

基于Landsat遥感数据的洞庭湖面积变化研究

王威^{1, 2} 隋兵¹ 林南² 陈太龙²

(1 气象防灾减灾湖南省重点实验室, 长沙 410118; 2 湖南省岳阳市气象局, 岳阳 414000)

摘要: 洞庭湖是长江中下游最大的调蓄湖泊, 近年来由于受气候的变化和人类因素的影响, 湖泊面积呈现萎缩的趋势。为更精确的研究洞庭湖面积变化的趋势。利用1994—2017年洞庭湖区高分辨率的Landsat影像, 通过分析不同水体提取方法的优劣, 采用水体指数分析和目视解译相结合的方法, 提取洞庭湖水体面积, 并分析了1994—2017年洞庭湖年内、年际和年代际变化。结果表明: 2017年洞庭湖水体面积有非常明显的丰水期和枯水期的年内变化; 洞庭湖水体面积在1996年(2438 km²)最大, 在2013年(1054 km²)最小; 从25年的洞庭湖面积来看, 25年内洞庭湖经历了扩展—萎缩的变化趋势。

关键词: 洞庭湖, 面积提取, 面积变化

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.03.020

Study on Area Changes of the Dongting Lake Based on Remote Sensing Data

Wang Wei^{1, 2}, Suibing¹, Lin Nan², Chen Tailong²

(1 Key Laboratory of Hunan Province for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Changsha 410118

2 Yueyang Meteorological Bureau, Yueyang 414000)

Abstract: Dongting Lake is the largest regulating lake in the middle and lower reaches of the Yangtze River. To study the trend in area changes of Dongting Lake accurately, the Landsat images from 1994 to 2017 were used to extract the water body area of Dongting Lake. Different water body extraction methods were compared. The water body was extracted based on water body index and visual interpretation, and the inter-annual and annual changes of Dongting Lake from 1994 to 2017 were analyzed. The results show that the normalized vegetation index (NDVI) combined with visual interpretation could accurately extract water body from complex features. The water body area of Dongting Lake changed significantly within the year. The maximum was in 1996 (2438 km²) and the minimum was in 2013 (1054 km²), respectively. From 1994 to 2017, the area of Dongting Lake had a rising trend in 1990s and then decreased in 2000s and 2010s.

Keywords: Dongting Lake, area extraction, area change

0 引言

水体尤其是大型湖泊具有调节气候、含蓄水源的作用, 随着全球气候变化和人类活动的影响, 湖泊生态环境发生了巨大的变化, 这些变化影响着全球淡水资源的分布, 甚而影响区域的可持续发展^[1]。卫星遥感技术为大尺度的水文监测提供了强有力的手段, 研究者借助遥感资料对湖泊面积的变化开展了很多研究。梁丁丁^[2]、阎利等^[3]利用Landsat影像分析了青藏高原湖泊面积变化。徐浩杰等^[4]利用Landsat、MODIS、NOAA/AVHRR数据, 分析了近30年柴达木盆地湖泊面积的变化及其对气候变化的响应关系。

洞庭湖是长江中下游最大的调蓄湖泊, 我国第

二大淡水湖泊, 它的存在对调节湖区周边气候具有重要的作用。目前洞庭湖由于受气候的变化和人类因素的影响, 湖泊面积呈现萎缩的趋势。据湖南省水电勘测设计院测算, 1949年洞庭湖湖泊面积为4300 km², 1983年减至2691 km², 到20世纪90年代末, 面积仅为2579.2 km²^[5]。崔亮等^[6]通过分析1993—2010年洞庭湖水体面积动态变化, 发现18年间湖面积萎缩严重, 秋季平水期萎缩比例少于40%。田伟国等^[7]、王慧等^[8]发现除受气候影像以外, 三峡大坝的建立对洞庭湖面积变化影响也很大。这些研究借助的手段均比较粗略, 遥感影像大多采用分辨率较低的MODIS数据, 利用较高空间分辨率分析洞庭湖面积的研究相对而言较少。为了更精确地分析洞庭湖面积的变化情况, 需要借助更高分辨率的遥感影像, 本文利用Landsat TM/OLI数据研究洞庭湖面积的变化。

