

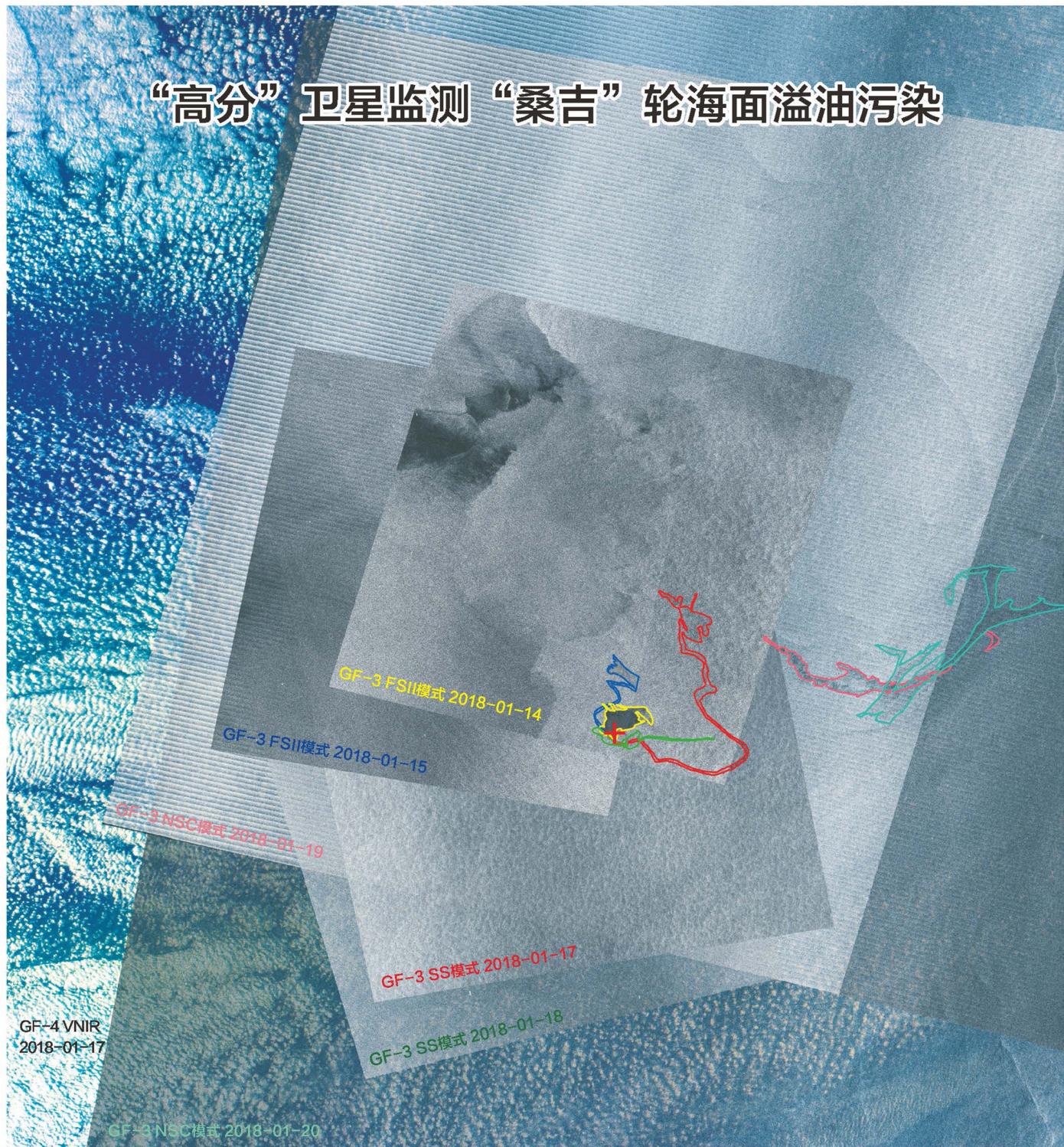
主办
中国地理学会环境遥感分会
中国科学院遥感与数字地球研究所
出版
科学出版社

JOURNAL OF REMOTE SENSING

遥 感 学 报

2018年 Vol.22 第22卷 No.2 第2期 ISSN 1007-4619 CN11-3841 / TP CODEN YXAUAB

“高分”卫星监测“桑吉”轮海面溢油污染





遥感学报

Yaogan Xuebao

第 22 卷 第 2 期 2018 年 3 月

目 次

国产卫星

- 双星敏感器在轨相对热变形分析及修正 钟金凤, 郭思岩, 吴敬玉, 裴甲瑞, 贾艳胜 (197)
光源发散角对 DPC 偏振定标的影响分析及验证
..... 康晴, 袁银麟, 李健军, 翟文超, 吴浩宇, 洪津, 郑小兵 (203)
月球目标监测风云二号静止气象卫星可见光辐射响应变化 陈林, 张鹏, 吴荣华, 胡秀清, 张璐 (211)
高分四号静止卫星数据的地表反照率反演 孙越君, 汪子豪, 秦其明, 韩谷怀, 任华忠, 黄敬峰 (220)

综述

- 陆地总初级生产力遥感估算精度分析 林尚荣, 李静, 柳钦火 (234)

技术方法

- 风能方向性参量遥感反演 朱晓辉, 杨晓峰, 杜延磊, 井成, 刘桂红, 李紫薇 (253)
空间与谱间相关性分析的 NMF 高光谱解混 袁博 (265)
特征级高分辨率遥感图像快速自动配准 何梦梦, 郭擎, 李安, 陈俊, 陈勃, 冯旭祥 (277)
高光谱影像的引导滤波多尺度特征提取 王雷光, 曹小汪, 郑雅兰, 代沁伶 (293)

遥感应用

- 火星 Eberswalde 撞击坑三角洲矿物丰度反演 张霞, 吴兴, 林红磊, 王楠 (304)
火星 Evros Vallis 与塔里木盆地开都河流域河网形态和水文特征比较 苟盛, 岳宗玉, 邱凯昌, 徐懿 (313)
太湖水生植被 NDVI 的时空变化特征分析 张圳, 张弥, 肖薇, 王伟, 肖启涛, 王咏薇, 李旭辉 (324)
多源卫星遥感的华北平原大气 NO₂ 浓度时空变化 章吴婷, 张秀英, 刘磊, 赵丽敏, 卢学鹤 (335)
西咸一体化过程与城市扩展研究 徐焕, 付碧宏, 郭强, 时丕龙, 薛国梁 (347)
水体指数构建及其在复杂环境下有效性研究 王小标, 谢顺平, 都金康 (360)

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol. 22 No.2 March, 2018)

CONTENTS

Chinese-Built Satellite

- Correction of the relative thermal deformation of dual star sensors for remote-sensing satellites
..... ZHONG Jinfeng, GUO Siyan, WU Jingyu, PEI Jiarui, JIA Yansheng (202)
Effect of divergence angle of polarization calibration source on DPC polarization calibration: Analysis and validation
..... KANG Qing, YUAN Yinlin, LI Jianjun, ZHAI Wenchao, WU Haoyu, HONG jin, ZHENG Xiaobing (210)
Monitoring radiometric response change of visible band for FY-2 geostationary meteorological satellite by lunar target
..... CHEN Lin, ZHANG Peng, WU Ronghua, HU Xiuqing, ZHANG Lu (219)
Retrieval of surface albedo based on GF-4 geostationary satellite image data
..... SUN Yuejun, WANG Zihao, QIN Qiming, HAN Guhuai, REN Huazhong, HUANG Jingfeng (232)

Review

- Overview on estimation accuracy of gross primary productivity with remote sensing methods
..... LIN Shangrong, LI Jing, LIU Qinhuo (252)

Technology and Methodology

- Estimation of directional distribution of wind energy from satellite observations
..... ZHU Xiaohui, YANG Xiaofeng, DU Yanlei, JING Cheng, LIU Guihong, LI Ziwei (264)
NMF hyperspectral unmixing algorithm combined with spatial and spectral correlation analysis
..... YUAN Bo (276)
Automatic fast feature-level image registration for high-resolution remote sensing images
..... HE Mengmeng, GUO Qing, LI An, CHEN Jun, CHEN Bo, FENG Xuxiang (292)
Multi-scale feature extraction of hyperspectral image with guided filtering
..... WANG Leiguang, CAO Xiaowang, ZHENG Yalan, DAI Qinling (302)

Remote Sensing Applications

- Retrieval of mineral abundances of delta region in Eberswalde, Mars
..... ZHANG Xia, WU Xing, LIN Honglei, WANG Nan (312)
Quantitative comparison of morphometric and hydrological characteristics of valley networks between Evros Vallis on
Mars and Kaidu River in Tarim Basin as terrestrial analog GOU Sheng, YUE Zongyu, DI Kaichang, XU Yi (323)
Analysis of temporal and spatial variations in NDVI of aquatic vegetation in Lake Taihu
..... ZHANG Zhen, ZHANG Mi, XIAO Wei, WANG Wei, XIAO Qitao, WANG Yongwei, Xuhui Lee (334)
Spatial variations in NO₂ trend in North China Plain based on multi-source satellite remote sensing
..... ZHANG Wuting, ZHANG Xiuying, LIU Lei, ZHAO Limin, LU Xuehe (346)
Temporal-spatial growth pattern and driving forces of urban expansion in Xi'an over past 30 years
..... XU Huan, FU Bihong, GUO Qiang, SHI Pilong, XUE Guoliang (359)
Water index formulation and its effectiveness research on the complicated surface water surroundings
..... WANG Xiaobiao, XIE Shunping, DU Jinkang (372)

