

福建围填海及其对海洋环境影响的遥感初探

姚月, 许惠平

同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092

摘要: 把遥感技术应用于海岸带现状的动态研究和遥感海洋环境反演是当前遥感应用的热点之一。文章主要利用美国资源卫星专题扫描仪(thematic mapper, TM)遥感影像研究福建围填海状况及大陆海岸线的变化, 通过 ENVI、ArcGIS 软件对研究区遥感影像进行处理, 实现海岸线的自动提取、土地分类, 以监测福建围填海的动态变化。通过相同季节的中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)遥感影像反演福建海域海水表层温度及叶绿素浓度等海洋参数来了解围填海对海洋环境的可能影响。

关键词: 福建; 围填海; 美国资源卫星专题扫描仪(thematic mapper, TM); 中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS); 海洋环境

中图分类号: P71; TP79 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2012)01-0072-07

Preliminary application of remote sensing: reclamation on Fujian coast and its effects on marine environment

YAO Yue, XU Hui-ping

School of Ocean and Earth Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: It is one of the current hot topics in application of remote sensing to use remote sensing techniques in coastal dynamics research and marine environment retrieval. We retrieved the changes of Fujian reclamation and the mainland coastline from thematic mapper (TM) remote sensing image, which realizes coastline automatic extraction, land classification and marine environmental parameters retrieval using ENVI and ArcGIS softwares to process regional remote sensing images. We also retrieved sea surface temperature (SST) and chlorophyll concentration from moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) ocean color remote sensing images in the same season and area, to discuss the reclamation's potential effects on marine environment.

Key words: Fujian; coastal reclamation; thematic mapper (TM); moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS); marine environment

福建省是中国第三大海洋资源大省, 地处我国东南沿海 23°30'—28°22'N、115°50'—120°40'E。福建海岸线蜿蜒漫长, 其中可利用建港岸线长 467.1km, 并有多处深水港湾, 其良好的自然条件利于人工围填海活动的进行。近年来, 随着临海工业的大规模建设, 福建人多地少的矛盾日益突出, 原有的陆地资源无法满足经济建设的需求, 围填海便

成为福建一个重要的土地利用来源。而围填海在给福建带来巨大经济、社会效益的同时, 也对海湾生态系统造成一系列影响。因此, 对福建围填海情况进行研究, 有着重要意义。

本文的研究目的就是了解福建海域的围填海情况及其对大陆岸线的影响, 以及对福建海域海水表层温度(Sea Surface Temperature, SST)及叶绿素浓度

收稿日期: 2010-06-26; 修订日期: 2010-09-21。孙淑杰编辑

基金项目: 国家深部探测技术专项课题(201011045(Sinoprobe-02-06)); 科技部重点实验室重点项目(MG20080104)

作者简介: 姚月(1988—), 女, 湖南省衡阳市人, 在读硕士研究生, 主要从事海洋监测、城市规划、地质勘探地理信息系统及遥感应用等方面研究。Email: yaoyue1988@qq.com; Tel: 15201280052

的可能影响。

1 数据源及研究方案

研究区即福建沿岸及其全海域。数据源采用的是从中国科学院数据库下载得到的 1994 年与 2006 年同季节所摄福建全省美国资源卫星专题扫描仪 (thematic mapper, TM) 影像以及从美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 网上所下 2006 年与 2009 年同日的中分辨率成像光谱仪 (moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS) 影像。

研究的总体思路为: 1) 将 1994 年与 2006 年的研究区 TM 影像在 ENVI 软件下进行预处理, 然后用 GIS 手段提取大陆岸线, 用监督分类方法提取围填海情况, 具体方案见图 1a; 2) 将 2006 年与 2009 年的研究区 MODIS 影像在 ENVI 软件下进行预处理, 经过反射、辐射定标后用 SeaDAS 模型来反演 SST 及叶绿素浓度, 具体方案见图 1b。3) 将 1)、2) 部分的研究成果进行比较, 讨论围填海对福建海域 SST、叶绿素浓度的影响。