收稿日期: 2019年9月2日; 修回日期: 2019年11月25日

第一作者: 王威(1988—), Email: 657484303@qq.com

通信作者: 隋兵(1975—) Email: 2565711@qq.com

1 研究区概况

洞庭湖位于长江中下游，北接长江，西南面与湘、资、沅、澧四水相通，跨岳阳、常德、益阳三市^[9]。洞庭湖主体大致可分为东洞庭湖、南洞庭湖、西洞庭湖三部分，湖体之间通过星罗密布的河网和洪道相连。洞庭湖属于季节性湖泊，水位始涨于4月，7—8月最高，11月—翌年3月为枯水期。多年最大水位变幅，岳阳达17.76 m。素有“洪水一大片，枯水几条线”“霜落洞庭干”之说。洞庭湖水体面积经历了“扩张—萎缩—扩张—萎缩”的发展阶段，在鼎盛时期洞庭湖曾号称“八百里洞庭”，在近一百年内，由于人为和政策的原因，湖泊萎缩速度加剧。人类过度的干预导致洞庭湖区域洪灾泛滥，尤其在经历了1996、1998、1999年连续几次大水灾之后，洞庭湖进入了新的历史时期，以水利建设为重点的洞庭湖治理工程相继开展，其中尤以三峡水利工程影响最大，三峡大坝建成后，洞庭湖防洪压力减轻，但与此同时大坝的建成也对洞庭湖水体面积变化产生了巨大影响。

2 数据来源与方法

2.1 Landsat 数据

遥感数据选取的是Landsat 5 TM和Landsat 8 OLI数据，本研究使用波段的空间分辨率皆为30 m。由于丰水期（4—10月）和枯水期（11月—次年3月）的洞庭湖面积差异巨大，枯水期面积较稳定，丰水期更能体现洞庭湖面积变化趋势，因此，本文选用1993—2017年4—10月的Landsat影像进行分析，每期影像由轨道号123/40、124/40两幅影像经过校正、拼接而成。表1为本文所使用遥感数据详细信息。

2.2 湖泊面积提取方法

本研究利用遥感影像提取湖泊面积的方法包括单波段阈值分析法、植被指数法、多波段谱间关系法、目视解译法等^[4]。其中，单波段阈值分析法，主要利用对水体界限反映较敏感的近红外波段提取水体面积^[10]；植被指数法分别基于归一化植被指数（NDVI）、归一化水体指数（NDWI），该类方法考虑水体在不同波段不同的透射性和吸收量，并利用波段数值差和数值和的比值作为水体的判识依据；多波段谱间关系法，利用水体独特的谱间关系来提取水体的面积，本研究使用水体指数（WRI）法。各指数的具体计算公式可参考文献[4, 10-11]。

借助上述方法对2017年丰水期的洞庭湖水体面积进行提取（图1和图2），5种提取水体方法均能成功提取出洞庭湖水体面积。单波段法在提取水体时需根据水体在影像中呈现的波段特征进行反复试验，本试

验中阈值 $T=7200$ ，但该方法水体信息缺失率较高。多波段谱间关系法虽然克服了利用单波段提取水体信息时造成的缺失问题，但将水田、阴影等误判为水体的概率较高。植被指数法和归一化植被指数法较单波段法和多波段谱间关系法误判率较低。其中，归一化植被指数能较准确的识别水体，但其在地物复杂地段，尤其是水体、水田、裸露滩地共存的部分，该方法也很难将水体区分，因此需要借助目视解译法，利用丰富的专业知识从复杂地物中提取出水体。