太湖水生植被NDVI的时空变化特征分析

张圳^{1,2}, 张弥^{1,2}, 肖薇^{1,2}, 王伟^{1,2}, 肖启涛^{1,2}, 王咏薇¹, 李旭辉¹

1. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心 耶鲁大学—南京信息工程大学大气环境中心, 南京 210044;

2. 南京信息工程大学 应用气象学院, 南京 210044

摘要: 为了明确太湖不同生态区水生植被长势的变化规律及其影响因子, 利用MODIS传感器提供的NDVI数据, 分析了太湖2000年—2015年NDVI的时间及空间变化特征。结果表明: 太湖水生植被NDVI存在明显的季节变化和年际变化, NDVI每年最小值出现在冬季, 最大值出现在植被生长旺盛的8月或9月, 其值可达0.35; 太湖全湖NDVI多年平均值为0.1, 最大值为0.14, 出现在2007年。太湖NDVI的空间差异可将太湖划分为不同的植被类型区, 太湖西北部(竺山湾和梅梁湾)NDVI最大值可达0.2, 植被类型主要以浮游藻类为主, 东太湖区域最大值超过0.6, 主要以沉水植被为主; 太湖不同区域植被动态特征对气象因子的响应也不尽相同, 沉水植物生长与平均气温有显著的正相关关系, 而浮游植物区的生长状况受平均风速影响较大。

关键词: 太湖, NDVI, 时空变化, 气象因子

中图分类号: X87, X524 **文献标志码:** A

引用格式: 张圳, 张弥, 肖薇, 王伟, 肖启涛, 王咏薇, 李旭辉. 2018. 太湖水生植被NDVI的时空变化特征分析. 遥感学报, 22(2): 324–334

Zhang Z, Zhang M, Xiao W, Wang W, Xiao Q T, Wang Y W and Xuhui Lee. 2018. Analysis of temporal and spatial variations in NDVI of aquatic vegetation in Lake Taihu. Journal of Remote Sensing, 22(2): 324–334
[DOI:[10.11834/jrs.20186495](https://doi.org/10.11834/jrs.20186495)]

1 引言

湖泊因其巨大的储热能力和低反照率对区域天气和气候有十分显著的影响(Bonan, 1995; Deng 等, 2013; Hostettler 等, 1994; Martynov 等, 2010)。不仅如此, 湖泊还是保证人类生存和地区经济可持续发展的重要基础(秦伯强 等, 2004)。中国拥有面积超过1 km²的自然湖泊约2700个, 占国土面积的约1%(Ma 等, 2011)。中国的湖泊, 尤其是浅水湖泊面临着众多环境问题, 而富营养化是主要的问题之一。湖泊富营养化的直接结果就是蓝藻水华事件的频繁发生(秦伯强 等, 2016)。藻类植被的大爆发可能会加速湖泊中沉水植物的消亡, 从而改变生态系统的结构与功能(秦伯强 等, 2013)。为了应对这一问题, 对湖泊水生植被生长状况进行实时监测是了解湖泊植被

生长演变动态的关键。

湖泊中水生植物的分布, 尤其是大型浅水湖泊水生植物分布的空间和时间变化往往很难利用实地调查的方法获取。然而, 卫星遥感方法因其时间和空间尺度的完整性(Justice 等, 2002; 姜晟 等, 2009)被广泛应用于植被生长动态的监测。连续的MODIS数据产品(Justice 等, 2002)不但在陆地生态系统植被生长动态监测及植被类型调查中得到使用(Jin 和 Sader, 2005; Lunetta 等, 2006; Wardlow 等, 2007), 而且已经成为湖泊遥感的重要数据来源(马荣华 等, 2009), 用于湖泊大范围水生植被的监测(Bergamino 等, 2010; Hu 等, 2010; Shi 等, 2015; Wang 等, 2011; 姜晟 等, 2009; 徐京萍 等, 2008)。在湖泊生态系统中, 采用MODIS多波段数据不仅能反演长时间序列的总

收稿日期: 2017-02-17; 预印本: 2017-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41575147, 41475141和41505005)

第一作者简介: 张圳(1992—), 男, 博士研究生, 研究方向为湖泊遥感和模型。E-mail: 15195819198@163.com

通信作者简介: 张弥(1980—), 女, 讲师, 研究方向为地气温室气体交换。E-mail: zhangm.80@nuist.edu.cn

悬浮颗粒物含量(Shi 等, 2015), 还可以用于估算非洲第2大湖的叶绿素a浓度和散射衰减系数, 并估算该湖泊水生植物的时空变化动态和初级生产力(Bergamino 等, 2010)。在中国, MODIS归一化差分植被指数产品(NDVI)不但可以监测太湖蓝藻水华的爆发(Hu 等, 2010)、爆发的位置及其程度(李国砚 等, 2008), 还可以结合太湖蓝藻爆发实例, 研究藻类生长与水温的关系(姜晟 等, 2009); 并利用MODIS数据在内的卫星遥感数据对太湖蓝藻水华的时空分布规律进行反演(马荣华 等, 2008), 并实施监测(孔繁翔 等, 2009; 周立国 等, 2008)。这些研究表明将MODIS传感器得到的数据应用在湖泊水环境和植被生长监测中是可行的。但是, 之前研究中, 很少进行长时间序列的分析, 因此无法得到湖泊植被长时间的生长状况的变化、演变过程及其空间分布的改变。而且, 很少将湖泊植被生长状况和气象要素进行协同分析。

太湖是中国的第3大淡水湖泊, 属于大型浅水湖泊, 周边聚集苏州、无锡、常州、湖州等重要城市以及宜兴、长兴等众多经济发展迅速的下属县市。该区域众多的人口众多、高城市化水平及发达的工业发达造成太湖的污染加剧, 导致蓝藻爆发严重(毛志刚 等, 2014; 秦延文 等, 2012; 吴雅丽 等, 2014; 袁和忠 等, 2011)。藻类的频繁爆发使得太湖正逐渐从草型湖泊退化为藻型湖泊(秦伯强, 2002; 秦伯强 等, 2013)。所以, 对太湖的水生植物生长状况进行监测已成为当地政府进行环境治理的主要任务之一。本文利用2000年—2015年间MODIS传感器的NDVI产品数据, 分析太湖NDVI的时间和空间变化特征, 并分析气象要素与NDVI的关系, 明确气象因子对湖泊植被生长的影响, 从而为太湖植被的动态监控和管理提供一定的理论依据和技术支持。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

太湖是中国的大型浅水湖泊(秦伯强, 2009), 面积超过 2300 km^2 , 平均水深1.9 m(Qin 等, 2007), 气候类型属于北亚热带季风气候。图1展示了太湖各主要湾口名称及其周边主要城市的地理位置

(图1中Landsat 8遥感图像从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn> [2017-02-17])下载, 并利用ENVI软件分析)。

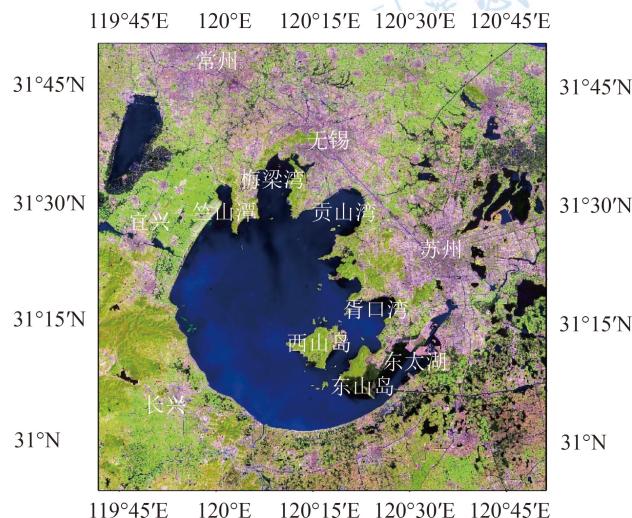


图1 2013-04-14 Landsat 8影像654波段合成的太湖及周边城市影像图

Fig. 1 Lake Taihu and the cities surrounding the Lake Taihu using Landsat 8 image which color compositing is 654 red-blue-green (RGB) on April 14, 2013

2.2 MODIS产品简介及数据处理

本研究利用Terra星上的中分辨率成像光谱仪(MODIS)所合成的归一化差分植被指数数据(MOD13Q1)描述太湖水生植被多年的生长状况。该产品数据的空间分辨率为250 m, 时间分辨率为16天, 获取原始数据后用ENVI 4.7软件对其进行投影转换, 按照太湖的矢量图进行非规则裁剪, 再利用波段运算去除异常值(使得NDVI的范围在-0.2—1)。根据经纬度找到所对应的像元点, 读出相应的NDVI数值, 并导入MATLAB R2015b软件, 对结果进行质量控制、分析。

