

## 基于 EOS/MODIS 数据的青海湖遥感监测\*

殷青军<sup>1,2</sup>, 杨英莲<sup>2</sup>

(1: 青海省气象科学研究所, 西宁 810001)

(2: 青海省遥感中心, 西宁 810001)

**摘要:** 在二十世纪八十年代, NASA 开始设计地球观测系统 (EOS), MODIS 数据是地球观测系统中极具特色的数据, 在 TERRA 和 AQUA 卫星上均搭载有 MODIS 传感器。利用 MODIS 的较高的空间分辨率和光谱分辨率进行地球资源的监测及预测、预报未来变化的研究是近几年热点的研究问题。本文介绍利用 EOS/MODIS 遥感数据进行湖泊水域计算机自动识别及面积计算、湖水面温度反演、湖冰信息自动提取、湖泊封冻和解冻监测原理和方法, 并以青海湖为例介绍了实际应用情况。

**关键词:** 遥感监测; 水体识别; 湖水面积; 水温反演; 湖冰识别

### Remote Sensing Monitoring of Lake Qinghai Based on EOS/MODIS Data

YIN Qingjun<sup>1,2</sup> & YANG Yinglian<sup>2</sup>

(1: *Qinghai Meteorological Institute, Xining 810001, P. R. China*)

(2: *Qinghai Remote Sensing Center, Xining 810001, P. R. China*)

**Abstract:** MODIS data has the characteristic of high spatial and spectral resolution. The study on monitoring and predicting the potential change of earth resources based on EOS/MODIS data have become a heated issue. This paper introduced the principle and method of using EOS/MODIS data to distinguish water body from background, to extract ice from water body, to monitor the dynamic process of freeze-thaw, to calculate the area of water body and ice extent, as well as the water surface temperature. Furthermore, the study took the Lake Qinghai for example, using the MODIS data completed the dynamic monitoring the process of freeze-thaw, and at the same time, compared the real data of water surface temperature at fixed location of Jun. to Jul. 2003 with the result derived from the MODIS data of same period. At present, the model of monitoring inland lake described in this article has already applied to the operational work of Qinghai Remote Sensing Center.

**Key Words:** Remote Sensing Monitoring; Lake Qinghai; area of water surface; water surface temperature; lake ice;

湖泊、冰雪及沼泽地是江河的重要补给源和水源涵养区。随着全球气候变化, 许多湖泊出现水面缩小、湖水咸化、内流化和盐碱化等现象。遥感技术的发展, 为揭示湖泊的变化及其影响创造了条件。我国利用遥感数据对湖泊资源作了大量的研究, 匡定波应用 TM 图像解译太湖水质状况<sup>[1]</sup>, 淮静娟等利用热红外遥感对唐山陡水水库的水质及其生态环境进行试验研究<sup>[2]</sup>, 于雪英等利用 LandSat TM 数据矢量化的方法提取艾比湖面积<sup>[3]</sup>; 郭妮等利用 NOAA/AVHRR 和 EOS/MODIS 的第 6 通道 (500 m 分辨率) 数据研究西部地区的湖泊面积变化<sup>[4]</sup>等。本文不仅介绍利用具有 250 m 分辨率的 MODIS 第 1、2 通道数据对湖泊水域进行计算机自动识别, 定位及计算面积, 还介绍湖泊水面温度的反演和湖泊封冻和解冻动态监测等方法。

### 1 EOS/MODIS 数据

早在二十世纪八十年代, NASA 开始设计地球观测系统 (EOS), MODIS 是 EOS 卫星主要遥感仪器。MODIS 扩展了象改进型甚高分辨率辐射计 (AVHRR)、海岸彩色扫描仪 (CZCS) 的光谱数据范围, MODIS 将光学技术提高了一个新台阶。数据采用直接广播的形式下行, 波段涉及陆地、海洋、大气等综合信息, 0.4–14

\* 中国科技部公益类项目 (2002DIB10052) 资助。2004–05–17 收稿; 2005–06–04 收修稿稿。

殷青军, 男, 1969 年生, 硕士, 高级工程师。E-mail: qhrsc@yahoo.com.cn.