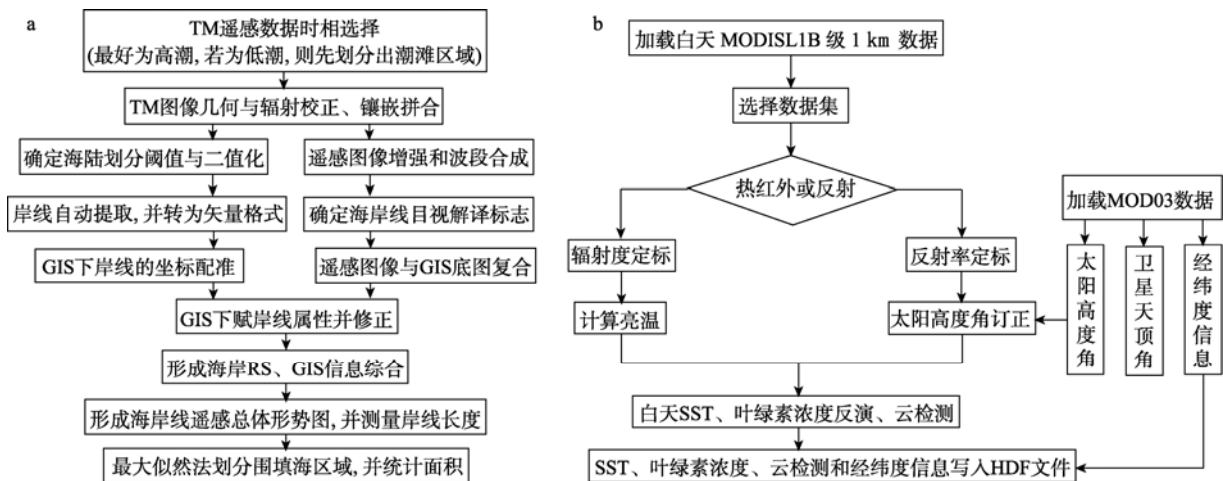


图 1 技术路线流程图

a. 利用 TM 影像提取福建围填海情况技术路线; b. 利用 MODIS 影像反演海峡海洋环境技术路线

Fig. 1 Flow chart of technical routes of Fujian coastline detection using TM image (a) and Fujian marine environmental factor inversion using MODIS image (b)

2 数据预处理

2.1 研究区 TM 影像预处理

2.1.1 TM 影像几何与大气校正

由于 TM 影像在获取、传递过程中存在几何变形, 且存在与传感器运行的大气条件、光谱响应特性、光

照情况等因素相关的辐射误差, 因此先利用 ENVI 软件对研究区的 TM 影像进行几何校正与大气校正。

以 GOOGLE EARTH 上实时坐标为控制点坐标, 采用三次卷积内插法完成图像的几何校正; 用黑暗像元法进行大气校正, 使图像亮度动态范围得到改善、对比度增强, 从而提高图像质量(图 2)。

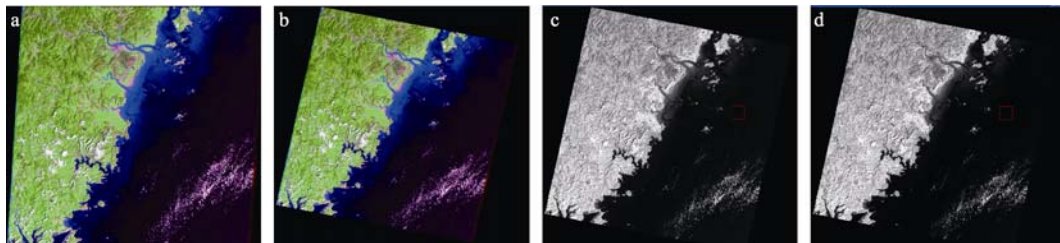


图 2 福建 TM 影像几何与大气校正

a. 几何校正前; b. 几何校正后; c. 大气校正前; d. 大气校正后

Fig. 2 Geometric and atmospheric correction of Fujian TM image. (a) Before geometric correction; (b) after geometric correction; (c) before atmospheric correction; and (d) after atmospheric correction

2.1.2 TM 影像镶嵌与几何配准

将经过几何、大气辐射校正后同一时间不同行

号的遥感图像进行镶嵌拼合, 并利用重叠区的直方图进行色彩平衡, 最终形成福建全省的遥感影像

图。

不同年份的遥感图像在同一位置上的坐标理应是相同的,但受卫星航速、轨道偏移等的影响,同一点不同时间拍摄的遥感图像存在坐标差异,因此需进行配准。以 1994 年影像为参照,先使用 ENVI 软件对 1994 年和 2006 年两时段的影响采取二次多项式拟合方法进行几何配准,再用最近邻内插法重采样生成新影像文件。实际校正误差 RMS 为 0.48,配准精度在 1 个像素以内。这样 2 个时相的影像就具有了相同的地理空间坐标,以便后续大陆岸线对比及围填海信息提取(图 3)。