每年可以获得MODIS13Q1产品数据的23景影像。数据起始时间为2000年2月18日, 终止时间是2015年12月31日。每16天获取一景影像, 每年的最后一景影像是每年最后13天(其中闰年为最后14天)的合成, 本研究一共获得365景影像。

2.3 数据的优化

本文所用的太湖底图是利用ArcGIS软件提取Landsat影像的太湖边界, 并转换为矢量格式用于后续的分析, 较为粗糙, 未将陆地信号完全去

除，尤其是部分岛上的信号没有剔除。为了将陆地信号完全剔除，同时下载了MOD09Q1地表反射率数据，利用陆地表面的反照率大于湖面的特点拆分湖面与陆地，将陆地下垫面的信号尽可能去除以确保研究对象的一致性。**图2**的阴影区域是通过上述方法判断出的陆地信号，其组成主要是太湖中的岛屿和部分填湖所造成的陆地区域。接下来的研究中以此为标准并结合卫星资料判断非水体信号并予以剔除。

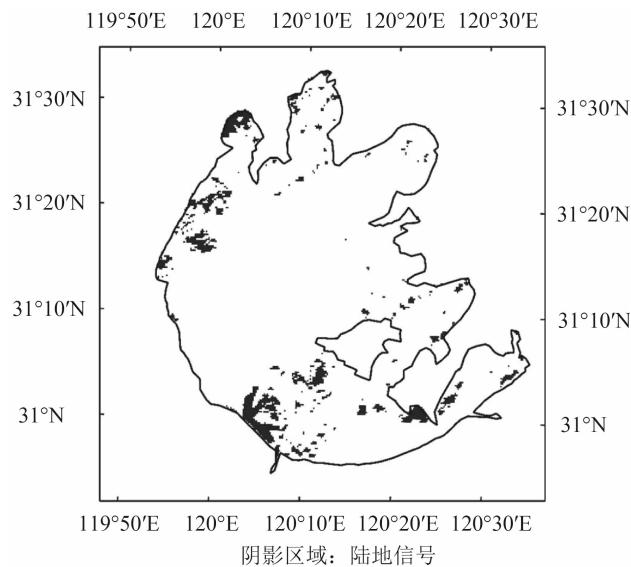


图2 太湖底图

Fig. 2 The shapefile of Lake Taihu

由于利用遥感反射率计算的NDVI值多小于0.2，在绘制NDVI空间分布图时若采用均匀的色标会使NDVI数值缺乏辨识度，无法将不同区域的NDVI进行区分，故对色标进行处理采用非均匀坐标，具体方法是根据式(1)，利用幂函数在 $[0, +\infty)$ 区间内增长率逐渐减小的特性提高NDVI在低值时的区分度。该处理方法的原理就是保证最大值、最小值以及各像元点的NDVI大小排列顺序不变，将NDVI值重新排列，从而使新色标更好地区分不同NDVI的值。

$$\text{NDVI}_r = \frac{\sqrt{\text{NDVI}}}{\sqrt{\text{NDVI}_{\max}}} \cdot \text{NDVI}_{\max} \quad (1)$$

式中， NDVI_r 表示经过处理后的NDVI值，目的是在空间上提高辨识度，改变的是NDVI在colorbar中的位置而对本身的NDVI值没有改变； NDVI_{\max} 表

示该景影像中的NDVI最大值。

2.4 气象数据的获取

气象数据取自临近太湖的东山站日尺度气象资料，主要包括气温、风速、日照时间、降雨量等，通过求取16天的平均值，使各气象要素的时间分辨率与遥感影像一致。该数据集从中国气象数据网(<http://data.cma.cn/user/toLogin.html> [2017-02-17])下载。同时利用大气上界太阳辐射和日照百分比的关系计算得到总太阳辐射，具体方法如式(2)

$$Q = Q_0(a + bS_1) \quad (2)$$

式中， Q 为计算的太阳总辐射， Q_0 为大气上界接收的太阳辐射， S_1 为日照百分率，而 a ， b 系数，分别为0.1351、0.5707(张运林等，2003)。

3 结果与讨论

3.1 太湖水生植被NDVI的时间变化特征

图3为2000年—2015年太湖平均NDVI和各气象要素变化的时间序列。从**图3**中可以看出，太湖平均NDVI具有明显的季节变化和年际变化，尤其不同年份夏秋季节的差异很大，不同年份7月平均NDVI会相差0.3以上。而16年中NDVI的最大值是0.35，出现在2006年8月份。而对气象要素而言，只有风速在2000年—2015年呈明显地下降趋势，年平均值从2000年的3.41 m/s下降到2015年的2.52 m/s，而气温，太阳辐射和降水均没有明显的年际变化趋势。从季节变化趋势上看，气温和太阳辐射与NDVI的变化趋势接近(详见3.3节)。

将太湖区域的NDVI值与陆地NDVI值(马荣华等，2009；潘晓雪等，2015；吴浩云等，2008)相比，数值上存在较大差距，且NDVI值往往在6月下旬和7月上旬会出现较大幅度的波动。该现象是由于此时间段为长江中下游地区的梅雨季节，降水频繁，较大的降水量会导致太湖水位的升高，使得水面高于沉水植物表面，影响MODIS传感器接收水生植物的信号。

为进一步明确太湖NDVI的季节及年际变化特征，下面将进行具体的分析。

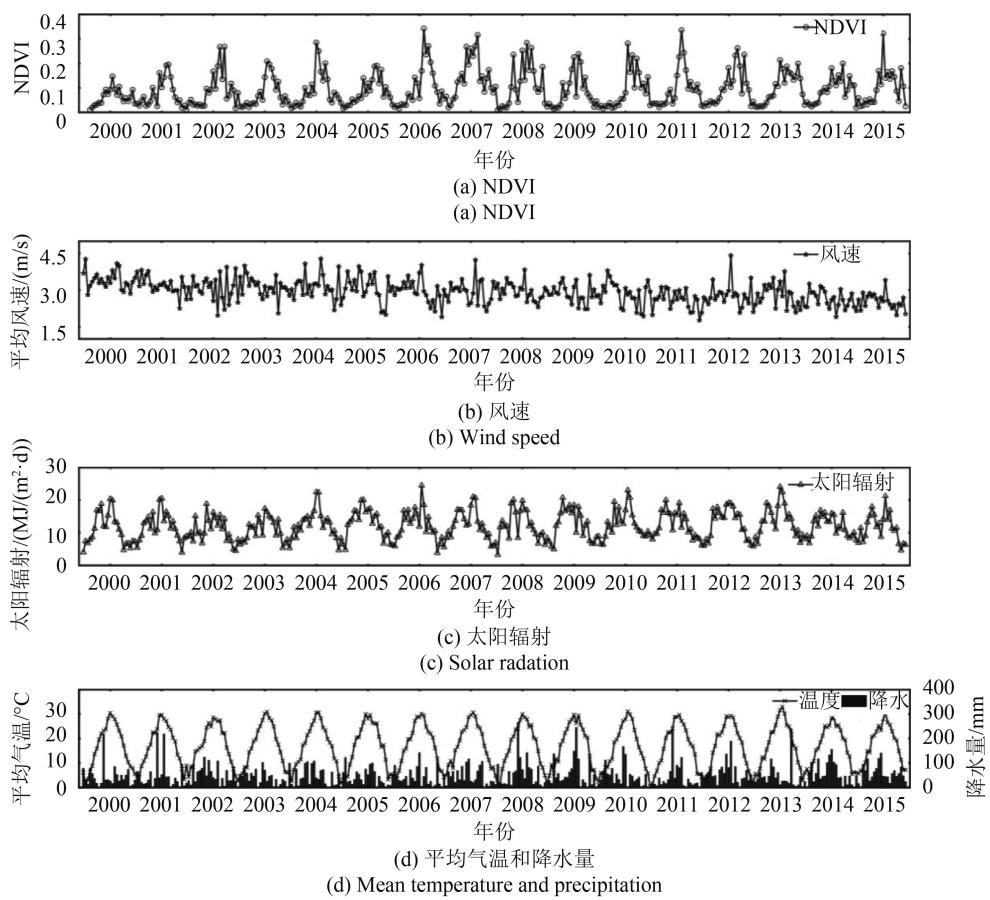


图3 2000年—2015年太湖全湖平均NDVI及各气象要素的时间动态

Fig. 3 Temporal dynamics of mean NDVI of whole lake and meteorological factors from 2000 to 2015 in Lake Taihu

3.1.1 年际变化规律

图4(a)中误差线分别表示一年中23景影像中 $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$, 图4(b)日序表示最大值出现时对应的时间段, 条形框的颜色越深表明对应时间段越靠后。从太湖NDVI 15年的年际变化(图4)可以看出, 太湖NDVI的多年平均值为0.1, 太湖年平均