$\mu\text{m}$  有 36 个通道,其中 2 个通道(可见光、近红外)的空间分辨率为 250 m,5 个可见光、远红外通道空间分辨率为 500 m,其余 29 个通道空间分辨率为 1 km. MODIS 扫描宽度 2300 km. MODIS 数据较 AVHRR 数据有较高的空间分辨率和光谱分辨率,较 TM 数据有很高的时间分辨率. MODIS 数据另外一个主要特点是 NASA 对 MODIS 数据实行全球免费接收的政策,这样的数据接收和使用政策对于生态环境恶化的不发达地区来说是非常有利的.

## 2 水体识别的模型

研究表明,水体在可见光、近红外波段(400–2500 nm)的反射率很低,约 1%–4%. 从可见光到近红外波段,随着波长的增大,反射率逐渐降低,在波长大于 2400 nm 以后,反射率降至最低,几乎为零. 而土壤和植被在近红外和中红外波段的电磁波被强烈的反射,所以水体在近红外波段上与土壤和植被有明显的区别,用阈值法就能获得较好的识别效果.

为了提高水体判识的精度,对不同的地区和季节采用不同的阈值,采用不同的阈值法模型.

模型 1:

$$Ch1 - Ch2 > Th1 \ \& \ Ch2 < Th2 \quad (1)$$

满足上式条件的为水体. 其中,  $Ch1, Ch2$  为 MODIS 第 1, 2 通道的反射率,  $Th1, Th2$  分别为第 1, 2 通道反射率的阈值.

模型 2:

$$Chi < Th \quad (2)$$

满足上式条件的为水体. 其中,  $Th$  为阈值;  $Chi$  为 MODIS 数据第 31 通道的亮温.

由于 MODIS 31 通道数据的空间分辨率为 1 km,所以本文的研究均采用模式 1(分辨率为 250 m)进行水体识别.

## 3 湖泊的水面温度反演

McClain 等人采用多通道(MCSST) AVHRR 反演算法对进行监测,使海温反演精度有较大提高,达  $0.7^{\circ}\text{C}$  [5]. 从 80 年代初开始,美国国家环境卫星数据信息服务中心(NESDIS)向社会提供全球范围大尺度的海水表面温度场分布图,目前其采用分裂窗技术求取 SST, MODIS 海水表面温度的计算也可以采用这种算法 [6]. 本文湖泊水面温度的反演主要参考海水表面温度反演算法,在此基础上,对模型系数作一些修改. 其计算公式如下:

$$LST = a + bT31 + c(T31 - T32) + d[(T31 - T32)(\sec(\theta) - 1)] + e \quad (3)$$

式中,  $LST$  为水表温度,单位 K;  $a, b, c, d, e$  为模型系数;  $T31$  为对应 MODIS 第 31 通道亮温(K);  $T32$  为对应 MODIS 第 32 通道亮温(K);  $\theta$  为卫星天顶角.

## 4 湖泊的封冻和解冻

湖冰的形成、厚度和破裂是区域气候变化的关键指标,尤其对资料缺乏的地区,可作为气候变化的表征. 另外,高原湖泊冬季结冰与否,除了气候因素以外,与湖水矿化度有重要关系. 所以湖泊的封冻期、解冻期的监测对湖泊旅游、湖水矿化度调查以及该地区气候变化的研究等很有意义.

### 4.1 湖泊封冻、解冻的监测

为了确定湖冰是否出现,每年从 12 月份开始, EOS/MODIS 资料进行监测. 主要有目视判别、计算机自动识别两种方法.

4.1.1 目视判别监测 湖泊尚未封冻时,水体颜色随着水由浅到深,颜色从兰逐渐到黑. 而且纹理均匀,水陆边界明显. 封冻时冰面呈深紫色且冰面纹理特征明显,在解冻时可以看到沿着湖边,出现成片的黑色的水体出现,水体和陆地的边界明显,而和冰的边界模糊. 这样,我们很容易从色调、纹理、形状将水、冰区以及陆地分开.

4.1.2 湖泊封冻计算机自动识别 利用湖冰在可见光和近红外波段反射率的特性和开阔的水面之间有明

显的差别来鉴别湖冰. 湖冰提取模型:

$$Ch1 - Ch2 > Th \quad (4)$$

其中,  $Th$  为阈值;  $Ch1, Ch2$  为 MODIS 数据第 1 通道和第 2 通道的反射率.

对于较薄的海冰(厚度小于 10 cm, 没有雪覆盖)和湖水表面有悬浮颗粒物, 此方法不能很好的鉴别, 在这种情况下, 可以利用冰表面和湖水表面的温度差异进行识别. 冰表面的温度可以参考湖水表面温度反演公式, 只是参数有所不同<sup>[6]</sup>.