2.1.3 TM 影像海陆信息二值化

对配准后的影像进行二值化,目的是清晰地

区分陆地和海洋。由 TM 遥感图像各波段特征可知, TM4 为近红外波段,位于水体的强吸收区,既被海水强烈吸收,又对海岸绿色植被强反射,能较好地反映海陆间不同,因此选择 TM4 波段遥感图像通过灰度阈值法的密度分割完成海陆分离。分割之前先对遥感图像采用 3×3 高斯锐化模板锐化,以突出边缘。

对影像进行二值化的步骤是:首先查明海域像元灰度值的变化范围,阈值定为图像灰度直方图统计图鞍部的最低点;按照大于阈值的为陆地、小于阈值的为水体的原则,将图像变为二值图像(图 3)。

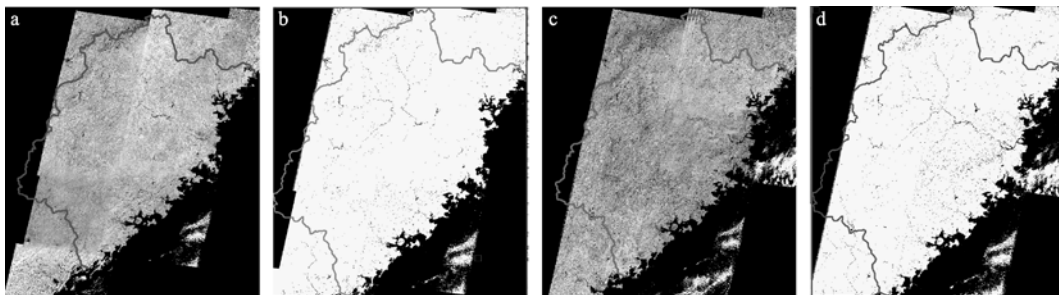


图 3 福建全省 TM 图像镶嵌与二值化

a. 1994 年各航道 TM 影像镶嵌; b. 1994 年二值化结果; c. 2006 年各航道 TM 影像镶嵌; d. 2006 年二值化结果

Fig. 3 Mosaic and binary processing of Fujian TM image. (a) Mosaic of 1994 TM image; (b) binary processing of 1994 image; (c) mosaic of 2006 TM image; and (d) binary processing of 2006 image

2.2 研究区 MODIS 影像预处理

2.2.1 MODIS 影像几何与大气校正

由于卫星轨道偏移、大气散射等因素, MODIS 数据在成像时也同 TM 数据一样存在着几何和辐射误差。此外,由 MODIS 传感器自身的成像特点——其横向扫描角度的变化范围达到 $\pm 55^\circ$,再加上其探测器对地观测的视场几何特征、地球表面曲率、地形起伏和运动中自身抖动等因素的共同影响,导致 MODISL1B 数据存在几何畸变,俗称“Bowtie 效应”(“蝴蝶结”效应)^[1]。因此用 ENVI 软件中的 Georeference MODIS 模块进行几何校正,并去除蝴蝶结效应;大气校正则采用基于直方图的黑暗像元法,每个波段减去该波段反射率的最小值,以去除大气层辐射的影响。

2.2.2 MODIS 影像反射与辐射定标

大多遥感数据出于数据存储方面的考虑,其存储数据的像元灰度(digital number, DN)值往往并不代表传感器所获得的目标物的物理特征值。因此在遥感反演前要进行辐射定标,将遥感数据中的 DN

值转换成地面目标物的物理特征值^[2]。

从 DN 值到反射率和辐射率的换算可以由 DN 缩放算法公式得到。作为缩放公式的一种变形,在实际算法中使用一种较为简明的截距算法公式,这种方法将太阳反射波段定标与地物发射近红外波段定标两个还原系统与刻度数据捆绑交付使用^[3]。在获得辐射率之后,就可用普朗克黑体辐射定律来计算某一波段的亮温。