3 结果与分析

3.1 年内湖泊面积变化

Landsat卫星重访期为16 d，且易受云雾干扰，因此本文仅以2017年丰水期和枯水期来分析年内湖泊面积变化情况。丰水期采用2017年7月的两幅影像、枯水期采用2017年12月的两幅影像。分析可知，2017年丰水期洞庭湖面积约为1920 km²，枯水期面积约为607 km²，两者相差1313 km²。洞庭湖2017年湖泊面积变化如图3所示，可见洞庭湖湖泊面积变化受季节影

表1 遥感影像详细信息
Table 1 Details of remote sensing images

年份	传感器类型	轨道号 (Path/Row)	采集日期
1994年	Landsat 5 TM	123/40	1994-08-03
	Landsat 5 TM	124/40	1994-08-12
1995年	Landsat 5 TM	123/40	1995-06-28
	Landsat 5 TM	124/40	1995-07-21
1996年	Landsat 5 TM	123/40	1996-09-02
1998年	Landsat 5 TM	123/40	1998-08-23
	Landsat 5 TM	124/40	1998-10-01
1999年	Landsat 5 TM	123/40	1999-09-11
	Landsat 5 TM	124/40	1999-08-01
2000年	Landsat 5 TM	123/40	2000-07-27
	Landsat 5 TM	124/40	2000-07-19
2006年	Landsat 5 TM	123/40	2006-06-10
	Landsat 5 TM	124/40	2006-07-19
2007年	Landsat 5 TM	123/40	2007-07-31
	Landsat 5 TM	124/40	2007-08-07
2011年	Landsat 8 OLI	123/40	2011-07-26
	Landsat 8 OLI	124/40	2011-08-18
2013年	Landsat 8 OLI	123/40	2013-06-13
	Landsat 8 OLI	124/40	2013-08-07
2014年	Landsat 8 OLI	123/40	2014-10-06
	Landsat 8 OLI	124/40	2014-09-27
2016年	Landsat 8 OLI	123/40	2016-06-05
	Landsat 8 OLI	124/40	2016-05-11
2017年	Landsat 8 OLI	123/40	2017-07-26
	Landsat 8 OLI	124/40	2017-07-17
	Landsat 8 OLI	123/40	2017-12-17
	Landsat 8 OLI	124/40	2017-12-08

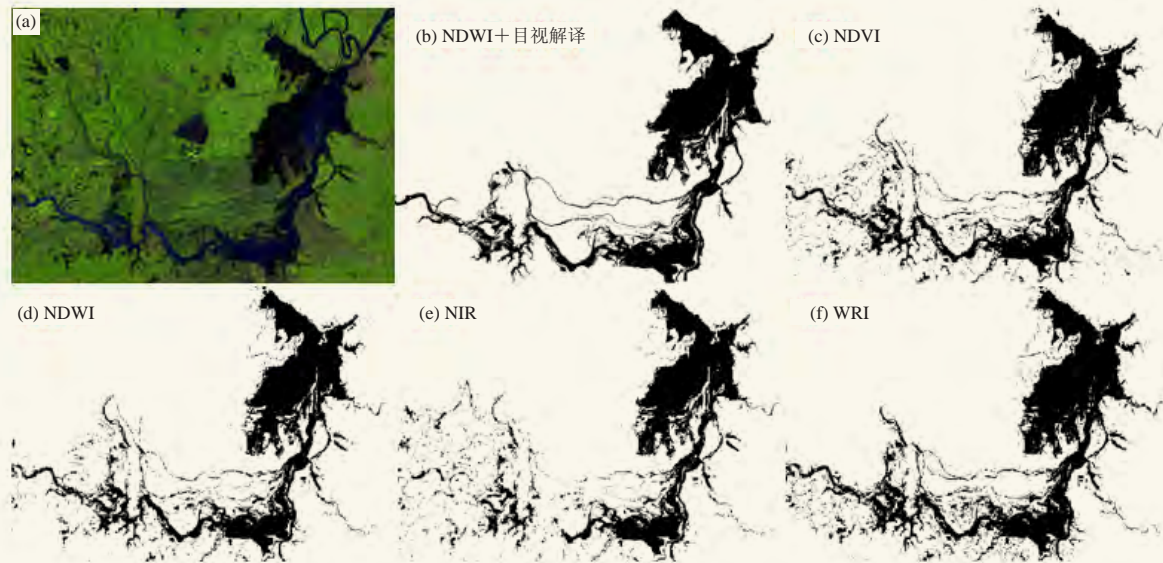


图1 利用不同方法提取的2017年丰水期洞庭湖面积
Fig. 1 Dongting Lake area extracted by different methods in 2017