## 5 湖泊遥感监测的应用——以青海湖为例

青海湖是我国最大的内陆湖泊, 湖体及湖周丰茂的草地植被不仅控制和调节着湖区流域的生态环境, 而且还是一个控制西部荒漠化向东蔓延的天然屏障<sup>[7-9]</sup>. 监测资料是青海省遥感中心接收的 EOS/MODIS 数据.

### 5.1 湖水水体识别

选取 2003 年 6 月 27 日的晴空资料, 采用 1、2、1 合成图, 空间分辨率为 250 m. 用阈值法模型(公式 1)提取水体, 阈值  $Th1$  和  $Th2$  分别为 0, 100, 测得湖面总面积 4257.00 km<sup>2</sup>, 共有 7 个相对独立的湖体, 最大湖体面积为 4099.37 km<sup>2</sup>, 湖岸线长度为 513.50 km, 最小湖体面积为 0.31 km<sup>2</sup>, 湖岸线长度为 3.00 km.

### 5.2 湖水水面温度的反演

表 1 湖水水面温度反演参数

Tab. 1 Coefficient of computing water surface temperature

系数	数值
$a$	1.196099
$b$	0.9888366
$c$	0.1300626
$d$	1.627125
$e$	-269.35

选取 2003 年 7 月 27 日的晴空资料, 首先, 利用阈值法提取水体, 区分出青海湖水体和其他地物. 再采用公式(3)计算青海湖每个象素点的水面温度(图 1). 具体参数见表 1, 其中  $a, b, c, d$ , 系数值参考 NASA 网站公布的 MODIS 海水表面温度(SST)反演公式参数, 系数  $e$  为纠正系数, 太阳天顶角的参数可从 MODIS 数据获得. 为验证模型的反演精度, 收集了 2003 年 6 月至 7 月的青海湖水温的实测数据, 测量地点 100°30'12"E, 36°41'40"N, 选择完全晴空资料进行反演对比结果见表 2.

表 2 湖水水面温度反演与实测资料的对比(单位: °C)

Tab. 2 The comparison between computing water surface temperature and observed measurements (Unit: °C)

	6月19日	7月6日	7月23日	7月24日	7月25日	7月27日	7月28日
实测值	11.77	13.81	15.32	15.54	15.79	15.40	15.22
反演值	11.62	14.13	15.27	15.04	16.09	15.35	14.63
误差	0.15	-0.32	0.59	0.5	-0.3	0.05	0.59

### 5.3 湖水封冻、解冻的监测

2002 年 12 月初到 2003 年 4 月中旬的 EOS/MODIS 资料, 从图 2 可以看到, 青海湖从 2002 年 12 月 20 日从海晏湾开始封冻, 25 日青海湖主体已经结冰, 冰面先从东北部出现, 随后是湖的边缘部分, 逐渐向湖中心过渡, 1 月 4 日除北部和西部一小部分外青海湖基本上完全封冻, 2003 年 3 月下旬, 从湖的西面开始缓慢解冻, 海晏湾里的三个小湖已完全解冻, 青海湖主体部分冰面破裂、冰水交融, 4 月 3 日青海湖完全解冻.

利用湖冰的判别模型(公式 4), 判别阈值为 17, 提取了青海湖 2003 年 1 月 4 日湖面大部分封冻后冰的信息(图 3).