NDVI最大值为0.14, 出现在2007年; 最小值为0.07, 出现在2001年。从年NDVI最大值的年际动态中可知, NDVI最大值出现在8月份和9月份的次数最多, 有少数年份最大值会出现在7月份, 如2013年, 2015年, 而在2014年, 最大值出现在10月份。每年NDVI最大值的差异性较大, 最高可达0.35, 最低为0.18, 且没有明显的周期变化。

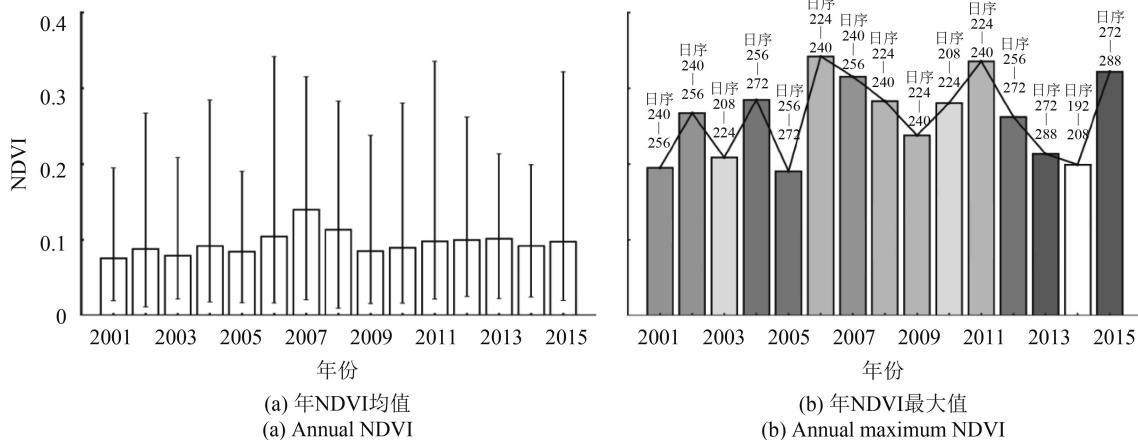


图4 2000年—2015年太湖平均NDVI变化的年际变化规律和年NDVI最大值的年际变化规律

Fig. 4 Inter-annual variation of annual mean NDVI and annual maximum NDVI from 2000 to 2015 in Lake Taihu

3.1.2 季节变化规律

2001年—2015年平均季节变化可以看出(图5), NDVI在一年中的变化基本呈单峰分布, 最小值出现在冬季, 接近0。多年最大值的中位数为

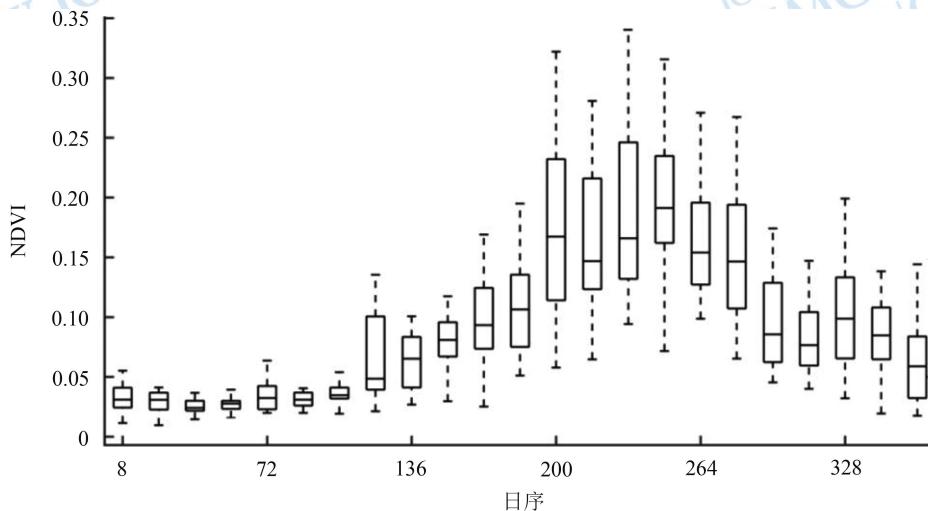


图5 太湖多年平均NDVI(矩型箱)季节变化箱式图

Fig. 5 Boxplot of multi-year mean seasonal variation of NDVI (rectangular box) in Lake Taihu

在陆地生态系统中夏季的NDVI值一般都会大于0.8(曹磊等, 2015), 与之相比, 同时期太湖的NDVI值要小得多, 但其季节变化动态与陆地生态系统的植物生长状况类似。另一方面, 由于浮游植物分布面积易受湖水波动的影响, 而湖水水位的变化会影响沉水植物露出水面的高度。因此, 太湖NDVI的季节变化规律较陆地生态系统的波动要大, 尤其在夏秋季节, 且不同年份之间的差异也相对较大。

3.2 太湖水生植被NDVI的空间分布特征

3.2.1 空间分布格局

从图6中多年平均太湖水生植被NDVI的空间分布可知, 水生植物主要分布在太湖西北部的竺山湾和梅梁湾以及东太湖区域。东太湖区域的植被类型为大型的沉水植物和挺水植物, 且在生长旺盛时浮出水面, 年平均NDVI值可达0.2以上; 太湖的北部, 尤其是梅梁湾, 其植被类型以浮游藻类为主, 藻类生长分散, 且受水面的波动较大, NDVI值相对较低; 而在太湖中部和南部区域的NDVI很低, 年平均NDVI多低于0, 这些区域的水位较深, 风浪较大, 不利于水生植物的生长。根

0.2, 一般出现在8月或9月, 个别年份的最大值可以达到0.35。由图5的误差线可知, NDVI在夏秋季变化幅度较大, 春冬季的NDVI值较低且年际间的差异较小。从图5中还可以看出, 4月—11月为太湖地区水生植物的生长季。

据NDVI值反映出的植被类型的空间分布, 可将太湖分为3个区域(图6), 分别为浮游植物居多的I区, 该区域年平均NDVI值小于0.12; 湖中心植物较少的II区, 年平均NDVI值小于0; 以及以沉水植物为主的III区, 该区域年平均NDVI值大于0.12。

与竺山湾和梅梁湾一样处于太湖北部的贡山湾, 湾口内大多数水域多年平均NDVI值小于0(图6), 可以判断为无植被信号区域, 该湾口仅在沿岸出现NDVI大于0的状况。这片区域与周边的NDVI值相差较大, 其原因可能是由于太湖自2002年以来实施了“引江济太”工程(潘晓雪等, 2015; 吴浩云等, 2008)。该工程主要在贡山湾的望亭水利枢纽将长江较清洁的水引入太湖以改善太湖水质。大量长江来水使得贡山湾等地的水质变清, 水流变大。该条件不利于浮游生物的生长, 从而使得贡山湾等地的NDVI值相较于太湖其他湾口要小。

同时, 值得注意的是, 在西山岛与东山岛之间的湖区, 存在明显的一道狭长的NDVI小值区(图6)。其原因可能是该狭长区域为太湖的一条主要航道, 每天大量的船舶穿行于东山岛和西山岛之

间, 船舶的不断干扰不利于该区域沉水植物的生长, 因此该区域NDVI值较临近地区低。此外, 在贡山湾南部的湾口NDVI值较太湖其他区域明显较高(图6)。经调查发现, 该NDVI高值区为国家湿地公园(朱为菊等, 2014), 公园内的挺水植被生长繁茂, 导致NDVI高于其他区域。因该区域的植被类型与周边湖区不相符, 在后续的分析中将其剔除。

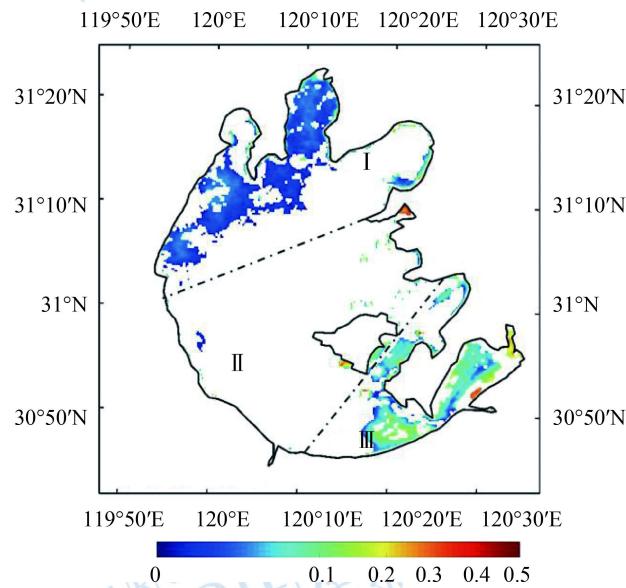


图6 2000年2月18日(日序: 第49天)到2015年12月31日(日序: 第365天)间太湖平均NDVI的空间分布

Fig. 6 The spatial distribution of mean NDVI in Lake Taihu from February 18, 2000 (DOY 49) to December 31, 2015 (DOY 365)

