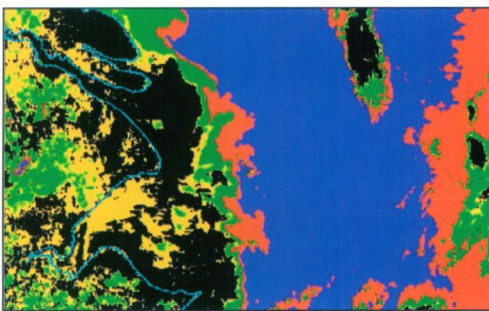


图 7 模型 2 海岸线提取结果

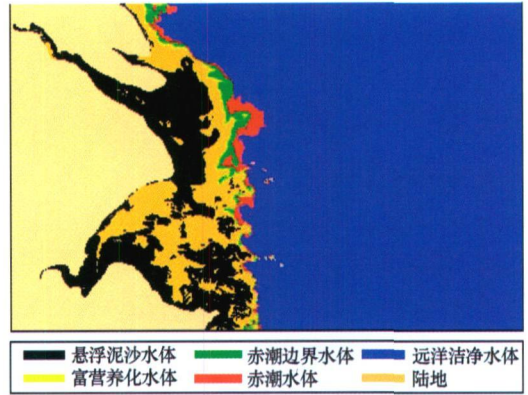


图 8 模型 1 陆地和远洋云层掩膜结果

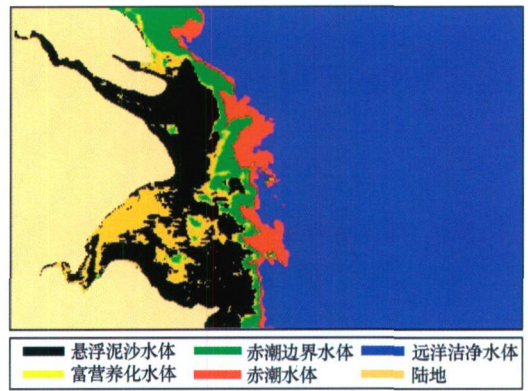


图 9 模型 2 陆地和远洋云层掩膜结果

## 5 结果讨论和应用推广

模型 1 对悬浮泥沙水体的提取更具有针对性。悬浮泥沙在 645nm 的反射率明显高于其他水体类别, 在 469nm 的值则与其他水体近似, 故  $C1 \leq 1.874$ , 远小于其他水体计算值, 因此能有效识别出悬浮泥沙水体。图 8 的水体提取结果也证实了在长江口及杭州湾邻近海区, 由于受陆源泥沙径流影响而使水色透明度小, 呈现出东海近岸二类水体高悬沙浊度的特征。

模型 2 对赤潮水体的识别更具有针对性。由实测资料可知, 长江口及邻近海域中赤潮爆发的 ChF<sub>a</sub> 临界值为  $6\text{mg}/\text{m}^3$ <sup>[13]</sup>, 图 10 为同一时间研究区域的 ChF<sub>a</sub> 浓度 OC3 算法反演结果, 其中红色海域即为 ChF<sub>a</sub> 浓度大于  $6\text{mg}/\text{m}^3$  的海域, 而模型 2 得到的赤潮范围与该海域基本吻合。同时为了满足赤潮生物大量繁殖的需求, 赤潮水体 SST 也有一定的阈值。2004 年 6 月 11 日在长江口及邻近海域赤潮爆发区 SST 在  $22^\circ\text{C} \sim 24^\circ\text{C}$  之间<sup>[14]</sup>。将模型 2 提取的赤潮水体与 SST 反演结果(图 11)对照可发现, 模型 2 提取的赤潮水体 SST 分布基本落于  $22^\circ\text{C} \sim 24^\circ\text{C}$  范围间, 与实测数据吻合。

