

基于 SPOT - VGT 数据的洞庭湖 水体面积变化分析

雷璇^{1,2}, 杨一鹏³, 蒋卫国^{1,2}, 袁丽华^{1,2}, 孔凡明^{1,2}

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学
环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094)

摘要: 监测洞庭湖水体变化、全面了解其变化规律和演化趋势对于湖区治理和防洪减灾具有重要的现实意义。本文基于 SPOT - VGT NDVI 数据, 采用动态阈值法提取了洞庭湖 1998 - 2010 年间逐旬水体信息, 并结合历史数据分析了水体面积变化特征。主要结论如下: ①动态阈值方法在长时间序列、大数据量的遥感信息提取中具有显著优越性。②洞庭湖水体面积在年内呈现明显季节性变化; 在年际呈缩减趋势(丰水期); 1825 - 2010 年水体缩减呈现四个阶段, 当前处于新一轮的锐减期。③基于累积降雨量数据建立的水面积预测经验模型, 精度较为理想。

关键词: 水体面积变化; 遥感; SPOT - VGT; 洞庭湖

中图分类号: K928.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)05-0019-05

Analysis of the variation of water area in Dongting lake based on SPOT - VGT data

LEI Xuan^{1,2}, YANG Yipeng³, JIANG Weiguo^{1,2}, YUAN Lihua^{1,2}, KONG Fanning^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Earth Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
3. Application Center for Satellite Environmental Monitoring of Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China)

Abstract: Monitoring the changes of Dongting Lake water, as well as making a comprehensive understanding of the evolution rule has important practical significance for the lake district management, flood control and disaster alleviation. Based on SPOT - VGT NDVI data, adopting dynamic threshold method, this paper extracted every ten - day's water information from 1998 to 2010. Combined with historical data, the analysis on the variation characteristics of water area was done. Main conclusions are as follows: ①For long time series and large amount of remote sensing data, the dynamic threshold method shows significant advantages in information extraction. ②The water area in Dongting Lake presents obvious seasonal change in years and a interannual reduced trend (in rain season). From 1825 to 2010, the water reduction could be divided into four stages, and currently Dongting Lake is in a new round of sharply shrinking period. ③The water area prediction model that is established based on cumulative rainfall data gives satisfactory prediction accuracy.

Key words: water area variations; remote sensing; SPOT - VGT; Dongting lake

1 研究背景

洞庭湖是我国第二大淡水湖, 跨湖南、湖北两省, 与长江干流直接相连, 吐纳松滋、太平、藕池三口, 湘、资、沅、澧四水及湖区周边中、小河流的来水。该湖的存在和稳定, 对于缓解长江中游地区洪涝灾害, 减小

长江干流的冲淤变迁, 维系地区的洪水蓄泄和泥沙的冲淤平衡, 具有不可替代的作用^[1]。湖泊水面作为重要的水情信息, 加强其动态监测对于全面了解洞庭湖的变化规律和演化趋势具有重要的意义。

由于遥感技术能够突破传统地面观察的局限性, 获取大面积、宏观的地物辐射信息, 因此在湖泊

收稿日期: 2012-06-29; 修回日期: 2012-07-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171318、40701172); 中央高校基本科研业务费专项资金; 林业公益项目(201204201); 环保公益项目(200909018、2011467026)联合资助

作者简介: 雷璇(1988-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事生态遥感监测与环境影响评价。

通讯作者: 杨一鹏(1974-), 男, 甘肃天水市人, 高级工程师, 主要从事环境遥感研究工作。

$$M_{NDVI,i} = \max_{j=1}^3 I_{NDVI,i,j} \quad (1)$$

其中: $M_{NDVI,i}$ 表示第 i 月份的最大旬数值, $I_{NDVI,i,j}$ 指第 i 月第 j 旬的 $NDVI$ 值。最终计算得到 1998 - 2010 年 147 幅逐月最大合成 $NDVI$ 数据。