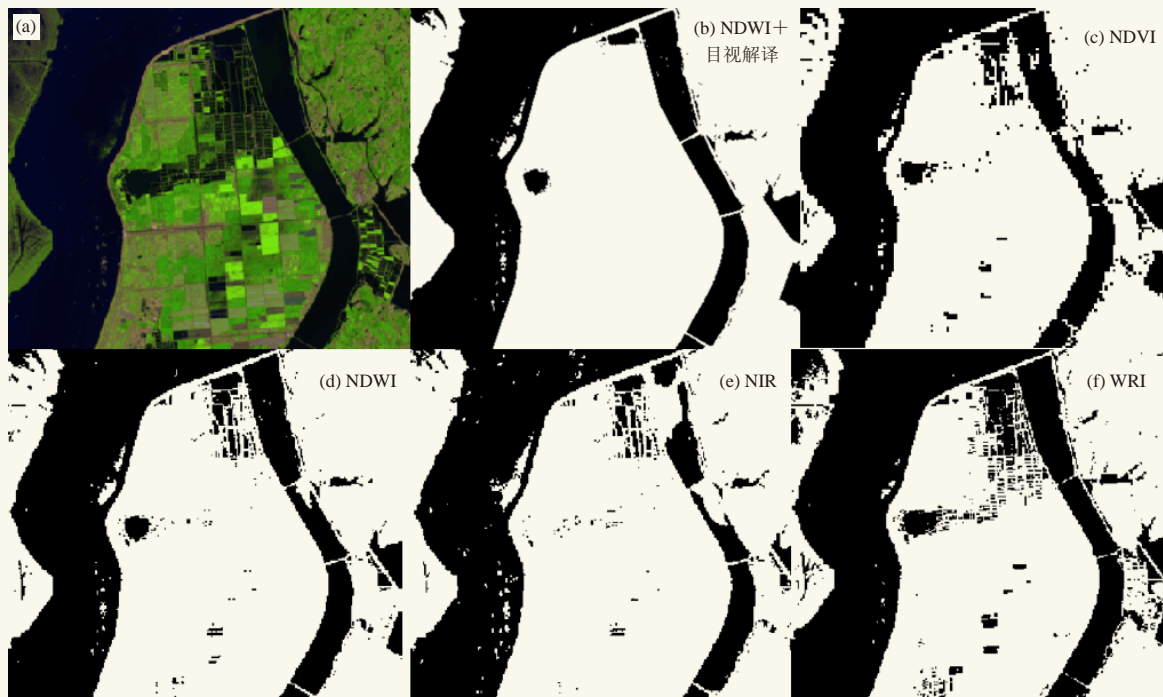


图2 不同方法提取的洞庭湖水体局部对比
Fig. 2 Local comparison of DDongting Lake extracted by different methods

响很大。在丰水期湖体丰满、接联成片，在枯水期湖体枯瘦、似断似联，这种变化与洞庭湖区域汛期和非汛期时间变化相吻合。丰水期正直洞庭湖区域雨季，全年80%以上降水集中于该时期，其次洒水及长江上游来水也多集中于该时期；枯水期恰逢湖区的非汛期，降水量减少，三峡大坝此时也处于蓄水期，导致上游来水减少，使得湖泊面积减小，因此也造就了洞庭湖“洪水一大片，枯水几条线”的奇异景象。

