

许超, 蒋卫国, 万立冬, 等. 基于 MODIS 时间序列数据的洞庭湖区洪水淹没频率研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 96 - 101. [Xu chao, Jiang Weiguo, Wan Lidong, et al. Research of Flood Submerged Frequency in Dongting Lake Region Based on Time Series Dataset of MODIS[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 96 - 101.]

基于 MODIS 时间序列数据的洞庭湖区 洪水淹没频率研究*

许超^{1,2}, 蒋卫国¹, 万立冬³, 王文杰², 白雪⁴

(1. 北京师范大学 减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012;
3. 北京市石景山区环境监测站, 北京 100043; 4. 环境保护部机关服务中心, 北京 100035)

摘要: 选用 Terra-MODIS 卫星的 8 d 合成地表反射率数据(MOD09Q1)和 16 d 合成 NDVI 数据(MOD13Q1), 构建了 2000 - 2015 年的时间序列数据集, 结合 1: 5 万数字高程数据, 通过遥感信息提取方法对洞庭湖区 2000 - 2015 年水体淹没情况进行了研究, 形成 169 期水体分布数据, 并进行了洞庭湖区淹没频率的计算和变化分析。结果表明: ①利用遥感技术和 python 语言实现长时间序列影像数据信息提取是可行的; ②洞庭湖区水体呈明显季节性变化, 6 - 9 月面积较大, 12 月 - 次年 4 月面积较小, 近 15 年来水体面积总体呈减小趋势; ③洞庭湖区约 76.4% 的区域是永久水面或永久陆地, 其余 23.6% 的区域是水陆交替区, 是洪水防控的重点区域; ④近 15 年来洞庭湖区水陆交替区域年内水面消退时间提前, 滩地出露天数增加, 枯水期水量减少明显。

关键词: Terra - MODIS 数据; 洞庭湖区; 水域; 面积变化; 淹没频率

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 - 811X(2016)01 - 0096 - 06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.020

洪水灾害是影响人类生存和发展的最主要、最严重的自然灾害之一, 而中国是洪水灾害发生最频繁的国家之一, 从 1970 - 2005 年共发生 127 次水灾, 每年经济损失占国民生产总值的 1% ~ 2%, 占全国主要自然灾害总损失的 30% 以上^[1], 70% 以上的大城市、半数以上的人口和 75% 以上的工农业产值分布在洪水威胁地区^[2]。长江流域是我国第一大流域, 是洪水灾害最严重的地区, 仅 20 世纪以来就先后爆发了 1931 年、1935 年、1954 年和 1998 年等几次特大洪水灾害, 对长江中下游地区造成了严重的经济和社会损失。

湖泊是流域内重要的天然水利资源, 具有供水、灌溉、调节气候等多种重要功能, 同时在洪水调蓄、防洪滞洪方面发挥着重要作用, 湖泊水体的分布特征和变化规律直接影响着洪水灾害的加剧和减缓。在气候变化、人类活动等多重因素影响下, 湖泊水体的分布特征和变化规律发生着明显变化, 从而导致了洪水灾害风险的变化。淹没频率是反映某一位置被水体淹没时间长短的重要指标, 淹没频率的变化能够直接体现该位置被

水体淹没时间长短的变化, 综合分析研究区内每个位置的淹没频率和变化规律, 就可以获取研究区湖泊水体分布特征和变化规律, 因此加强对湖泊水体的长时间、高频次的监测, 分析区域淹没频率及其变化, 对洪水灾害风险研究和防灾减灾具有重要意义。

随着遥感技术的快速发展, 遥感技术在湖泊水体监测中得到广泛应用, 由于水体几乎可以全部吸收近红外和中红外波段的能量, 而土壤、植被等对这两个波段能量的吸收非常少, 因此水体反射率很小, 植被和土壤反射率很高, 目前通过遥感技术提取水体大多都是基于这个特性实现的, 通常有两种方法: ①单波段阈值法, 通过设定阈值提取水体^[3-5]; ②水体指数法, 通过差值、比值等方式构建指数, 增大水体与其他地表辐射的差异, 从而提取水体, 主要的指数有归一化植被指数(NDVI)、归一化差异水体指数(NDWI)、改进的归一化差异水体指数(MNDWI)、混合水体指数(CIWI)、开放水体似然性指数(OWL)等^[6-17], 其中归一化植被指数(NDVI)应用的最为广泛。