3.2 动态阈值法

天然水体在 014 ~ 215nm 电磁波范围内的吸收明显高于大多数其他地物,因而其反射率在整个波段都很低,可见光范围大都在 3% 左右,在彩色遥感影像上表现为暗色调;在红外波段,水体吸收的能量高于可见光波段,几乎能全部吸收近红外及中红外波段内的入射能量。所以水体在近红外及中红外波段的反射能量很少,而植被、土壤在这两个波段内的吸收能量较小,且有较高的反射特性,这使得水体在这两个波段上与植被和土壤有明显的区别。反映在影像上,水体呈现出暗色调,而土壤植被则相对较亮。故而近红外波段对于判别水陆边界和陆地植被最为有效^[11]。因此归一化植被指数 $NDVI$ (Normalized Difference Vegetation Index) 提取水体具有可行性。当前已有不少研究应用 MODIS $NDVI$ 产品进行了水体信息的提取,引言部分已例举,在此不做赘述。由于 $NDVI$ 产品的单波段灰度影像的特殊性,目前的提取方法主要是阈值法。

马明国^[12]在用 250m 分辨率的 Terra/MODIS $NDVI$ 数据识别水体信息时采用分别选取不同图像,不同湖泊像元作为感兴趣区域,分析感兴趣区域内像元的直方图、像元最大值、均值和最小值,得出湖泊像元 $NDVI$ 的最大值,从而确定水体和陆地的 $NDVI$ 阈值。提取水体信息,计算水体面积。由于植被生长变化等原因,不同时期区域的 $NDVI$ 值差异较大,对于湖水同样存在水生植物枯荣带来的水体 $NDVI$ 值大幅变化的情况,因此使用唯一阈值提取年时间序列的水体信息可行性较差。龚伟等^[13]使用同样的数据源在不同的季节选取不同的阈值提取了 2000 - 2007 年洞庭湖水体信息,解决了 $NDVI$

值随季节变化的问题。该方法对于年内时间序列的水体信息提取效果较理想,但对于以年为单位的长时间序列的研究而言,由于区域生态环境的演变,即便是同一区域同一时期在不同年份的 $NDVI$ 值也会发生变化,因此用固定阈值识别会降低提取精度。

为解决水体 $NDVI$ 值随季节、年份变化的问题,在上述方法的基础上,本文尝试了动态阈值法:使用枯水期影像来选取湖泊感兴趣区,分析感兴趣区内像元直方图,根据统计学原理,对于每幅数据使用如下阈值进行水体识别:

$$x - s \leq X \leq x + s \quad (2)$$

其中: x 为统计的像元均值, s 为统计像元标准差。应用 IDL 语言编程实现对水体的动态阈值识别,最终得到 147 幅水体提取结果。

观察提取结果发现:大部分影像提取效果理想,冬季(12月-2月)出现部分地物错提为水体的情况,这主要是由于冬季植被枯萎,水体与周边部分地物 $NDVI$ 值相近造成。针对这种情况,本文以该时间序列内最大水体范围(1998年9月)作为掩膜,去除所有冬季提取结果中错归的地物信息。

4 结果与分析

4.1 水体提取结果

从提取的水体范围(图2,以每年7月份为例)可以直观看出,1998 - 2000年7月水体范围较大,2001 - 2010年7月水体范围基本保持稳定,但仍呈现出缩小趋势。统计1998 - 2010年各月水体面积可发现:1998年水体面积变化幅度最大,9月水体面积达到研究时间段内的最大值,约为4 130 km²,这主要与2008年特大洪水有关;2001和2006年年内水体面积最小;在2008年2月洞庭湖水体面积为近年来最小值,约为904 km²。统计全年平均水体面积(表1)可知,洞庭湖年平均水体面积呈现逐年缩减的趋势。