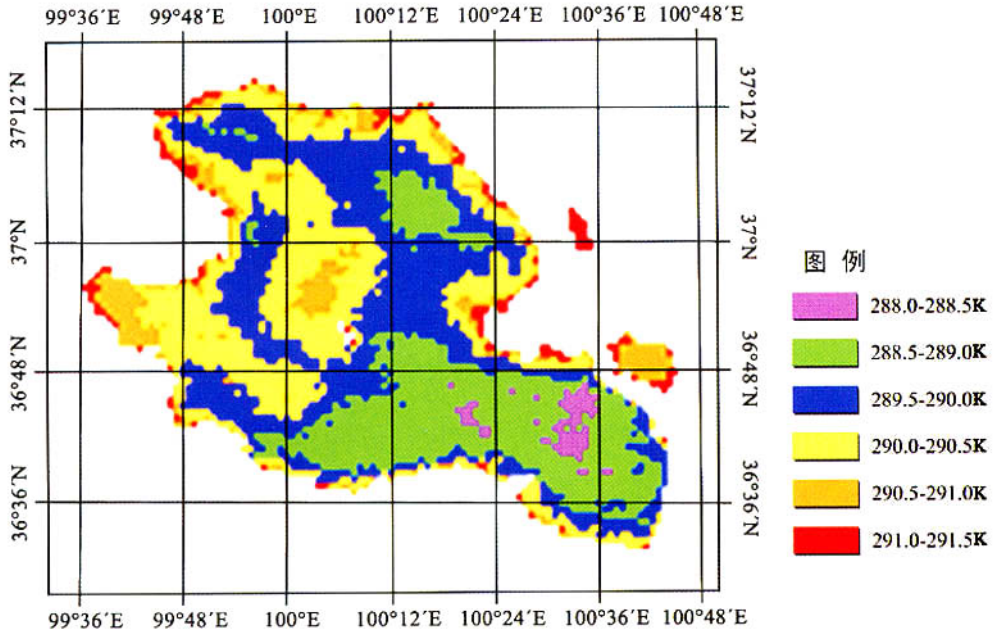


图1 2003年7月27日青海湖水面温度反演

Fig. 1 Water surface temperature computed on 27<sup>th</sup>, Jun. 2003, Lake Qinghai

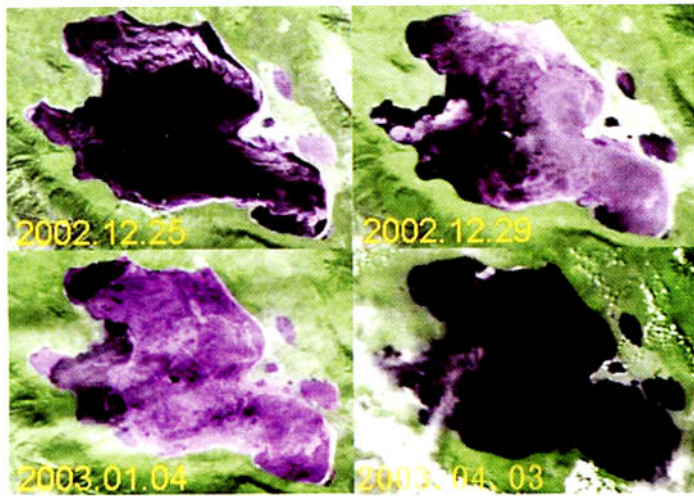


图2 青海湖封冻解冻过程

Fig. 2 Procedure of ice-up and ice-out, Lake Qinghai

### 6 结语

利用本文方法建立的 MODIS 数据湖泊监测模型,已经在青海省遥感中心的业务服务中使用. 水体识别的阈值较为固定. 厚冰和湖水的判识精度较高,但要提高薄冰和湖水的判识精度,需要增加温度等其他的辅助条件. 地域的差异、水体所含矿物质不同,湖泊温度的反演参数是不相同的. 目前,MODIS 数据可以从 EOS 的 TERRA、AQUA 两颗卫星中获得,有很高的时间分辨率,是宏观、大尺度环境变化监测很好的遥感数据.