3.2 年际湖泊面积变化

研究^[7]表明，洞庭湖枯水期水体面积较稳定，丰水期水体面积年际变化比较明显。因此，选取1994—2017年丰水期的Landsat影像分析洞庭湖水体面积年际变化。本文提取的洞庭湖水体仅为东洞庭湖、南洞庭湖和西洞庭湖和南湖部分水体。结果显示（图4和表2）：洞庭湖水体面积在1996年最大（2438 km²），其次是1998年（2285 km²）、2016年（2025 km²）。

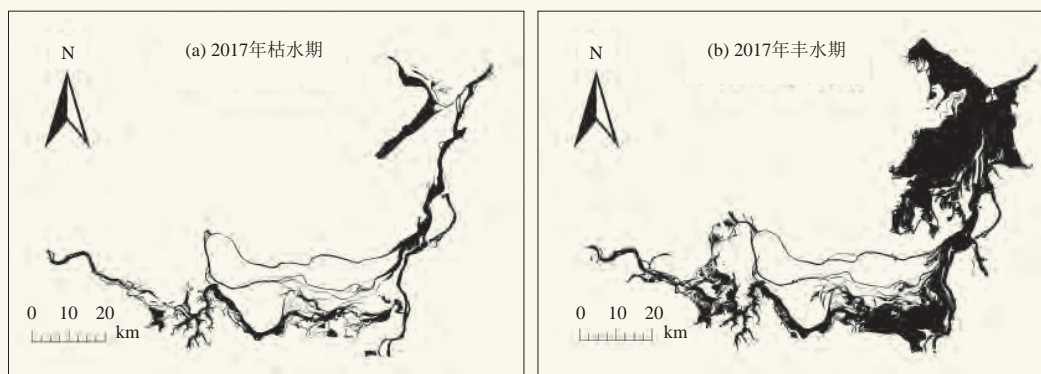


图3 2017年洞庭湖枯水期 (a) 和丰水期 (b) 水体面积对比

Fig. 3 Comparison of water area in Dongting Lake during between the dry season (a) and the wet season (b) in 2017



图4 1994—2017年洞庭湖面积年际变化

Fig. 4 Area changes of Dongting Lake from 1994 to 2017

表2 不同遥感影像提取的洞庭湖水体面积对比 (单位: km²)
Table 2 Comparisons of Dongting Lake area extracted by different remote sensing images (unit: km²)

卫星	面积	1994	1995	1996	1998	2000	2006	2007	2011	2013	2014	2016	2017
风云卫星	面积最大值	1513	1978	3024	2375	1838	1360	1635	1406	1518	1929	2262	2229
	面积最小值	470	437	491	470	442	272	417	443	520	609	445	602
MODIS	面积最大值					1859	1468	1530					
	面积最小值					1366	242	657					
Landsat	面积	1501	1990	2438	2285	1832	1342	1630	1217	1054	1590	2025	1920

洞庭湖水体面积最小的3年均是在2000年后, 分别是2013年(1054 km²)、2011年(1217 km²)和2006年(1342 km²)。

为验证利用NDWI加目视解译法提取Landsat影像中洞庭湖水体面积的可信度, 本研究对比分析了以往利用不同遥感影像提取洞庭湖面积^[12]与本文的差别, 对比结果如表2所示, 可以发现, 本文提取的洞庭湖水体面积除1995年超过风云卫星提取的水体面积最大值外, 其他年份提取的水体面积均在年最大面积和年最小面积范围之内, 说明利用NDWI加目视解译提取Landsat中洞庭湖水体面积方法较为可靠。

3.3 年代际湖泊面积变化

表3给出了不同时期洞庭湖湖泊面积变化趋势, 其中, 20世纪90年代的面积变化基于1998年与1994年的差值; 21世纪00年代的基于21世纪00年代与20世纪90年代的差值; 2010年以来与21世纪00年代的算法相同。20世纪90年代平均扩展面积为20世纪90年代面积变化值的平均值, 参与计算的年份为1994、1995、1996和1998年; 21世纪00年代与2010年以来的算法相同, 其中21世纪00年代参与计算的年份为2000、2006和2007年, 2010年以来参与计算的年份为2011、2013、2014、2016和2017年。由表3可知, 1994—2017年, 洞庭湖经历了扩张—萎缩的变化过程。20世纪90年代洞庭湖呈扩张趋势, 2000年以后, 湖面呈萎缩趋势, 21世纪00年代相较20世纪90年代湖泊面积缩小452 km², 2010年以来洞庭湖湖泊面积缩小40 km²。