太阳反射波段定标的反射率及地物发射近红外波段定标的辐射率可通过下式导出:

$$\text{反射(辐射)率} = \text{反射(辐射)比例参数 } A \times [\text{DN} - \text{反射(辐射)补偿参数 } B] \quad (1)$$

式中, DN 是数据存储时的记录值,定标参数中反射(辐射)比例参数 A 及反射(辐射)补偿参数 B 与波段有关。对应观测产品科学数据集的反射(辐射)比例参数 A 及反射(辐射)补偿参数 B 属性的值。

辐射率转换为亮温由普朗克公式计算,计算出的亮温须经过订正,综合后的公式如下^[2]:

$$t = (hc/k) / \ln(2hc^2 / \lambda^5 L - 1) \quad (2)$$

式中 t 为亮温(K), L 为辐射率 $[W \cdot (m^2 \cdot \mu m \cdot sr)^{-1}]$, h 为普朗克常数($J \cdot s$), c 为真空光速($m \cdot s^{-1}$), k 为波尔兹曼常数($J \cdot K^{-1}$), λ 为中心波长(m)。

3 岸线提取与围填海区域划分

3.1 利用 TM 影像提取福建大陆海岸线

应用多时相、多精度的遥感数据监测海岸线的变化已有许多成功的先例。Giancarlo 等^[4]采用模糊技术将图像的灰度和纹理星系结合起来,生成模糊连接图,并通过对连接图的分割来提取海岸线;尧雪娟^[5]根据波谱相似度的思想,利用遥感图像波谱信息及数学形态学在定量描述图像形态特征上的优势,提出了基于波谱特征曲线的遥感图像海岸线提取方法;谢明鸿等^[6]基于种子点增长的思想,从一个选定的初始种子点出发,计算出所有连通的海洋区域点,从而确定海岸线位置;杜丽萍等^[7]提出了基于色差改进的 Canny 自适应算子进行岸线提取,减少传统 Canny 算子检测时所出现的假边缘现象。

本文提取海岸线是将海堤作为海岸线位置。海堤在遥感影像上通常具有明显的特征,一般堤坝都是由砂石、混凝土等构筑,因而堤坝反射率较其周围地物要高,容易识别^[8]。值得注意的是,海岸线的遥感提取中需考虑潮汐影响。高潮位遥感数据能较好地反映海岸线的信息,而低潮位遥感数据反映的是滩涂界线信息。本研究选取高潮位时相的卫星数据进行岸线提取。

二值化分离海陆后,可采用人工矢量的方式,

在 ArcGIS 平台下提取海岸线,虽然岸线提取结果连续、清晰,但很费人力、耗时长;或利用 ENVI 软件中传统的滤波方法(如 Sobel 及 Robert 边缘算子)来提取海岸线边缘,如图 4a 所示,虽然运算速度快,但结果并不理想,多为孤立像素点,并未连接成岸线,且信息丢失严重。由于以上两种方法的岸线提取结果都不尽如人意,本文基于小波变换原理实现边缘识别,在 MATLAB 中编写了程序来实现海岸线的提取,如图 4b 所示。

小波变换边缘提取的主要思路即采用高斯函数的一阶导数作为小波变换的核函数,在对海岸带遥感图像做小波变换后,通过检测小波变换模的极大值点,得到图像的候选边缘点;然后再经过直方图确定区分边界的高、低阈值,高、低阈值区间之外的均为边缘点,高、低阈值之间的区间则判断其八邻域相邻八像元是否高于阈值,高则为边缘点,否则不是;循环滤波得到整幅图像的边缘。

研究表明,用小波变换来提取岸线有其特殊优势,主要表现为运算快、岸线连续、细节突出,能够满足对岸线监测量算的需要。

3.2 利用 TM 影像提取福建围填海区域

利用研究区 TM 影像,通过监督分类方法,区分出福建围填海区域。选择草地、建筑物、浅海、深海、围填海、潮滩 6 类为感兴趣区域,用最大似然法(相似度取 0.9)进行分类。测得各类分离度在 1.8 以上,分类结果较好。最后将分类结果与遥感底图、矢量岸线进行叠合,制作福建 TM 影像信息提取图。



图 4 福建海岸线提取与围填海区域划分

a. Sobel 算子边缘提取结果; b. 小波变换边缘提取结果; c. 分类前; d. 分类后

Fig. 4 Coastline detection and reclamation classification of Fujian area. (a) Sobel-operator edge extraction result; (b) wavelet transformation edge extraction result; (c) before classification; and (d) after classification