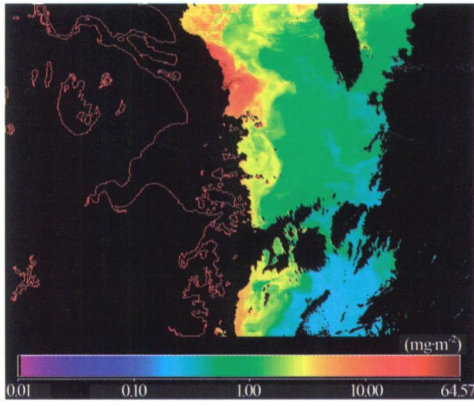


图 10 2004年6月11日 Chl-a 反演结果分布

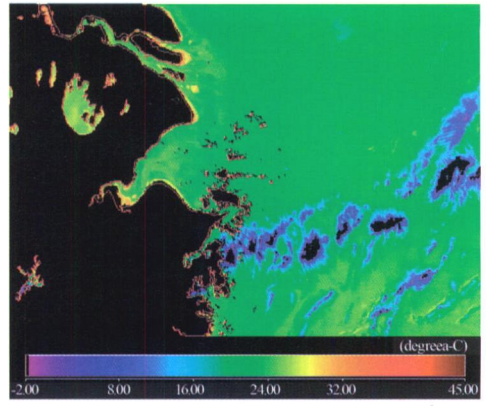


图 11 2004年6月11日 SST 反演结果分布

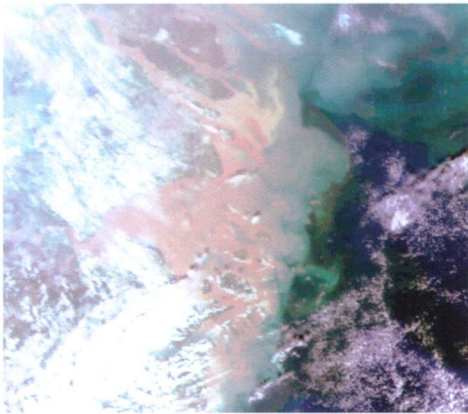


图 12 2007年10月2日 MODIS 真彩反射率影像

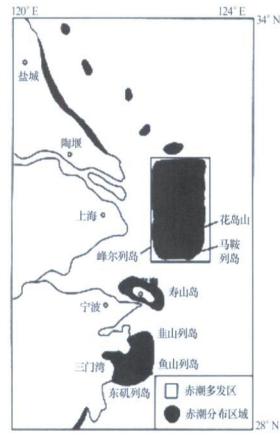


图 13 长江口赤潮多发区示意图

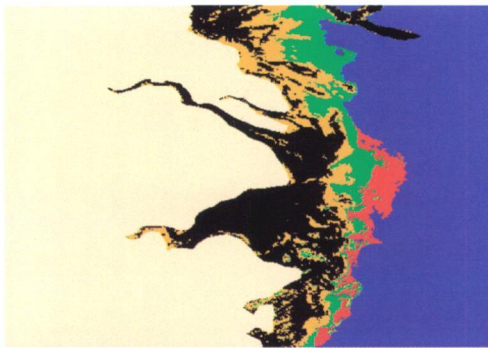


图 14 2007年10月2日模型1水体提取结果

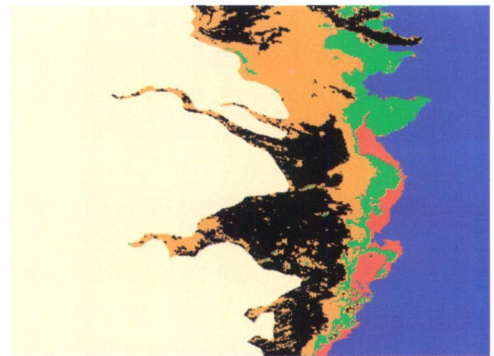


图 15 2007年10月2日模型2水体提取结果

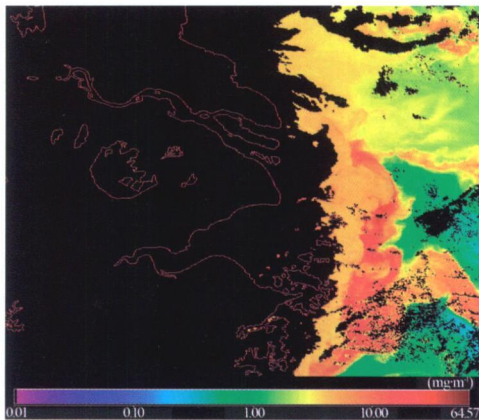


图 16 2007年10月2日 Chl-a 反演结果分布

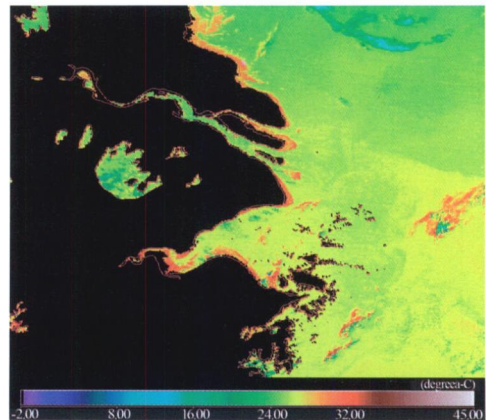


图 17 2007年10月2日 SST 反演结果分布

针对近年来中国东海频发的赤潮现象,为了更好的验证模型,故将两种模型分别推广应用于2007年10月2日东海中肋骨条藻赤潮期 MODIS L1B 反射率影像(图12)。其结果进一步验证了水体类别提取模型的有效性。模型1(图14)对于悬浮泥沙水体的分布范围提取更清晰地反映出二类水体的分布特征。模型2(图15)赤潮水体的提取结果与2007年中国海洋环境质量公报公布的赤潮范围非常吻合,分布范围为浙江韭山列岛-南田岛外海域,与相应的 Chl<sub>a</sub> 和 SST 反演结果(图16,图17)阈值范围基本一致。模型2对赤潮期 MODIS 影像水体提取得到的赤潮水体分布范围与多年来东海赤潮多发区的调查研究范围(图13<sup>[15]</sup>)具有很高的致性。