3.2.2 空间分布格局的时间变化特征

太湖水生植被NDVI的空间分布也存在年际动态(图8), 在浮游植被区(I区), 2004年前NDVI高值分布面积较小, 仅在零星区域出现, 从2005年开始面积逐渐增大, 2006年—2008年间蓝藻爆发严重, 并且这3年中的NDVI分布范围最广, 其值也相对较高。2007年5月太湖南部的蓝藻爆发对多地饮用水的供应造成影响(姜晟等, 2009; 周立国等, 2008)。分析太湖南部多年5月份NDVI数据发现, 2007年的NDVI均值最高为0.28, 明显高于其他年份, 说明MODIS遥感影像可以有效地对太湖植被的分布状况以及生长状况实施监控。在太湖西北部的NDVI值最高可达到0.12以上, 西北部区域作为太湖的入湖口, 大量的工业废水, 农业施用的化肥会随着河流排入太湖, 使得该区域有利于浮游藻类的生长, 随后的年份由于对水环境的

治理使得NDVI高值区无论是强度还是范围上都有所减弱, 但在2015年又有增加的趋势。

沉水植物为主的东太湖, 即Ⅲ区, NDVI年际差异较小, 且分布范围比较稳定, 大部分区域NDVI值都在0.2以上, NDVI年平均值最大超过0.5。

从图7太湖及其3个区域的水生植被旺盛生长期(5月—10月)内NDVI各年平均值箱式图可以看出, 在以沉水植物为主的Ⅲ区, NDVI值在各年的均值都较高, 而湖中心植物较少的Ⅱ区, 逐年平均NDVI值基本在0.1以下(除2007年以外)。由3个区域各年平均NDVI值的变异系数(标准差除以平均值)可以看出, 3个区域都很接近(I区为0.359, Ⅱ区为0.359, Ⅲ区为0.354), 表明这3个区域NDVI年变化的离散程度接近, 太湖水生植被的生长变化具有较高的一致性。

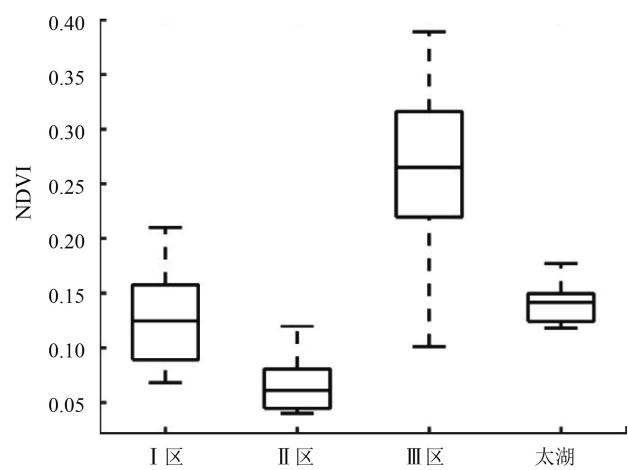


图7 太湖及其3个区域的水生植被旺盛生长期(5月—10月)内各年NDVI平均值的箱式图

Fig. 7 Boxplot of mean NDVI in the blooming growth period of the aquatic vegetation (from May to October) in Lake Taihu and its three regions respectively

太湖NDVI的空间分布也存在季节变化(图9), 多年平均NDVI空间分布的季节变化符合植物生长的季节变化规律。夏秋季NDVI空间分布差异明显, 最高值出现在以沉水植物为主的东太湖区域, 其最高的NDVI值超过0.6, 其次在太湖的北部NDVI值也较高, 最高值在0.2左右。但是, 春冬季整个湖面的NDVI几乎为零, 没有植物生长。该结果说明利用NDVI可以较好地反映湖泊中植物的分布状况及其季节动态。

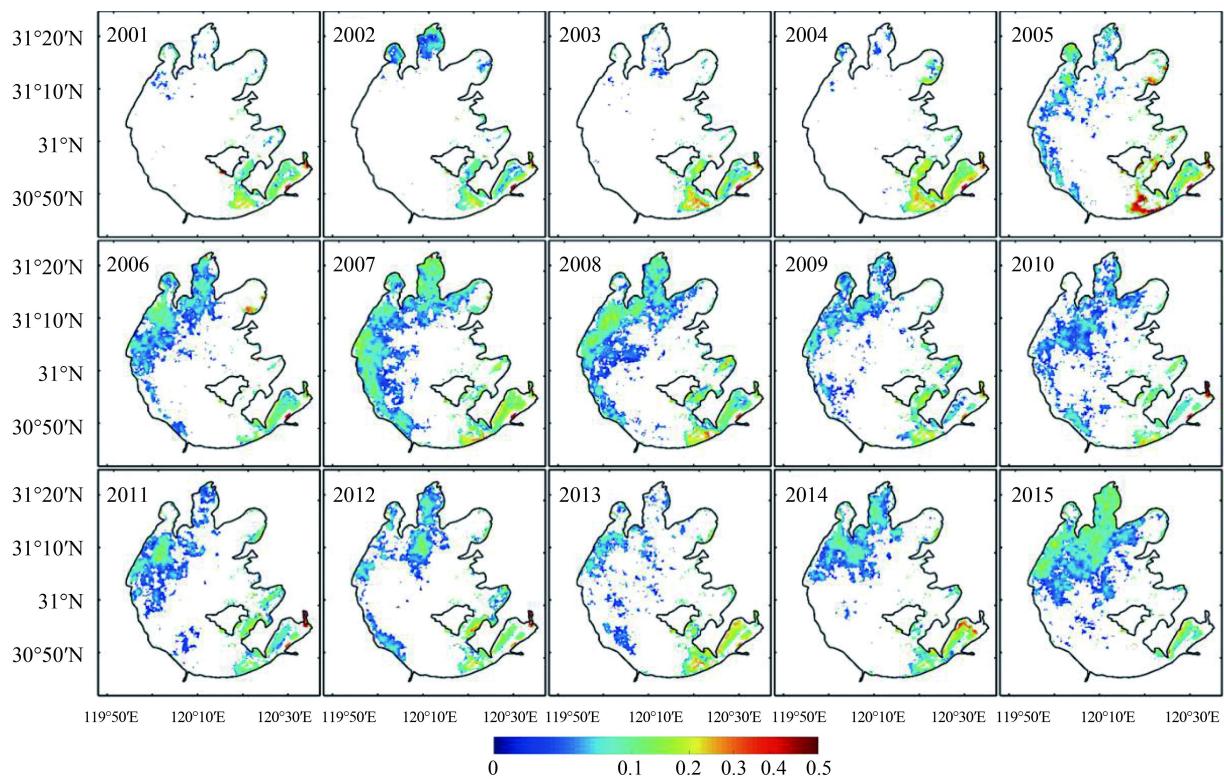


图 8 2000年—2015年太湖平均NDVI的空间分布的年际变化规律

Fig. 8 Interannual variation of NDVI spatial distribution in Lake Taihu from 2000 to 2015

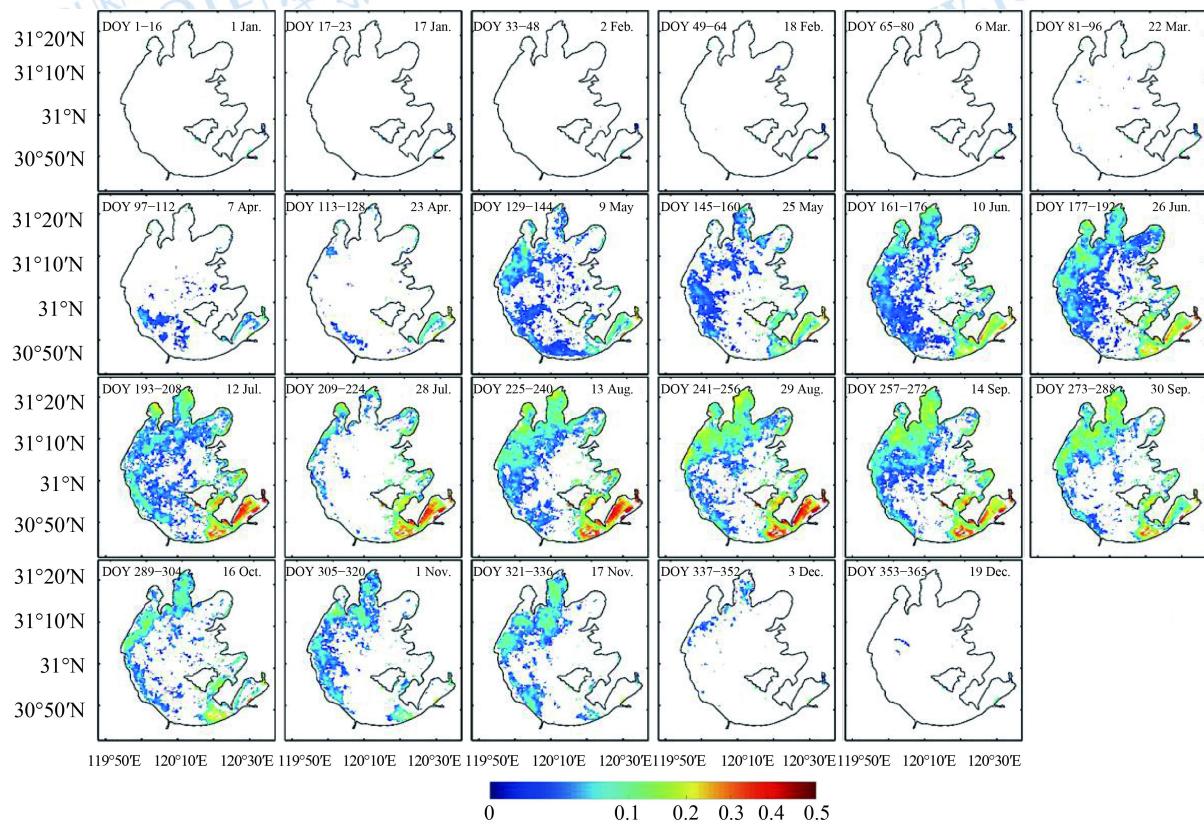


图 9 2000年—2015年太湖平均NDVI的空间分布的季节变化规律

Fig. 9 Seasonal variation of mean NDVI spatial distribution in Lake Taihu from 2000 to 2015