表3 不同时期洞庭湖湖泊面积变化趋势

Table 3 Trend in Dongting Lake area between different periods

年代	湖泊面积/km ²	面积变化/km ²	平均扩展面积/km ²	分析结果
20世纪90年代	2054	784	196	扩张
21世纪00年代	1601	-52	-150	萎缩
2010年以来	1561	-40	-8	萎缩

4 结论

利用5种不同水体提取方法, 对Landsat影像中的洞庭湖面积进行了提取, 分析了不同方法的优劣, 并选择NDWI加目视解译的方式对1994—2017年间洞庭

湖水体面积进行提取。结果表明:

1) 单一的提取水体的方法在提取Landsat影像中的洞庭湖水体时均存在较大的误差, 选用NDVI结合目视解译的提取方法能较准确地从复杂地物中识别出水体。

2) 洞庭湖水体面积年内变化明显, 2017年洞庭湖丰水期与枯水期面积相差1313 km²。在丰水期湖体丰满、接联成片, 在枯水期湖体枯瘦、似断似联。

3) 洞庭湖水体面积在1996年最大(2438 km²), 其次是1998年(2285 km²), 2016年(2025 km²)位列第三。洞庭湖水体面积最小的3年均是在2000年后, 分别是2013年(1054 km²)、2011年(1217 km²)和2006年(1342 km²)。

4) 1994—2017年洞庭湖湖体经历了扩张—萎缩的变化过程, 20世纪90年代洞庭湖呈扩张趋势, 2000年以后, 湖面呈萎缩趋势, 21世纪00年代相较20世纪90年代湖泊面积缩小452 km², 2010年以来相较21世纪00年代洞庭湖湖泊面积缩小40 km²。

参考文献

- [1] 邓帆. 基于遥感技术的洞庭湖淹没频率和湿地植被关系研究. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [2] 梁丁丁. 1975—2010青藏高原湖泊面积变化及对气候变化的响应. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [3] 阎利, 张延斌, 易桂花. 2000年以来青藏关于湖泊面积变化与气候要素的响应关系. 湖泊科学, 2019, 31(2): 573-589.
- [4] 徐浩杰, 杨太保. 1981—2010年柴达木盆地气候要素变化特征及湖泊和植被响应. 地理科学进展, 2013, 32(6): 868-879.
- [5] 中国水利百科全书第二版编辑委员会. 中国水利百科全书. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [6] 崔亮, 李永平, 黄国和, 等. 基于Landsat-TM影像的洞庭湖水动态变化. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1): 63-66.
- [7] 田伟国, 彭嘉栋, 沈军等. 基于MODIS影像序列的三峡截流前后洞庭湖面积变化序列分析. 安徽农业科学, 2012, 40(16): 9141-9145.
- [8] 王慧, 谢小魁, 米胜渊. 基于遥感的洞庭湖面积变化及其影响研究. 农业网络信息, 2017, (1): 90-95.
- [9] 张猛, 曾永年. 基于多时相Landsat数据融合的洞庭湖区水稻面积提取. 农业工程学报, 2015, 31(13): 178-185.
- [10] 周成虎, 骆剑承. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 2003.
- [11] Gautam V K, Gaurav P K, Murugan P, et al. Assessment of surface water dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and K-T transformation. Aquatic Procedia, 2015, 4: 739-746.
- [12] 梁婕, 蔡青, 郭生练, 等. 基于MODIS的洞庭湖湿地面积对水文的响应. 生态学报, 2012, 32(21): 6628-6635.