表1 1998 - 2009 年均水体面积统计表

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
平均面积	3375	3073	2298	1799	2466	2350	2168	2084	1673	2099	2032	1803

km²

4.2 水体变化分析

(1)年内变化分析。以2007年为例(图3),分析洞庭湖水体面积年内的逐月变化可知,洞庭湖水体面积变化主要分为两个阶段:11 - 5月水体范围

较小,6 - 10月较大;其中11月达到最小,约为1 221 km²,8月达到最大,约为9月最大,为2 414 km²,两者相差将近1 200 km²。这也反映出洞庭湖在洪水期东、西、南洞庭湖连成一片汪洋,枯水期仅存几条

带状水域的季节性变化特征。这主要是受该地区季节性降雨的年内分布规律以及长江主汛期影响:湖南降水多集中于每年的4-6月,湘、资两水主汛期在5-6月,沅、澧两水主汛期在5月下旬-7月上旬,故洞庭湖水体面积在6月出现第一个峰值。

长江的主汛期在每年的7月上旬至9月上旬,而湖水面积在8月底或9月达到全年最大峰,由此可以看出,长江主汛期对洞庭湖水体变化具有显著影响。同时也反映出洞庭湖对长江中上游洪水巨大的消峰蓄洪功能。

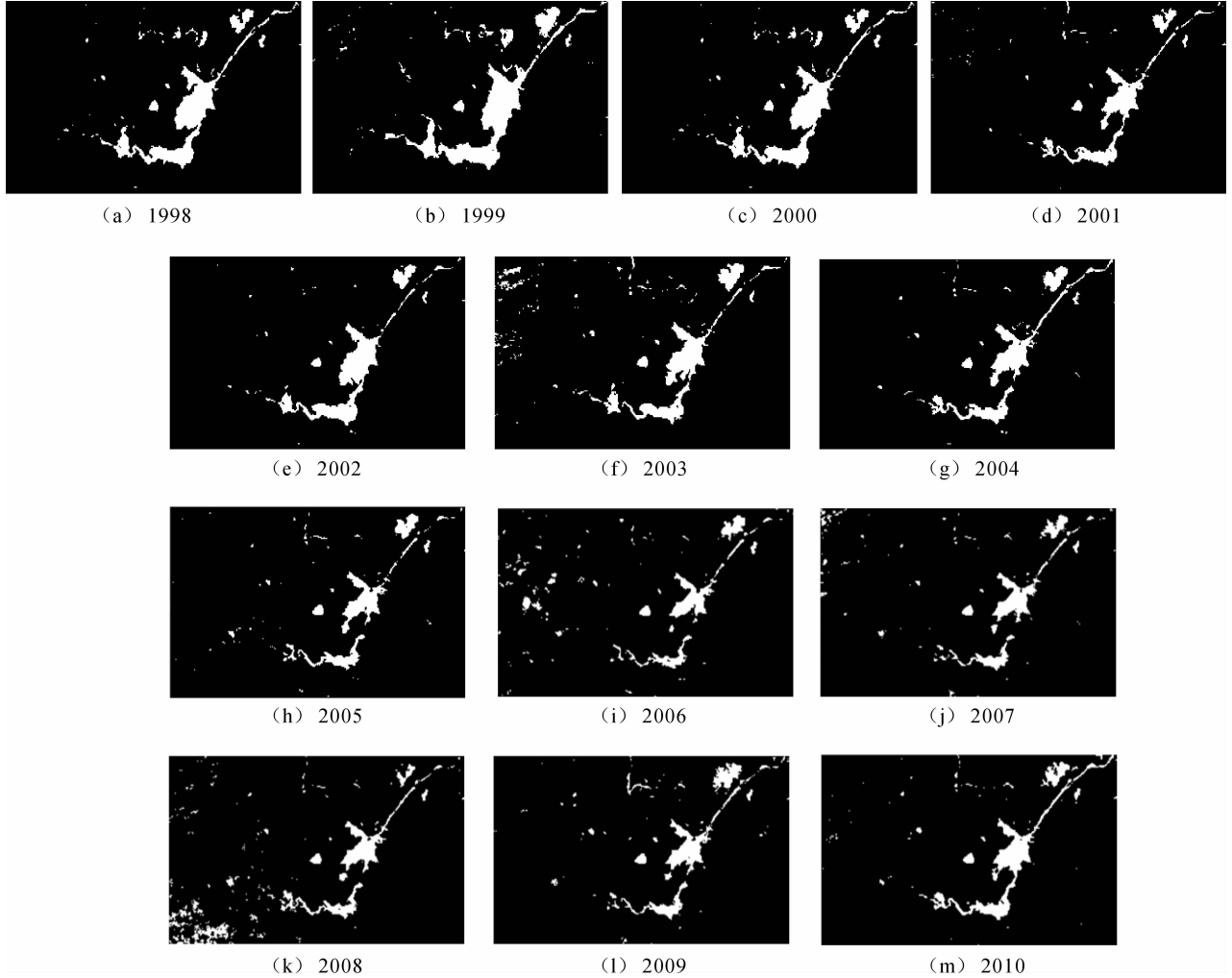


图2 1998-2010 每年7月水体提取结果图

(2) 年际变化分析。统计1998-2010年间洞庭湖丰水期(8-10月)水体平均淹没面积,拟合丰水期水体面积变化趋势(图4(a)),并根据洞庭湖平均水深(6.39m)^[14]估算洞庭湖容积的年际变化情况(图4(b)):丰水期水体最大面积出现在1998年,约为3375 km²,最小面积出现在2006年,约为1673 km²,这主要是由于2006年长江流域上游大旱以及三峡在9月20日开始阶段性蓄水从而导致长江如何水量大幅度减少造成,据统计2006年4-9月,三口入湖径流量平均值较之往年偏少74.7%^[15];1998-2001年间水体面积变化明显,年