4 反演福建海域海洋环境参数

4.1 利用 MODIS 影像反演福建海域 SST

在利用卫星遥感技术反演 SST 方面,国内外学者已做了大量工作。在遥感数据源方面主要采用气象卫星的海岸带彩色扫描仪 (coastal zone color

scanner, CZCS)、中分辨率成像光谱仪 MODIS 等,在技术方法上主要采用基于分裂窗技术的回归统计模型^[9],利用不同远红外波段受水汽影响的差异来估计大气中的水汽含量,具体算法包括线性多通道算法(multi-channel sea surface temperature, MCSST)、非线性多通道算法等。其中 MODIS 的 SST 反演主

要来源于 Miami Pathfinder 算法^[10](MPSST), 它是在 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, 国家海洋及大气管理局)/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer, 高级甚高分辨率辐射仪)的 SST 算法基础上发展而来, 属于一种非线性多通道结构^[11], 在利用双通道组合消除大气影响的同时也极大地降低了扫描角度引起的误差。

将 MODIS 影像进行预处理后, 由于缺乏实测数据, 无法建立统计模型来反演 SST, 本文即采用 NASA 发布的 SeaDAS4.9(海洋数据分析系统)提供的 MPSST 算法来反演福建海域的 SST, 考察其变化趋势, 并不苛求反演精度。SeaDAS4.9 的 MPSST 反演算法中采用一套较为完善的质量控制方法, 并引入了一个 SST 初始估计场, 它是选取多年 SST 气候场进行最优插值得到的。由于观测的是地球表面, MPSST 反演算法中还考虑了加入卫星观测角订正

项来提高反演精度^[2]。SeaDAS4.9 的 MPSST 白天的反演算法表达式如下^[2]:

$$SST=c_1+c_2t_{31}+c_3t_{31-32}t_e+c_4t_{31-32}(\sec^{-1}) \quad (3)$$

式中, SST 为海表面温度; t_{31} 为 MODIS 数据通道 31 的亮温, 由式(2)推导可得; t_{31-32} 为通道 31 和 32 的亮温之差; t_e 是初始估计场温度; θ 为 MODIS 传感器的天顶角; 系数 c_1 、 c_2 、 c_3 和 c_4 为观测经验值, 见表 1。反演结果如图 5a、b。

表 1 MODIS 海水表层温度 MPSST 反演算法模式系数
Tab. 1 Model coefficient of MODIS SST inversion algorithm

模式系数	$t_{31-32} < 0.7$	$t_{31-32} > 0.7$
c_1	1.11071	1.196099
c_2	0.9586865	0.9888366
c_3	0.1741229	0.1300626
c_4	1.876752	1.627125