NDVI多年平均的季节变化规律与陆地生态系统相似, 东太湖区域的水深最浅, 沉水植物生长最茂盛, 因此夏季出现高值。在北部即使是相邻的遥感影像之间的NDVI值差距也很大, 这是由于该地区富营养化程度较高, 浮游藻类生长旺盛, 与沉水植物扎根于底泥不同, 浮游藻类漂浮于水面, 因此在夏秋季分布范围较广, 且受风速导致的水流波动影响较大。在其他区域, 包括湖心区与太湖的南部区域, 由于该区域无水生植被生长, 一年中NDVI没有明显变化且值较低, 偶尔的NDVI高值可能是从其他区域漂浮过来的植物导致。

3.3 太湖植被长势与气象因子的关系

太湖不同区域植被长势会受不同气象因子的控制。结合东山站观测的气象数据, 分析太湖不同植被类型区域NDVI与气温, 太阳辐射等气象因子的关系, 从而明确气象因子对植被长势的影

响。由于冬季属于植被的非生长季, NDVI值很低, 因此, 在分析水生植被年际生长状况与气象因子关系时仅考虑旺盛生长季时期, 即每年的5月—10月。根据前文对太湖植被类型的划分, 主要分析有浮游植物和沉水植物生长的I区与III区的NDVI与气象因子的关系。由图10可知, 在以沉水植物为主的III区, 植被生长状况主要受生长季平均气温的控制, 其NDVI与气温呈显著正相关($\alpha=0.05$), 即气温升高会促进植被生长; 但是该区域NDVI与太阳辐射正相关关系并不显著。在浮游植物为主的I区, 由于受水流的波动影响较大, 其NDVI与气温和辐射的相关性均不显著, 却与平均风速呈显著的负相关关系($\alpha=0.05$)。该结果表明, 浮游植物的分布范围受风速影响较大, 风速较大时, 浮游植物易被吹散, 在利用遥感影像计算NDVI时, 单个像元内的浮游植物密度相对减少, 从而导致NDVI值的降低。

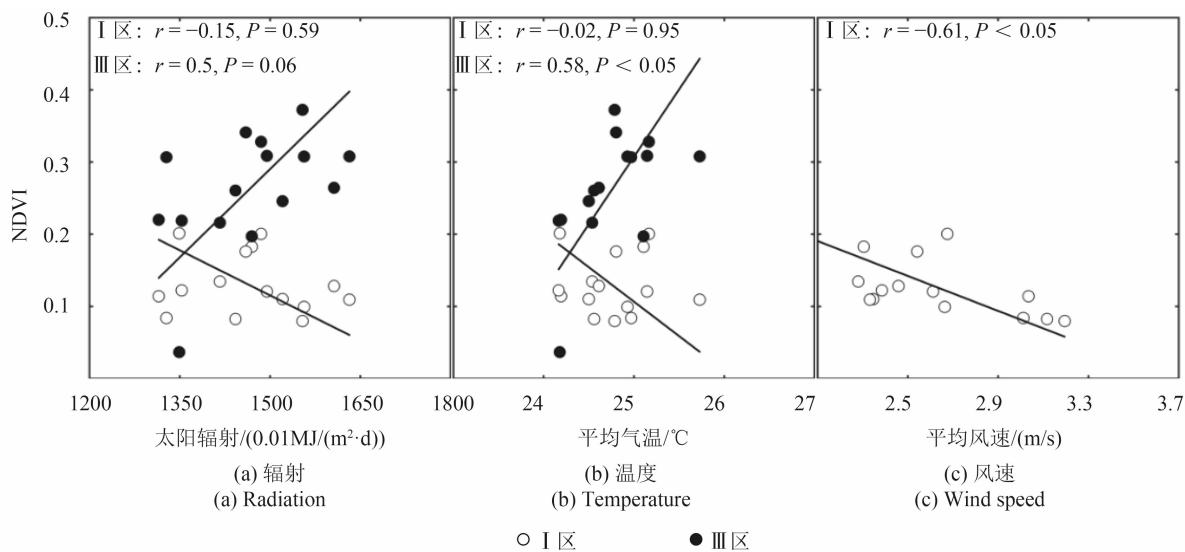


图 10 2001年—2015年太湖不同区域的旺盛生长季平均NDVI与气象因子的关系

Fig. 10 The relationship between mean NDVI and meteorological factors in the mid-growing season (from May to October) in different areas of Lake Taihu from 2001 to 2015

虽然生长季内的浮游植物与气温关系并不显著, 但是从太湖多年平均NDVI空间分布的季节变化(图9)中发现第14景(7月28日—8月12日)的NDVI高值和覆盖范围均要比邻近的两景影像小, 而从多年气温变化的时间序列(图3(d))中可知该时段的平均气温接近一年中的最高气温30 ℃。有研究表明, 水温一旦大于30 ℃, 会对蓝藻生长有显著抑制作用(姜晟 等, 2009; 王得玉 等, 2008), 这一结论与本文发现的现象相一致。

4 结 论

本文利用MODIS的NDVI数据分析太湖植被生长的时空变化规律及其与气象因子的关系, 得到的主要结论是: 太湖区域的NDVI的季节变化规律呈单峰型, 每年最低值出现在冬季, 最高值可达到0.35, 一般出现在8月或9月, 4月—11月为太湖水生植物的生长季; 太湖中年平均NDVI值大于0.12的区域为草型湖区; 年平均NDVI值小于0.12且大于0的区域为藻型湖区; 年平均NDVI小于

0的区域为无植被生长的湖心区。藻型湖区NDVI空间分布的年际变化可以反映蓝藻的分布动态；太湖中的沉水植物的生长主要受温度的控制，而浮游植物的生长状况受风速的影响较大。

本文利用MODIS传感器计算的NDVI变化规律了解太湖水生植被的生长状况，并依据其变化规律将太湖按水生植被类型进行空间分类，有助于利用遥感方法实现对太湖植被长势及演变过程的实时动态监测，但也存在一些问题：

MODIS 13Q1产品数据虽然是16天的合成数据，但是会受到天气的影响，导致观测效果的高估或低估。在陆地生态系统中，如草地或森林生态系统中植物生长状况比较稳定，天气的影响主要是利用滤波的手段将其进行平滑处理。但是，在湖泊生态系统，湖水的强流动性会影响所获取的数据质量，需要在今后的研究中寻找合适的方法对反映湖泊生态系统NDVI数据进行更为优化的处理；湖泊水生植被NDVI计算与陆地生态系统的最大区别就是介质的差异，除了大气这一介质，水的存在也会造成影响，水面以下一定深度的沉水植被很难通过遥感方法反演出来，这可能会造成对沉水植被NDVI的低估；本研究虽然从NDVI变化的角度分析太湖水生植被的生长状况，但并没有建立NDVI与生物量的定量关系，需要在今后的工作中结合其他类型的传感器获取的数据以及湖面观测和植被调查等方法，定量分析NDVI与生物量的关系。

参考文献(References)

- Bergamino N, Horion S, Stenuite S, Cornet Y, Loiselle S, Plisnier P D and Descy J P. 2010. Spatio-temporal dynamics of phytoplankton and primary production in Lake Tanganyika using a MODIS based bio-optical time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(4): 772–780 [DOI: [10.1016/j.rse.2009.11.013](https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.013)]
- Bonan G B. 1995. Sensitivity of a GCM simulation to inclusion of inland water surfaces. *Journal of Climate*, 8(11): 2691–2704 [DOI: [10.1175/1520-0442\(1995\)008<2691:SOAGST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<2691:SOAGST>2.0.CO;2)]
- Cao L, Xie F, Wu Y C, Wang Z, Zhang N N and Zhao Y W. 2015. Spatiotemporal variation characteristics and impact factors of NDVI in Jiangsu Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 35(2): 151–154 (曹磊, 谢飞, 吴颖超, 王震, 张娜娜, 赵言文. 2015. 江苏省NDVI时空变化特征及其与气候因子的关系. 水土保持通报, 35(2): 151–154) [DOI: [10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.029](https://doi.org/10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.029)]