均缩减525.3 km²,变化率为15.5%,这主要是受1998年大洪水影响,2002年后变化较为缓慢,根据面积随年份变化的趋势曲线可知近年来洞庭湖水体呈现明显的缩减趋势(图4中:2010年spot数据只到7月,故用该值代替平均值)。

(3) 历史变化分析。结合历史数据,统计近200年来水体的变化情况可知,洞庭湖水体变化大致可分为4个阶段(图5,1825-1995年数据根据《应用Terra/MODIS卫星数据估算洞庭湖蓄水量变化》^[7]整理得到,相应城陵矶水位为31.5 m)。

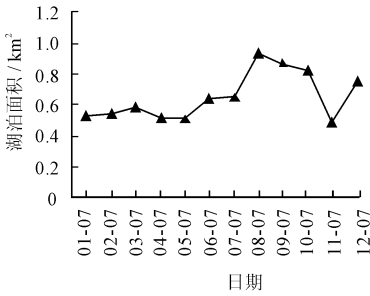


图 3 年内水面积月变化(以 2007 年为例)

1825 - 1949 年,水体年间变化率较小,呈缓慢缩减趋势,这一时期人为干预的并不明显,湖泊的缩减主要是由于泥沙淤积造成;1949 - 1958 年,水体迅速缩减,10 年间面积和容积缩减了约 1/4,这主要是人工围垦所造成,洞庭湖围湖造田始于 1949 年,20 世纪 50 年代达到高峰,并一直延续到 60 年代初;1958 - 2002 年,湖泊缩减速率有所下降,其主要原因是 60 年代以来人工围垦得以控制,80 年代以来基本上停止了人工围垦,在 1998 长江流域特大洪水过后,“退湖还田”政策的颁布,使得洞庭湖水域和生态环境得到了一定程度的恢复;2002 - 2010 年,湖泊缩减速率开始回升,这主要是由于近年来气候变化造成流域内降雨量减少,同时每年 9、10 月三峡汛末蓄水,在两者共同作用下入湖水量锐减,从而造成湖泊范围加剧缩减。总体而言,近 200 年间,在自然和人为驱动因子的作用下,洞庭湖水体面积和