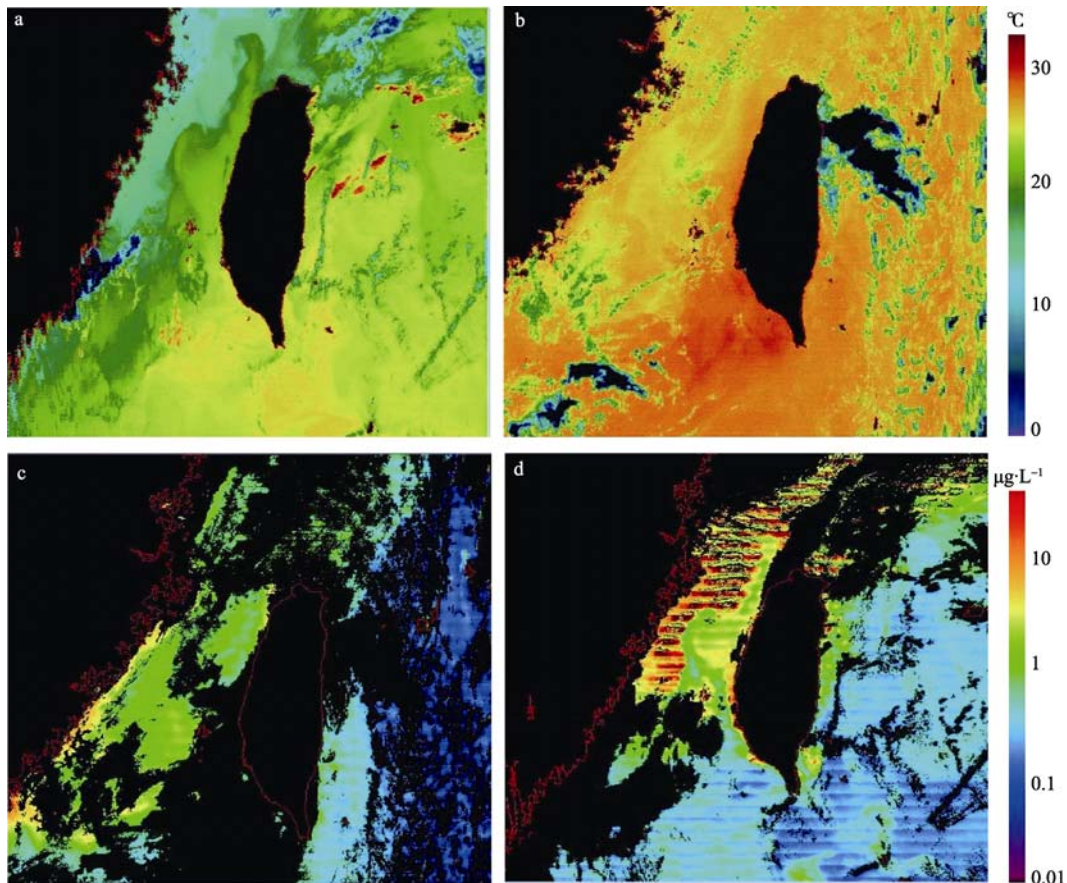


图 5 利用 MODIS 影像反演福建海域 SST 及叶绿素浓度

a. 2006 年 9 月 12 日 SST; b. 2009 年 9 月 12 日 SST; c. 2006 年 9 月 12 日叶绿素浓度; d. 2009 年 9 月 12 日叶绿素浓度

Fig. 5 Inversion of SST and chlorophyll concentration of Fujian sea area using MODIS image. (a) SST of 2006-09-12; (b) SST of 2009-09-12; (c) Chlorophyll concentration of 2006-09-12; and (d) Chlorophyll concentration of 2009-09-12

4.2 利用 MODIS 影像反演福建海域叶绿素浓度 由遥感数据反演海域叶绿素浓度的研究已进行

多年, 目前采用的主要方法有基于蓝-绿波段比值的经验统计法, 即利用叶绿素光谱分界点两侧的波段

构成的比值波段组合来增强叶绿素光谱信号, 从而提高反演精度; Gordon 等^[12]提出半分析方法, 即基于生物光学模型, 通过结合辐射传输模型与经验方程实现水体组分的反演, 其精度较传统经验算法高, 并比分析算法具有较强的可行性和应用性; 黄海清等^[13]用神经网络方法反演叶绿素浓度, 与经验统计算法相比, 神经网络模型最大的优点是可以直接有效地利用各波段辐射所携带的海洋水色信息, 可以在包括二类海水区域等各种环境条件下取得较好的反演结果; 蒋刚等^[14]基于统计学习理论提出了复合函数方法来反演叶绿素浓度, 通过核函数的引入, 有效避免维数灾难, 即把求解的非线性问题从原空间映射到高维特征空间, 转化成线性问题, 并能从理论上保证收敛到全局最优解。

由于缺少实测叶绿素数据, 本文将 MODIS 影像进行预处理后, 利用 SeaDAS 中 OC4 算法来反演福建海域叶绿素 a 浓度, 考察其变化趋势, 亦不苛求反演精度。OC4 是基于经验模式的、4 个波段(443、490、510、555nm)最大波段比(MBR)的三次多项式算法, 其中 MBR 代表遥感反射率比值 $R_{rs}(443)/R_{rs}(555)$ 、 $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ 和 $R_{rs}(510)/R_{rs}(555)$ 中的最大值^[15]。该算法输入离水辐亮度 $L_w(\lambda)$ 之后, 将其转化为遥感反射率 $R_{rs}(\lambda)$, 以 4 个波段的遥感反射率的最大值 R 输入公式(4)中^[15], 从而计算叶绿素 a 浓度, 即 C_a , 单位为 $mg \cdot L^{-1}$ 。反演结果如图 5c、d。