- Deng B, Liu S D, Xiao W, Wang W, Jin J M and Lee X H. 2013. Evaluation of the CLM4 lake model at a large and shallow Freshwater Lake. *Journal of Hydrometeorology*, 14(2): 636–649 [DOI: [10.1175/JHM-D-12-067.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-067.1)]
- Hostetler S W, Giorgi F, Bates G T and Bartlein P J. 1994. Lake-atmosphere feedbacks associated with paleolakes bonneville and Lahontan. *Science*, 263(5147): 665–668 [DOI: [10.1126/science.263.5147.665](https://doi.org/10.1126/science.263.5147.665)]
- Hu C M, Lee Z P, Ma R H, Yu K, Li D Q and Shang S L. 2010. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations of cyanobacteria blooms in Taihu Lake, China. *Journal of Geophysical Research*, 115(C4): C04002 [DOI: [10.1029/2009JC005511](https://doi.org/10.1029/2009JC005511)]
- Jiang S, Zhang Y, Jiang J J and Jin Y. 2009. Research on relationship between cyanobacteria bloom and water temperature in Lake Taihu based on MODIS data. *Environmental Science and Technology*, 22(6): 28–31 (姜晟, 张咏, 蒋建军, 金焰. 2009. 基于MODIS数据的太湖蓝藻变化与水温关系研究. 环境科技, 22(6): 28–31) [DOI: [10.3969/j.issn.1674-4829.2009.06.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-4829.2009.06.008)]
- Jin S M and Sader S A. 2005. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, 99(4): 462–470 [DOI: [10.1016/j.rse.2005.09.017](https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.017)]
- Justice C O, Townshend J R G, Vermote E F, Masuoka E, Wolfe R E, Saleous N, Roy D P and Morisette J T. 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83(1/2): 3–15 [DOI: [10.1016/S0034-4257\(02\)0084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)0084-6)]
- Kong F X, Ma R H, Gao J F and Wu X D. 2009. The theory and practice of prevention, forecast and warning on cyanobacteria bloom in Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 21(3): 314–328 (孔繁翔, 马荣华, 高俊峰, 吴晓东. 2009. 太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践. 湖泊科学, 21(3): 314–328) [DOI: [10.18307/2009.0302](https://doi.org/10.18307/2009.0302)]
- Li G Y, Zhang Z Y, Zheng Y F and Liu X M. 2008. Atmospheric correction of MODIS and its application in cyanobacteria bloom monitoring in Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 20(2): 160–166 (李国研, 张仲元, 郑艳芬, 刘晓政. 2008. MODIS影像的大气校正及在太湖蓝藻监测中的应用. 湖泊科学, 20(2): 160–166) [DOI: [10.18307/2008.0204](https://doi.org/10.18307/2008.0204)]
- Lunetta R S, Knight J F, Edirizickrema J, Lyon J G and Worthy L D. 2006. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105(2): 142–154 [DOI: [10.1016/j.rse.2006.06.018](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.018)]
- Ma R H, Kong F X, Duan H T, Zhang S X, Kong W J and Hao J Y. 2008. Spatio-temporal distribution of cyanobacteria blooms based on satellite imageries in Lake Taihu, China. *Journal of Lake Sciences*, 20(6): 687–694 (马荣华, 孔繁翔, 段洪涛, 张寿选, 孔维娟, 郝景燕. 2008. 基于卫星遥感的太湖蓝藻水华时空分布规律认识. 湖泊科学, 20(6): 687–694) [DOI: [10.18307/2008.0605](https://doi.org/10.18307/2008.0605)]

- Ma R H, Tang J W, Duan H T and Pan D L. 2009. Progress in lake water color remote sensing. *Journal of Lake Sciences*, 21(2): 143–158 (马荣华, 唐军武, 段洪涛, 潘德炉. 2009. 湖泊水色遥感研究进展. *湖泊科学*, 21(2): 143–158) [DOI: [10.18307/2009.0201](https://doi.org/10.18307/2009.0201)]
- Ma R H, Yang G S, Duan H T, Jiang J H, Wang S M, Feng X Z, Li A N, Kong F X, Xue B, Wu J L and Li S J. 2011. China's lakes at present: number, area and spatial distribution. *Science China Earth Sciences*, 54(2): 283–289 [DOI: [10.1007/s11430-010-4052-6](https://doi.org/10.1007/s11430-010-4052-6)]
- Mao Z G, Gu X H, Lu X M, Zeng Q F, Gu X K and Li X G. 2014. Pollution distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in sediments from the different eastern dredging Regions of Lake Taihu. *Environmental Science*, 35(1): 186–193 (毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光. 2014. 太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价. *环境科学*, 35(1): 186–193) [DOI: [10.13227/j.hjkx.2014.01.027](https://doi.org/10.13227/j.hjkx.2014.01.027)]
- Martynov A, Sushama L and Laprise R. 2010. Simulation of temperate freezing lakes by one-dimensional lake models: performance assessment for interactive coupling with regional climate models. *Boreal Environment Research*, 15(2): 143–164
- Pan X X, Ma Y Q, Qin Y W and Zou H. 2015. Nutrients input characteristics of the Yangtze River and Wangyu River during the “Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River”. *Environmental Science*, 36(8): 2800–2808 (潘晓雪, 马迎群, 秦延文, 邹华. 2015. “引江济太”过程中长江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究. *环境科学*, 36(8): 2800–2808) [DOI: [10.13227/j.hjkx.2015.08.010](https://doi.org/10.13227/j.hjkx.2015.08.010)]
- Qin B Q. 2002. Approaches to Mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Journal of Lake Sciences*, 14(3): 193–202 (秦伯强. 2002. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探. *湖泊科学*, 14(3): 193–202) [DOI: [10.18307/2002.0301](https://doi.org/10.18307/2002.0301)]
- Qin B Q. 2009. Progress and prospect on the eco-environmental research of Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 21(4): 445–455 (秦伯强. 2009. 太湖生态与环境若干问题的研究进展及其展望. *湖泊科学*, 21(4): 445–455) [DOI: [10.18307/2009.0401](https://doi.org/10.18307/2009.0401)]
- Qin B Q, Gao G, Zhu G W, Zhang Y L, Song Y Z, Tang X M, Xu H and Deng J M. 2013. Lake eutrophication and its ecosystem response. *Chinese Science Bulletin*, 58(10): 855–864 (秦伯强, 高光, 朱广伟, 张运林, 宋玉芝, 汤祥明, 许海, 邓建明. 2013. 湖泊富营养化及其生态系统响应. *科学通报*, 58(10): 855–864) [DOI: [10.1360/csb2013-58-10-855](https://doi.org/10.1360/csb2013-58-10-855)]
- Qin B Q, Hu W P and Chen W M. 2004. Process and mechanism of environmental changes of the Taihu Lake. Beijing: Science Press (秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 2004. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社)
- Qin B Q, Xu P Z, Wu Q L, Luo L C and Zhang Y L. 2007. Environmental issues of Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*, 581: 3–14
- Qin B Q, Yang G J, Ma J R, Deng J M, Li W, Wu T F, Liu L Z, Gao G, Zhu G W and Zhang Y L. 2016. Dynamics of variability and mechanism of harmful cyanobacteria bloom in Lake Taihu, China. *Chinese Science Bulletin*, 61(7): 759–770 (秦伯强, 杨桂军, 马健荣, 邓建明, 李未, 吴挺峰, 刘丽贞, 高光, 朱广伟, 张运林. 2016. 太湖蓝藻水华“暴发”的动态特征及其机制. *科学通报*, 61(7): 759–770) [DOI: [10.1360/N972015-00400](https://doi.org/10.1360/N972015-00400)]
- Qin Y W, Zhang L, Zheng B H and Cao W. 2012. Speciation and pollution characteristics of heavy metals in the sediment of Taihu Lake. *Environmental Science*, 33(12): 4291–4299 (秦延文, 张雷, 郑丙辉, 曹伟. 2012. 太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征. *环境科学*, 33(12): 4291–4299) [DOI: [10.13227/j.hjkx.2012.12.037](https://doi.org/10.13227/j.hjkx.2012.12.037)]
- Shi K, Zhang Y L, Zhu G W, Liu X H, Zhou Y Q, Xu H, Qin B Q, Liu G and Li Y M. 2015. Long-term remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data. *Remote Sensing of Environment*, 164: 43–56 [DOI: [10.1016/j.rse.2015.02.029](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.029)]
- Wang D Y, Feng X Z, Zhou L G, Hao J Y and Xu X X. 2008. Relationship between blue algal bloom and water temperature in Lake Taihu based on MODIS. *Journal of Lake Sciences*, 20(2): 173–178 (王得玉, 冯学智, 周立国, 郝景燕, 徐晓雄. 2008. 太湖蓝藻爆发与水温的关系的MODIS遥感. *湖泊科学*, 20(2): 173–178) [DOI: [10.18307/2008.0206](https://doi.org/10.18307/2008.0206)]
- Wang M H, Shi W and Tang J W. 2011. Water property monitoring and assessment for China's inland Lake Taihu from MODIS-Aqua measurements. *Remote Sensing of Environment*, 115(3): 841–854 [DOI: [10.1016/j.rse.2010.11.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.11.012)]
- Wardlow B D, Egbert S L and Kastens J H. 2007. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U. S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 108(3): 290–310 [DOI: [10.1016/j.rse.2006.11.021](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.021)]
- Wu H Y, Zhou D P, He J and Bao C K. 2008. Integrated benefit assessment of the project water diversion from Yangtze River to Lake Taihu and discussion on the methodology. *Journal of Lake Sciences*, 20(5): 639–647 (吴浩云, 周丹平, 何佳, 包存宽. 2008. 引江济太工程综合效益的评估及方法探讨. *湖泊科学*, 20(5): 639–647) [DOI: [10.18307/2008.0513](https://doi.org/10.18307/2008.0513)]
- Wu Y L, Xu H, Yang G J, Zhu G W and Qin B Q. 2014. Progress in nitrogen pollution research in Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 26(1): 19–28 (吴雅丽, 许海, 杨桂军, 朱广伟, 秦伯强. 2014. 太湖水体氮素污染状况研究进展. *湖泊科学*, 26(1): 19–28) [DOI: [10.18307/2014.0103](https://doi.org/10.18307/2014.0103)]
- Xu J P, Zhang B, Li F, Song K S and Wang Z M. 2008. Detecting modes of cyanobacteria bloom using MODIS data in Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 20(2): 191–195 (徐京萍, 张柏, 李方, 宋开山, 王宗明. 2008. 基于MODIS数据的太湖藻华水体识别模式. *湖泊科学*, 20(2): 191–195) [DOI: [10.18307/2008.0209](https://doi.org/10.18307/2008.0209)]
- Yuan H Z, Shen J and Liu E F. 2011. Assessment and characterization of heavy metals and nutrients in sediments from Taihu Lake. *Environmental Science*, 32(3): 649–657 (袁和忠, 沈吉, 刘恩峰.