* 收稿日期: 2015 - 06 - 17 修回日期: 2015 - 08 - 03

基金项目: 国家自然科学基金(41171318); 中央高校基本科研业务费专项资金; 国家重大科技专项(2014ZX07503 - 004 - 05)

作者简介: 许超(1985 -), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事生态遥感监测和洪水灾害风险研究。

E-mail: 201321480055@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 蒋卫国(1976 -), 男, 湖南衡阳人, 博士, 副教授, 主要从事遥感信息识别和洪水灾害与湿地生态研究。

E-mail: Jiangweiguo@bnu.edu.cn

对湖泊水体的遥感监测,一方面要求具有较高的空间分辨率,以便能够开展水体的遥感识别,另一方面要求具有较高的时间分辨率,以便获取较高频次的水体数据用于分析湖泊水体变化特征,在众多卫星传感器中,MODIS 具有 250 m 的最大空间分辨率,能够满足中大型湖泊水体遥感识别要求,每 1~2 d 可获取一次全球观测数据,时间分辨率较高,能够满足多频次的监测需求,同时其数据成本低廉,社会公开度高,是湖泊水体监测较为理想的数据源。

洞庭湖是我国第二大淡水湖,是长江中下游仅存的两个通江湖泊之一,也是历史上多次大型洪水灾害的主要受灾区域,洞庭湖南接湘江、资江、澧水、沅江四水,北通长江,承担着调蓄长江和湖南四水的重要任务,是长江流域极为重要的调蓄滞洪区^[18]。本文以洞庭湖区(3 地 19 县区)为研究区,基于 Terra-MODIS 数据,利用遥感技术提取 2000-2015 年洞庭湖区洪水淹没范围的时间序列数据,分析区域水体淹没频率和变化特征,为该地区洪水风险管理、防洪减灾提供参考。

1 研究区和数据

洞庭湖位于湖南省北部,长江南岸,洞庭湖区主要涉及岳阳、益阳、常德 3 个地市,包括岳阳市的云溪区、岳阳楼区、君山区、岳阳县、临湘县、华容县、汨罗市和湘阴县,益阳市的资阳区、赫山区、沅江市和南县,常德市的武陵区、鼎城区、汉寿县、安乡县、津市市、临澧县和澧县,区域面积 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该地区属热带季风湿润气候区,年均气温 17°C ,年均降水约 1 300 mm,地形中心低四周高,东南西三面环山,最高海拔约 1 258 m。

本文所使用的数据主要有 3 类:①遥感影像数据,选用的 Terra_MODIS 卫星遥感数据主要有两种,一是 16 d 合成的 250 m 分辨率 NDVI 数据(MOD13Q1),时相为 2000 年 2 月-2015 年 3 月,共计 348 幅,另一种是 8 d 合成的 250 m 分辨率地表反射数据(MOD09Q1),时相为 2000 年 2 月-2015 年 3 月,共计 695 幅,这些数据来源于美国航空航天局(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/>);②行政区划数据,选取岳阳市、益阳市、常德市的 19 个县级行政区作为研究区,行政区划数据来源于国土资源部第二次全国土地调查数据;③数字高程数据,选用的数字高程数据是 1:5 万高精度数字高程数据(DEM),空间分辨率 25 m,来源于国家基础地理信息中心。

2 研究方法和技术路线

2.1 数据处理方法

在长时间序列数据中,不可避免地存在部分

质量较差、不能满足研究要求的数据,针对这种情况可以采用多期数据最值合成的方法对数据进行处理,降低数据质量影响^[19]。本文将每 2 期 NDVI 数据(MOD13Q1)作为一组,通过最大值合成法,形成 1 期 NDVI 数据;将每 4 期地表反射数据(MOD09Q1)作为 1 组,通过最小值合成法,形成 1 期地表反射数据。