$$C_a = 10^{0.368-3.067R+1.930R^2+0.649R^3-1.532R^4} \quad (4)$$

5 讨论

5.1 福建围填海现状及对岸线的影响

本文利用 TM 影像划分出福建全省围填海区域。据统计, 1994 年福建围填海区域像元数为 76905 个, 折合成面积为 $692.15 km^2$; 2006 年福建围填海区域像元数为 1223467 个, 折合成面积为 $1101.12 km^2$ 。据张春桂^[16]研究, 从 MODIS 卫星监测的结果来看, 1986 年至 2001 年福建省滩涂面积减少了 $107 km^2$; 2001 至 2005 年福建滩涂面积总体上都呈现下降的趋势。而本文利用福建全海域 TM 影像测得 1994 年至 2006 年福建围填海区域面积共增加了 $408.97 km^2$ 。由此可见, 福建省的滩涂面积逐渐减少, 与此同时围填海区域面积逐渐增加, 这两项研究结果是吻合的。

福建省可查证的海岸线长度数据习惯沿用 1990 年的 $3324 km$ ^[17]; 根据 20 世纪 80 年代初开始至中期结束的为期 6 年的福建省海岸带和滩涂资源综合调

查的结果, 福建省岸线总长为 $3351 km$ ^[18]; 而本文利用 TM 影像提取海岸线, 测得 1994 年福建大陆海岸线长 $3304.7 km$, 2006 年福建大陆海岸线长 $3176.2 km$ 。可见, 本文利用 TM 影像提取的 1994 年福建岸线长度与前人研究结果十分接近, 误差在 1% 左右, 证明提取精度较为可靠。

本文提取结果表明, 1994 年至 2006 年期间福建岸线缩短了 $128.5 km$, 平均每年缩短 $10.7 km$, 这从一定程度上表明福建全省大陆岸线总体变化趋势为变短。从中长期看, 海平面上升是引起大范围岸线变化的重要因素。国家测绘局于 1992 年 7 月根据 9 个观测站的资料发布分析结果: 过去 100 年中, 中国东海与南海沿岸海平面分别上升了 $19 cm$ 与 $20 cm$, 中国海平面年上升率为 $2-3 mm$ ^[19]。由于研究期为 1994 年至 2006 年, 为期 12 年, 时间较短, 所以海平面上升导致的海岸线变化不是很明显。因此推测福建大陆岸线变短的主要是由人为因素所致。

近年来, 为了开拓港口、兴修沿海公路而填海造陆; 为了保护河口和海滩, 修筑了大量拦潮闸、护岸堤, 使海岸固化、直线化; 为了扩展生存空间, 在滩涂和河口区进行大规模围海造地等^[20]。沿海围垦开发利用, 使一部分海湾岸线消失, 变为现在海堤; 建立在弯曲的海岸线上的养殖区人为地对海岸线截弯取直, 使海岸线比原来缩短。因此, 随着人类围填海活动加剧, 会在一定程度上促使大陆海岸线变短。

5.2 福建围填海现状及对海洋环境的影响

据张春桂等^[2]研究, 采用 SeaDAS 模型监测基于 MODIS 数据的福建海域中部 SST、叶绿素浓度是较为准确的, 总体精度可达到美国 NOAA 数据中心提供的 SST、叶绿素浓度业务产品的精度。因此本文利用 SeaDAS 软件处理 MODIS 资料反演福建海域整体 SST、叶绿素浓度可以满足研究需要。

通过比较 MODIS 数据反演福建海域 SST 的结果, 可知 2009 年 9 月 12 日福建海域的整体 SST 明显高于 2006 年同日, 这不排除是由全球气候变化所带来的普遍温度升高所致, 但福建在此段时间频繁的围填海活动也可能是引起福建海域 SST 升高的另一方面原因。因为随着人类围填海活动的加剧, 会产生更多的温室气体, 城市热岛效应也随之扩大, 使得沿海区域陆地温度有所升高, 通过空气对流也将一部分热量通过传导等方式带入海域, 会在一定程度上促使福建海域 SST 升高。

而由 MODIS 数据反演福建海域叶绿素浓度的

结果可知, 2009年9月12日福建海域的整体叶绿素浓度也明显高于2006年同日。从围填海的影响上来看, 这很可能是由于福建沿岸的围填海活动(主要是围海造田、围海养殖等)日益频繁、围填海区域面积日益扩大, 使进入福建海域的营养物质随时间逐步增多, 促使海洋生物生产力提高, 从而使叶绿素浓度也随之升高。