2011. 太湖重金属和营养盐污染特征分析. 环境科学, 32(3): 649–657) [DOI: [10.13227/j.hjkx.2011.03.006](https://doi.org/10.13227/j.hjkx.2011.03.006)]
- Zhang Y L, Qin B Q, Chen W M and Hu W P. 2003. Climatological calculation and characteristic analysis of global radiation over WUXI region. Journal of Applied Meteorological Science, 14(3): 339–347 (张运林, 秦伯强, 陈伟民, 胡维平. 2003. 太湖无锡地区太阳总辐射的气候学计算及特征分析. 应用气象学报, 14(3): 339–347) [DOI: [10.3969/j.issn.1001-7313.2003.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7313.2003.03.009)]
- Zhou L G, Feng X Z, Wang C H, Wang D Y and Xu X X. 2008. Monitoring cyanobacteria bloom based on MODIS data in Lake Taihu.
- Journal of Lake Sciences, 20(2): 203–207 (周立国, 冯学智, 王春红, 王得玉, 徐晓雄. 2008. 太湖蓝藻水华的MODIS卫星监测. 湖泊科学, 20(2): 203–207) [DOI: [10.18307/2008.0211](https://doi.org/10.18307/2008.0211)]
- Zhu W J, Zhou J, Lan T and Wang Q X. 2014. Analysis of phytoplankton community structure characteristics of Suzhou Taihu Lake Wetland Park. Journal of Safety and Environment, 14(2): 273–277 (朱为菊, 周俊, 蓝天, 王全喜. 2014. 苏州太湖湿地公园浮游植物群落结构特征分析. 安全与环境学报, 14(2): 273–277) [DOI: [10.13637/j.issn.1009-6094.2014.02.056](https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2014.02.056)]

Analysis of temporal and spatial variations in NDVI of aquatic vegetation in Lake Taihu

ZHANG Zhen^{1,2}, ZHANG Mi^{1,2}, XIAO Wei^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, XIAO Qitao^{1,2}, WANG Yongwei¹, Xuhui Lee¹

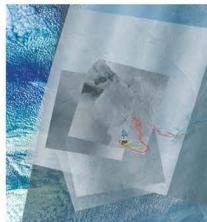
1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

2. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: The temporal and spatial variations in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were analyzed and the factors that affect the growth condition of different types of vegetation in Lake Taihu were identified using MODIS NDVI data gathered from 2000 to 2015. MOD13Q1 data were obtained with 16-day temporal resolution and 250 m spatial resolution. Projection transformation and irregular cutting were implemented according to the vector diagram of Lake Taihu. Then, abnormal values were eliminated by the band math module of ENVI 4.7 software (The range of NDVI is between -0.2 and 1). We analyzed the corresponding NDVI values and imported the results to MATLAB R2015b software according to the latitude and longitude that determine corresponding pixel points. The result indicated seasonal and inter-annual variations in the NDVI of aquatic vegetation in Lake Taihu. Annual minimum NDVI occurred in winter, and the maximum in August or September, reaching 0.35 with flourishing vegetation growth. The multi-year mean NDVI was 0.1, and the annual mean NDVI was the largest in 2007 at 0.14. The spatial distribution of NDVI and the different types of vegetation can be distinguished in Lake Taihu. The northwestern area of the lake (Zhushan Bay and Meiliang Bay) was covered by planktonic algae; the maximum value was larger than 0.2 in this area. The east area was mainly covered by submerged vegetation; the maximum value exceeded 0.6 in this region. In the different ecological areas of Lake Taihu, the responses of vegetation growth to meteorological factors differed. The seasonal NDVI variation of Lake Taihu was of single-peak type. The growth season of aquatic vegetation was from April to November. The inter-annual variability of spatial distribution of NDVI in the planktonic algae area could reflect the dynamics of cyanobacteria distribution. Submerged vegetation growth was positively correlated with mean air temperature. However, wind speed affected the growth of the planktonic algae.

Key words: Lake Taihu, NDVI, temporal and spatial variation, meteorological factors

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.41575147, 41475141, 41505005)



封面说明

About the Cover

“高分”卫星监测“桑吉”轮海面溢油污染

GF satellite constellation to detect oil spills of sunken SANCHI crude oil tanker in the East China Sea

封面图片为 2018-01-15—2018-01-21 多时相高分 3 号 (GF-3) SAR 卫星探测到的“桑吉”轮碰撞燃爆事故海面溢油污染物及其扩散过程。其中包括精细条带 2 (FSII、10 m 分辨率、100 km 幅宽) 标准条带 (SS、25 m 分辨率、130 km 幅宽) 以及窄幅扫描 (NSC、50 m 分辨率、300 km 幅宽) 等 3 种成像模式图像。底图采用 2018 年 1 月 17 日高分 4 号 (GF-4) 卫星获得的多光谱彩色合成图，分辨率 50 m 分辨率，成像模式为 PMI 模式。 GF-3 卫星为中国首颗最高分辨率达 1 m 的 C 波段多极化 SAR 卫星，具备 12 种成像模式，是国际上成像模式最多的 SAR 卫星。 SAR 卫星具有全天候、全天时的遥感探测能力，在此次东海海域油轮碰撞事故溢油污染应急监测中发挥了重要作用。 GF-4 卫星为中国首颗地球同步轨道高分辨率对地观测卫星，采用面阵凝视成像工作模式，具备可见光、多光谱、红外波段成像能力，与低轨遥感卫星配合使用，优势互补，相得益彰。

The upper cover images show oil spills detected by GF-3 Synthetic Aperture Radar (SAR) time-serious images (acquired from Jan. 15 to Jan. 21, 2018), including FSII mode (10 m, swath 100 km), SS mode (25 m, swath 130 km), and NSC mode (50 m, swath 300 km). The lower cover image is a color composite map (50 m, PMI mode) by GF-4 satellite, at Jan. 17, 2018. GF-3 is the first C band SAR satellite of China, with multi-polarization and up to 1 m spatial resolution. In addition, GF-3 is a SAR satellite who has the most imaging mode (12 operational modes) around the world. GF-3 SAR images perform unforgettable in the accident of oil tankers collision in the East China Sea, due to SAR is able to acquire image in all-whether, day and night. GF-4, on the other hand, is the first satellite of China in geostationary earth orbit, which constitute GF satellite constellation along with GF-1, GF-2, GF-3 and etc. GF-4, working in staring mode, is capable of imaging ranging from visible light to infrared waveband, and is adapt to be used with polar orbit satellites.

遥感学报

JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第22卷 第2期 2018年3月25日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.22 No.2 March 25, 2018

主 管	中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院遥感与数字地球研究所 中国地理学会环境遥感分会	Sponsored by	Institute of Remote Sensing and Digital Earth,CAS The Associate on Environment Remote Sensing of China
主 编	顾行发	Editor-in-Chief	GU Xing-fa
编 辑	《遥感学报》编委会	Edited by	Editorial Board of Journal of Remote Sensing Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China Tel: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@radi.ac.cn
出 版	科学出版社	Published by	Science Press
印 刷	北京科信印刷有限公司	Printed by	Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
总 发 行	科学出版社	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 北京 399 信箱 邮政编码 : 100044 国外发行代号 : BM 1002	Overseas distributed by	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号： ISSN 1007-4619
CN 11-3841/TP

CODEN YXAUAB

定价： 70. 00元



官网



网站

ISSN 1007-4619



9 771007 461187

03>