## 6 结束语

东海水体属于典型的二类水体,海洋环境要素复杂多变,基于光谱特征的 MODIS 影像水体类别提取模型得到的结果不仅能从宏观上有效识别各类水体的分布范围,而且也能反映出不同水体因子从海岸带向远洋深海的变化规律。在此基础上,该研究还有待继续完善。加强实地测量进行更准确的水体光谱特征分析,建立水体类别光谱库。反复试验排除不同水体光谱的干扰,优化提取模型,提高水体类别提取模型的通用性。总之,利用遥感技术进行海洋水体研究对生态环境的维护具有重要的意义。

## 参考文献

- [1] Nitin Kumar, Abhijit Ajit. Spectral characterization of aquatic nutrients and water quality parameters in marine environment[J]. *Geoinformatics*, 2004, 1(15): 25- 31.
- [2] Koponen, S., Pulliainen, J., Kallio, K., Hallikainen, M.. Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 1(79): 51- 59.
- [3] Linda V., Martin Traykovski, Heidi M. Sosik. Feature based classification of optical water types in the north west atlantic based on satellite ocean color data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(C5): 1- 19.
- [4] NIKLAS STRÖMBECK. Water quality and optical properties of swedish lakes and coastal waters in relation to remote sensing[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001: 1- 27.
- [5] 吴文. 长三角遥感水质分类技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [6] 谢欢. 基于遥感的水质监测与时空分布[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [7] 黄伟良, 毛显谋, 张宏祥, 史爱琴. 赤潮卫星遥感监测与实时预报[J]. *海洋预报*, 1998, 15(3): 110- 115.
- [8] 王桥, 杨一鹏, 黄家柱. 环境遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 206~ 207.
- [9] Sabine Thiemann, Hermann Kaufmann. Determination of chlorophyll content and trophic state of lakes using field spectrometer and IRS 1C satellite data in the mecklenburg lake District [J]. *Germany, Remote Sensing of Environment*, 2000, 73(2): 227- 235.
- [10] 吴文瑾. 基于光谱曲线特性和波谱角分类的赤潮监测方法[J]. *遥感信息*, 2009(4): 50- 54.
- [11] 陈晓玲, 赵红梅, 田礼乔. 环境遥感模型与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008: 86- 89.
- [12] 李继龙, 唐援军, 郑嘉淦. 利用 MODIS 遥感数据探测长江口及邻近海域赤潮初步研究[J]. *海洋渔业*, 2007, 1(29): 25- 30.
- [13] 孙沛雯. 大连湾海域赤潮发生的叶绿素 a 临界值[J]. *中国环境科学*, 1989, 9(3): 179- 182.
- [14] 陈炳章, 王宗灵, 朱明远, 等. 温度、盐度对具齿原甲藻生长的影响及其与中肋骨条藻的比较[J]. *海洋科学进展*, 2005, 23(1): 60- 64.
- [15] 齐雨藻. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 173.
- [16] 国家海洋局. 2002~ 2008 年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局.

## 第十三届中国科协年会将于 2011 年 9 月在天津召开

第十三届中国科协年会已定于 9 月 21- 23 日在天津召开, 中国测绘学会经申请并获中国科协批准承办其中的第 12 分会会场。现按中国科协统一要求, 就测绘分会场的征文和报名事宜通知如下:

本次分会场由中国测绘科学研究所和天津市测绘院主办, 邀请院士分会场主题报告。主要议题: 测绘服务灾害与应急管理。研讨专题: (1) 大地测量与 GNSS 导航应急服务; (2) 灾情遥感监测与评估; (3) 应急地理信息服务。学会另行通知并组织参会活动。论文征集事项: ①凡与本次会议主题及研讨专题相关的论文均可向本会投稿, 论文提交的截止时间为 2011 年 6 月 30 日, 并由中国测绘学会统一上报中国科协。②关年会学术交流分会会场《征文要求》也请从中国测绘学会网站 <http://www.csgpc.org> 中下载。③请将论文全文的电子版发送到中国测绘学会邮箱 (zx\_jzy@163.com 抄送 pu@casm.ac.cn)。联系方式: 联系人: 蒲鹏先、苏文英, 电话: 010- 63880811、88586472 地址: 北京市海淀区三虎桥南百胜村 1 号 (邮编: 100048)