诚然, 影响岸线长度、海域叶绿素浓度、SST变化的因素有很多, 潮汐、天气、沿岸环流等都可能造成三者的数值变化, 研究结果只能说是从一定程度上反映了围填海活动对这三者的影响趋势, 并无法确定影响的大小, 也无法排除其他因子的影响。因此, 若要在严格意义上研究围填海对大陆岸线长度、SST、沿海区域叶绿素浓度的影响程度, 需要长时间地对研究区进行遥感监测, 并与实测SST、叶绿素浓度数据对比, 才能得到更为确切的结论。

参考文献

- [1] 刘良明, 文雄飞, 余凡, 等. MODIS 数据 Bowtie 效应快速消除算法研究[J]. 国土资源遥感, 2007, 2(72): 10-15.
- [2] 张春桂, 张星, 曾银东, 等. 台湾海峡海表面温度的遥感反演及精度检验[J]. 海洋学报, 2008, 30(2): 153-160.
- [3] ISAACMAN A. MODIS level 1B products data dictionary [EB/OL]. NASA/Goddard Space Flight Center, (2006-08-15)[2010-03-10]. <http://mcst.gsfc.nasa.gov/uploads/files/M1055.pdf>.
- [4] GIANCARLO B, SILVANA D, RAIMONDO D. Semiautomatic coastline detection in remote sensing images [J]. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2000, 5: 1869-1871.
- [5] 尧雪娟. 基于波谱特征曲线法的遥感图像海岸线提取[J]. 广东广播电视大学学报, 2009, 18(6): 104-107.
- [6] 谢明鸿, 张亚飞, 付琨. 基于种子点增长的 SAR 图像海岸线提取方法[J]. 电脑开发与应用, 2006, 19(6): 2-3.
- [7] 杜丽萍, 柏岩, 王树英. 基于遥感影像的海岸线提取方法研究[J]. 山东林业科技, 2009, 4: 39-41.
- [8] 丁丽霞, 周斌, 张新刚, 等. 浙江大陆淤涨型海岸线的变迁遥感调查[J]. 科技通报, 2006, 22(3): 292-298.
- [9] TANG BOHUI, BI YUYUN, LI ZHAOLIANG, et al. Generalized split-window algorithm for estimate of land surface temperature from Chinese geostationary FengYun meteorological satellite (FY-2C) data [J]. Sensors, 2008, 8: 933-951.
- [10] BROWN O B, MINNETT P J. MODIS infrared sea surface temperature algorithm: Algorithm theoretical basis document (V2.0)[R]. Coral Gables: University of Miami, 1999: 1-98.
- [11] LI X, PICHEL W, MATURI E, et al. Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coefficients for NOAA-15 AVHRR/3[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(4): 699-704.
- [12] GORDON H R, BROWN O B, EVANS R H, et al. A semi-analytic radiance model of ocean color[J]. J Geophys Res, 1988, 93(D9): 10909-10924.
- [13] 黄海清, 何贤强, 王迪峰, 等. 神经网络法反演海水叶绿素浓度的分析[J]. 地球信息科学, 2004, 6(2): 31-37.
- [14] 蒋刚, 肖建, 郑永康, 等. 基于统计学习理论的海色遥感叶绿素浓度反演方法[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 559-563.
- [15] 李伟, 殷为, 郑小慎, 等. 利用 SeaDAS 从 SeaWiFS 卫星数据反演中国东海叶绿素浓度[J]. 海洋湖沼通报, 2009, 4: 152-156.
- [16] 张春桂. MODIS 遥感数据在福建省海岸带滩涂资源监测中的应用研究[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 51-58.
- [17] 林景亮. 福建省海岸带和滩涂资源综合调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 3-4.
- [18] 符卫国. 福建省大比例尺海洋功能区划研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2002: 10-11.
- [19] 宫立新, 金秉福, 李健英. 近 20 年来烟台典型地区海湾海岸线的变化[J]. 海洋科学, 2008, 32(11): 64-68.
- [20] 刘伟, 刘百桥. 我国围填海现状、问题及调控对策[J]. 广州环境科学, 2008, 23(2): 26-30.