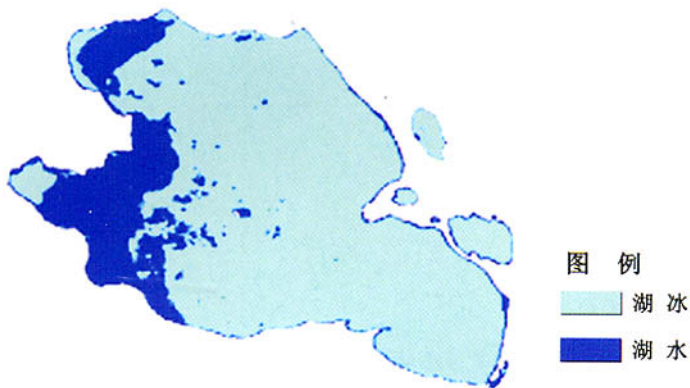


图3 2003年1月4日青海湖水、冰识别图

Fig. 3 Image of ice detection in Lake Qinghai on 4<sup>th</sup>, Jan. 2003

## 7 参考文献

- [1] 匡定波. 卫星遥感解译太湖水质研究. 863-308 通讯, 1998, (2): 4.
- [2] 濮静娟, 关燕宁, 董卫东. 热红外遥感用于陡河水库生态环境研究. 遥感学报, 1997, 11(4): 290-297.
- [3] 于雪英, 江南等. 基于RS、GIS技术的湖面变化信息提取与分析——以艾比湖为例. 湖泊科学, 2003, 15(1): 81-84.
- [4] 郭妮, 张杰, 梁芸. 西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题. 冰川冻土, 2003, 25(2): 211-214.
- [5] 张春桂. 福建省近海区域海面表层温度的卫星遥感应用研究. 国土资源遥感, 1999, 39(1): 25-28.
- [6] 刘玉洁, 杨忠东等主编. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京: 科学出版社, 2001: 180-198.
- [7] 周立华, 陈桂琛, 彭敏. 人类活动对青海湖水位下降的影响. 湖泊科学, 1992, 4(3): 32-36.
- [8] 陈桂琛, 彭敏, 周立华等. 青海湖地区人类活动对生态环境影响及其保护对策. 干旱区地理, 1998, 18(3): 57-62.
- [9] 沈方, 匡定波. 青海湖最近25年变化的遥感调查与研究. 湖泊科学, 2003, 15(4): 289-296.

# 基于EOS/MODIS数据的青海湖遥感监测

作者: [殷青军](#), [杨英莲](#), [YIN Qingjun](#), [YANG Yinglian](#)  
 作者单位: [殷青军, YIN Qingjun\(青海省气象科学研究所, 西宁, 810001; 青海省遥感中心, 西宁, 810001\)](#), [杨英莲, YANG Yinglian\(青海省遥感中心, 西宁, 810001\)](#)  
 刊名: [湖泊科学](#) **ISTIC PKU**  
 英文刊名: [JOURNAL OF LAKE SCIENCES](#)  
 年, 卷(期): 2005, 17(4)  
 被引用次数: 14次

## 参考文献(9条)

1. [匡定波](#) [卫星遥感解译太湖水质研究](#) 1998(02)
2. [濮静娟](#); [关燕宁](#); [董卫东](#) [红外遥感用于陡河水库生态环境研究](#)[期刊论文]-[遥感学报](#) 1997(04)
3. [于雪英](#); [江南](#) [基于RS、GIS技术的湖面变化信息提取与分析—以艾比湖为例](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2003(01)
4. [郭妮](#); [张杰](#); [梁芸](#) [西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题](#)[期刊论文]-[冰川冻土](#) 2003(02)
5. [张春桂](#) [福建省近海区域海面表层温度的卫星遥感应用研究](#)[期刊论文]-[国土资源遥感](#) 1999(01)
6. [刘玉洁](#); [杨忠东](#) [MODIS遥感信息处理原理与算法](#) 2001
7. [周立华](#); [陈桂琛](#); [彭敏](#) [人类活动对青海湖水位下降的影响](#) 1992(03)
8. [陈桂琛](#); [彭敏](#); [周立华](#) [青海湖地区人类活动对生态环境影响及其保护对策](#)[期刊论文]-[干旱区地理](#) 1998(03)
9. [沈方](#); [匡定波](#) [青海湖最近25年变化的遥感调查与研究](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2003(04)