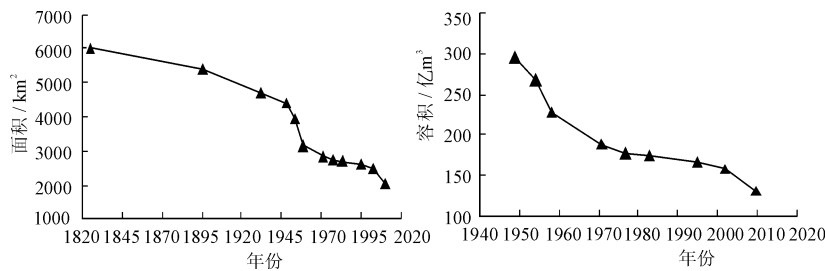
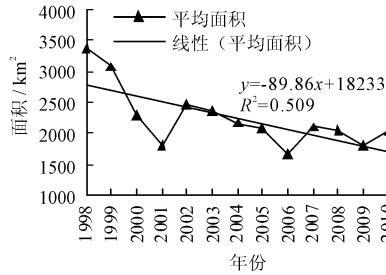


图 5 1825 - 2010 年洞庭湖水体面积及容积变化

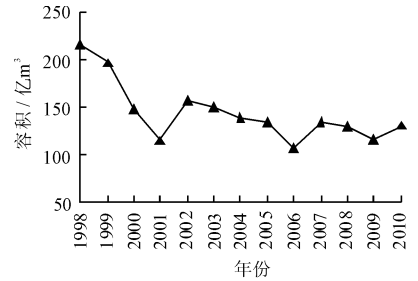
应用随机抽取的 13 组累积降雨量 - 水体面积真实值数据对降雨量 - 水体面积预测模型精度进行验证(表 2):最大误差约为 15% (2003 年 7 月),平均误差为 9.1%,预测误差的标准差为 4.655,预测精度较为理想。

5 结论与讨论

本文以洞庭湖为研究区,应用 1998 - 2010 年 SPOT - VGT NDVI 数据提取水体信息,并结合提取结果对洞庭湖水体月变化、年际变化、历史变化等进行了分析。主要结论如下:



(a) 水体面积变化趋势



(b) 容积年际变化

图 4 洞庭湖 1998 - 2010 年际丰水期(7 - 9 月)水体变化

容积不断缩减,对洪水的调蓄能力不断下降。

4.3 与降雨量的相关性分析

已有研究表明洞庭湖水体面积与流域降雨量有较大的相关性:夏半年与前期 1 个月以上面雨量,以及冬半年水体面积与前期 4 个月以上面雨量的相关性较大,且比较稳定^[21]。本文在此研究成果基础上应用 1998 - 2010 年夏半年(4 - 10 月)洞庭湖流域面的累积降雨量数据和对应时期的水体面积数据进行统计分析,进一步研究二者的关系,建立降雨量 - 水体面积预测模型:

$$y = 1089.440e^{0.001x}$$

$$R^2 = 0.558 \quad F = 102.872 \quad (3)$$

其中: x 为自 4 月 1 日起的流域面积累积降雨量; y 为对应时间的水体面积预测值; R^2 为模型拟合优度; F 为回归方程的显著性值。

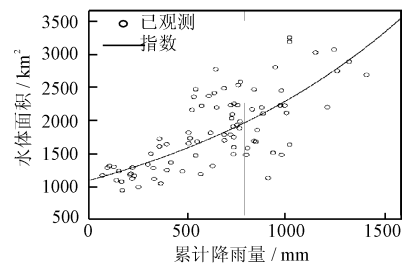


图 6 水体面积与流域累积降雨量回归曲线

(1) 将 SPOT - VGT NDVI 数据应用于水面变化动态监测具有可行性;针对灰度影像,在进行长时间序列、大数据量的水体识别时,动态阈值自动提取的方法较固定阈值法提取精度更高、速度更快,体现了较高的优越性。

(2) 就年内变化而言,洞庭湖水体呈现明显季节性变化;就年际变化而言,1998 - 2001 年间湖泊缩减明显,2002 年后变化减缓,整体仍呈现缩减趋势;就历史变化而言,1825 - 2010 年间洞庭湖水体不断缩减,根据缩减速率可将湖泊变化划分为四个阶段,目前洞庭湖处于新一轮的锐减阶段。