2.2 水体提取方法

本文采用单波段阈值法和归一化植被指数(NDVI)法相结合的方法,设置以下 2 条规则用于水体提取,并将两条规则下提取的水体进行叠和,减少自动提取中的漏提现象。

(1)NDVI 值满足 1-4 月和 11-12 月的 $\text{NDVI} \leq 0.05$, 5-6 月及 10 月的 $\text{NDVI} \leq 0.1$, 7-9 月的 $\text{NDVI} \leq 0.15$, 则提取为水体。

通常情况下 NDVI 为正值的地表为植被,因此以 $\text{NDVI} \leq 0$ 为条件提取水体,但受到水生植物、土壤含水及泥沙等因素的影响,水体的 NDVI 值常常稍高于 0,杜涛等人通过反复测试并修改阈值,最终得到用 NDVI 提取水体的合理阈值,即 1-4 月和 11-12 月的 $\text{NDVI} \leq 0.05$, 5-6 月及 10 月的 $\text{NDVI} \leq 0.1$, 7-9 月的 $\text{NDVI} \leq 0.15$ ^[20]。

(2)地表反射数据(MOD09Q1)第二波段的值小于 1 000,则提取为水体。

水体在地表反射数据第二波段的近红外区(841~876 nm)反射率较低,而其他地物在该波段具有较高的反射率^[21],因此可以利用此特性区分水体与其他地物;通过多次变化阈值,并与同时期卫星影像进行目视对比,最终确定阈值为 1 000。

在以上基础上,为了消除云的影响,以 2 000 为阈值分别对地表反射数据的两个波段进行二值化,两个波段 DN 值均高于 2 000 的像元定义为云,进行剔除;另外为消除山体阴影影响,通过 1:5 万 DEM 数据生成坡度数据,将坡度大于 1° 的像元定义为山体阴影,予以剔除^[22]。