## 本文读者也读过(10条)

1. [徐萌](#). [焦圣明](#). [吴炳娟](#). [陈宁](#). [张旭晖](#) [2006年春夏旱涝前后苏北大中型湖泊水域EOS/MODIS遥感监测](#)[期刊论文]-[中国高校科技与产业化\(学术版\)](#) 2006(z1)
2. [许小华](#). [张维奇](#). [胡强](#). [XU Xiao-hua](#). [ZHANG Wei-qi](#). [HU Qiang](#) [基于MODIS的鄱阳湖湖面面积遥感监测研究](#)[期刊论文]-[江西水利科技](#) 2008, 34(4)
3. [龟山哲](#). [张继群](#). [王勤学](#). [徐开钦](#). [加藤贵雄](#). [渡边正孝](#) [应用Terra/MODIS卫星数据估算洞庭湖蓄水量的变化](#)[期刊论文]-[地理学报](#) 2004, 59(1)
4. [丁莉东](#). [吴昊](#). [王长健](#). [覃志豪](#). [章其祥](#). [DING Li-dong](#). [WU Hao](#). [WANG Chang-jian](#). [QIN Zhi-hao](#). [ZHANG Qi-xiang](#) [MODIS图像湖泊水体信息的快速识别与制图](#)[期刊论文]-[海洋测绘](#) 2006, 26(6)
5. [吴赛](#). [张秋文](#). [Wu Sai](#). [Zhang Qiuwen](#) [基于MODIS遥感数据的水体提取方法及模型研究](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#) 2005, 33(7)
6. [徐萌](#). [李亚春](#). [曾燕](#). [解令运](#). [宋娟](#). [高苹](#). [Xu Meng](#). [Li Yachun](#). [Zeng Yan](#). [Xie Lingyun](#). [Song Juan](#). [Gao Ping](#) [苏北大中型湖泊水域的EOS/MODIS遥感监测](#)[期刊论文]-[气象科技](#) 2007, 35(4)
7. [李景刚](#). [李纪人](#). [黄诗峰](#) [基于Terra/MODIS时间序列数据的洞庭湖地区水域面积动态监测研究](#)[会议论文]-2008
8. [郑海金](#) [基于MODIS数据的鄱阳湖水域面积监测](#)[会议论文]-2008
9. [彭定志](#). [徐高洪](#). [胡彩虹](#). [张洪刚](#). [张红](#) [基于MODIS的洞庭湖面积变化对洪水位的影响](#)[期刊论文]-[人民长江](#) 2004, 35(4)
10. [李辉](#). [李长安](#). [张利华](#). [田礼侨](#). [Li Hui](#). [Li Changan](#). [Zhang Lihua](#). [Tian Liqiao](#) [基于MODIS影像的鄱阳湖湖面积与水位关系研究](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2008, 28(2)

## 引证文献(14条)

1. [廖程浩](#). [刘雪华](#) [MODIS数据水体识别指数的识别效果比较分析](#)[期刊论文]-[国土资源遥感](#) 2008(4)
2. [颜润润](#). [逢勇](#) [基于EOS/MODIS资料的太湖藻类动态模拟](#)[期刊论文]-[环境科学与技术](#) 2007(7)

3. [丁莉东](#), [余文华](#), [覃志豪](#), [吴昊](#) [基于MODIS的鄱阳湖区水体水灾遥感影像图制作](#)[期刊论文]-[国土资源遥感](#) 2007(1)
4. [张利娟](#), [郭家钢](#) [遥感在监测水体变化与钉螺孳生环境的应用](#)[期刊论文]-[国际医学寄生虫病杂志](#) 2007(5)
5. [梁益同](#) [基于HJ-1A/1B-CCD数据的洪灾定量评估研究](#)[期刊论文]-[人民长江](#) 2013(19)
6. [梁益同](#), [刘可群](#), [周守华](#), [夏智宏](#), [黄靖](#) [EOS-MODIS数据监测暴雨洪涝灾害的技术方法](#)[期刊论文]-[暴雨灾害](#) 2008(1)
7. [傅敏宁](#), [郑有飞](#), [樊建勇](#), [俞炳](#) [鄱阳湖地区生态环境与气象灾害监测系统](#)[期刊论文]-[自然灾害学报](#) 2008(1)
8. [王培](#), [蒋玲梅](#), [张立新](#) [利用地面观测实验评价湖冰对被动微波反演积雪算法的影响](#)[期刊论文]-[遥感信息](#) 2011(5)
9. [曲斌](#), [康世昌](#), [陈锋](#), [张拥军](#), [张国帅](#) [2006-2011年西藏纳木错湖冰状况及其影响因素分析](#)[期刊论文]-[气候变化研究进展](#) 2012(5)
10. [游浩妍](#), [骆成凤](#), [刘正军](#), [于秀娟](#) [基于MODIS植被指数估算青海湖流域植被覆盖度研究](#)[期刊论文]-[遥感信息](#) 2012(5)
11. [郭鹏](#), [邹春辉](#), [赵学斌](#) [MODIS影像水体监测方法研究进展](#)[期刊论文]-[气象科技](#) 2012(6)
12. [魏秋方](#), [叶庆华](#) [湖冰遥感监测方法综述](#)[期刊论文]-[地理科学进展](#) 2010(7)
13. [刘瑞霞](#), [刘玉洁](#) [近20年青海湖湖水面积变化遥感](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2008(1)
14. [赵彩霞](#), [施昆](#), [宁平](#) [EOS-MODIS在环境科学中的应用与研究进展](#)[期刊论文]-[环境科学导刊](#) 2008(2)

引用本文格式：[殷青军](#), [杨英莲](#), [YIN Qingjun](#), [YANG Yinglian](#) [基于EOS/MODIS数据的青海湖遥感监测](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2005(4)