表2 模型精度检验结果 mm, km², %

时间	累积 降雨量	水面积 预测值	水面积 真实值	误差
1998-04	139.6	1203.0	1093	10.06
1998-08	1015.8	3033.3	3189	4.88
1999-07	1015.8	3033.3	3257	6.87
1999-08	1241.8	3502.5	3073	13.98
2000-06	541.5	1587.8	1468	8.16
2000-09	875.2	2435.5	2194	11.01
2001-07	723.8	2265.2	2033	11.42
2002-06	736.1	2293.3	2252	1.83
2003-04	104.6	1219.5	1308	6.76
2003-07	607.6	2016.8	2370	14.90
2004-05	395.6	1431.4	1245	14.97
2005-04	69.4	1177.3	1166	0.97
2008-05	230.0	1302.5	1160	12.29

(3) 流域面雨量的减少是洞庭湖湖体缩减的直接及主要的自然原因。据此, 基于 1998 - 2010 年 4 - 10 月洞庭湖流域面累积降雨量数据和对应时期水体面积数据, 建立洞庭湖水体面积预测的经验模型, 经实际数据验证模型精度较为理想, 具有一定现实意义。

致谢: 感谢中国气象局国家气象信息中心提供降雨量数据。

参考文献:

- [1] 李景刚, 李纪人, 黄诗峰, 等. Terra/MODIS 时间序列数据在湖泊水域面积动态监测中的应用研究——以洞庭湖地区为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(5): 923 - 933.
- [2] 雷声, 张秀平, 许新发. 利用遥感技术动态监测分析鄱阳湖水体面积及容积[J]. 水利科技, 2010, (4): 24 - 25.
- [3] 彭定志, 徐高洪, 胡彩虹, 等. 基于 MODIS 的洞庭湖面积变化对洪水位的影响[J]. 人民长江, 2004, 35(4): 14 - 16.
- [4] 丁莉东, 吴昊, 王长健, 等. MODIS 图像湖泊水体信息的

快速识别与制图[J]. 海洋测绘, 2006, 26(6): 31 - 34.

- [5] 吴赛, 张秋文. 基于 MODIS 遥感数据的水体提取方法及模型研究[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(7): 1 - 4.
- [6] 龟山哲, 张继群, 王勤学, 等. 应用 Terra/MODIS 卫星数据估算洞庭湖蓄水量的变化[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 88 - 94.
- [7] Fei Xiao, Feng Ling, Yun Du, et al. Digital Extraction of Altitudinal Belt Spectra in the West Kunlun Mountains Using SPOT - VGT NDVI and SRTM DEM[J]. Journal of Mountain Science, 2010, 7(2): 133 - 145.
- [8] 于树梅, 刘景时, 袁金国. 基于 SPOT - VGT NDVI 的西藏羊卓雍错流域地表覆被变化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(6): 1570 - 1574.
- [9] Ineda N, Jorba O, PINEDA O, et al. Using NOAA AVHRR and SPOT VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(1): 129 - 143.
- [10] 辜智慧. 中国农作物复种指数的遥感估算方法研究——基于 SPOT/VGT 多时相 NDVI 遥感数据[D]. 北京: 北京师范大学, 2003.
- [11] Ramsey EW. Monitoring flooding in coastal wetlands by using radar imagery and ground - based measurements[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(13): 2495 - 2502.
- [12] 马明国, 宋怡, 王雪梅. 1973 - 2006 年新疆若羌湖泊群遥感动态监测研究[J]. 冰川冻土, 2008, 30(02): 189 - 195.
- [13] 龚伟, 杨大文, 钱群. 基于 MODIS 数据的洞庭湖水面积估算方法[J]. 人民长江, 2009, 40(14): 40 - 43.
- [14] 李娇. 洞庭湖湿地生态系统价值评估[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 2010.
- [15] 李景保, 常疆, 吕殿青, 等. 三峡水库调度运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1342 - 1352.