以上各步骤由于数据序列较长,均通过 python 语言编写批处理程序实现(图 1)。

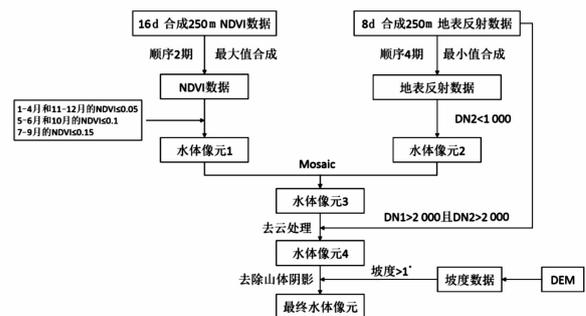


图 1 水体提取技术路线图

2.3 水体提取精度评定方法

选取美国陆地资源卫星影像数据,通过目视解译和监督分类方法对研究区陆地与水体进行区

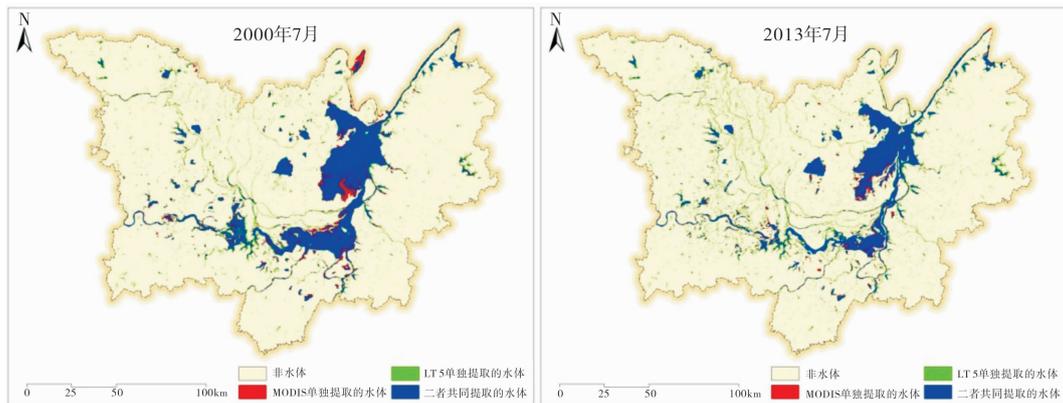


图2 水体提取精度检验对比图

分,并以此为准确的水陆划分结果,通过二者水体提取的总面积、重叠面积等数据的叠加对比,分析基于 MODIS 的水体提取结果的精度。

2.4 淹没频率计算方法

淹没频率是指在整个研究期限内,某一位置被洪水淹没的时间与研究总时间的比值,原则上讲应该获取研究区每天的水体淹没空间分布数据,但受到数据时间分辨率、数据质量、天气状况等因素的影响,获取逐日数据非常困难。本文用每期水体淹没范围代替本期与下期数据之间几天的淹没范围,认为在固定的时间间隔内,其淹没范围均与前一时期水体淹没范围提取结果相同,并以此构建淹没频率的计算方法如下:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i \times T)}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: F (Frequency) 表示淹没频率; n 表示水体数据的期数; D_i (Distribute) 是第 i 期的水体分布数据; T (Time span) 是数据的时间间隔; N 是研究期限内总天数。

3 结果分析

3.1 水体提取结果

通过上述方法,共完成了水体提取数据 174 期,其中受数据本身质量影响,剔除 5 幅,最终获取水体分布数据 169 期。

3.1.1 精度分析

选取 2000 年 6 月底到 7 月初的 Landsat5 和 2013 年 6 月底到 7 月初的 landsat8 两期影像数据,通过人工目视解译结合监督分类的方法进行水体和陆地划分,并与对应时相 MODIS 提取的水体进行叠加对比分析;从叠加分析图上看,误差主要有两个方面:① MODIS 影像的空间分辨率为 250 m,远低于 Landsat 影像,大量面积较小、宽度较窄的河流水系在 MODIS 影像中很难被识别出来,出现了漏提的情况,我们认为这方面的差异是由数据本身特性决定的,因此不列入精度对比范畴内;②受空间分辨率及混合像元的影响,通

过 MODIS 提取水体的过程中将水陆交替区域的部分陆地错误的归入了水体(图 2)。

通过两种影像的水体提取面积对比,两期数据的提取精度分别为 85.0% 和 86.7% (表 1),考虑到 MODIS 数据的空间分辨率以及 Landsat 数据云量的影响,我们认为这样的精度是可以接受的。

表 1 水体提取精度计算表

年份	MODIS 提取水体面积/km ²	二者一致的水体面积/km ²	陆地面积/km ²	精度/%
2000	2 870.8	2 497.4	23 220.6	85.0
2013	2 194.5	1 936.8	23 896.9	86.7

3.1.2 水体演变特征

从年内变化上看,取 15 年中各月水体面积平均值,洞庭湖水体淹没面积总体呈波状演替,3-7 月为增长期,水体淹没面积迅速增加,7-9 月为丰水期,水体淹没面积最大,形成波峰;9 月-次年 3 月为减少期,水体淹没面积迅速减少,2-4 月为枯水期,水体淹没面积最小,形成波谷;3 月水体淹没面积最小,约为 1 380.4 km²,7 月最大,约为 2 444.8 km²,是 3 月均值的近 2 倍;一般年份湖南省 6-7 月降水量可达到汛期(4-9 月)降水量的 30%~40%,少数年份能达到 60%~70%^[23],因此 7 月容易形成淹没面积高值,长江主汛期一般在每年 7 月到 9 月上旬,因此 8 月底、9 月淹没面积也会达到高值,水体提取结果显示,丰水期 7 月面积最大,8 月稍有回落,9 月又有所增加,与汛期淹没面积规律一致(图 3、图 4)。

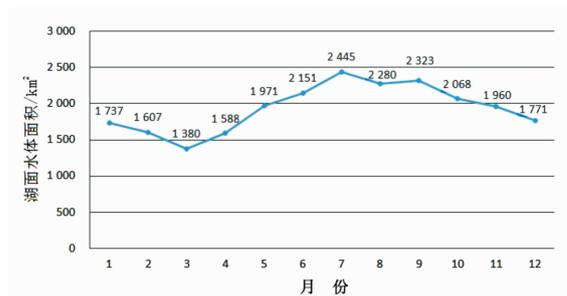


图3 平均水体面积年内变化特征图

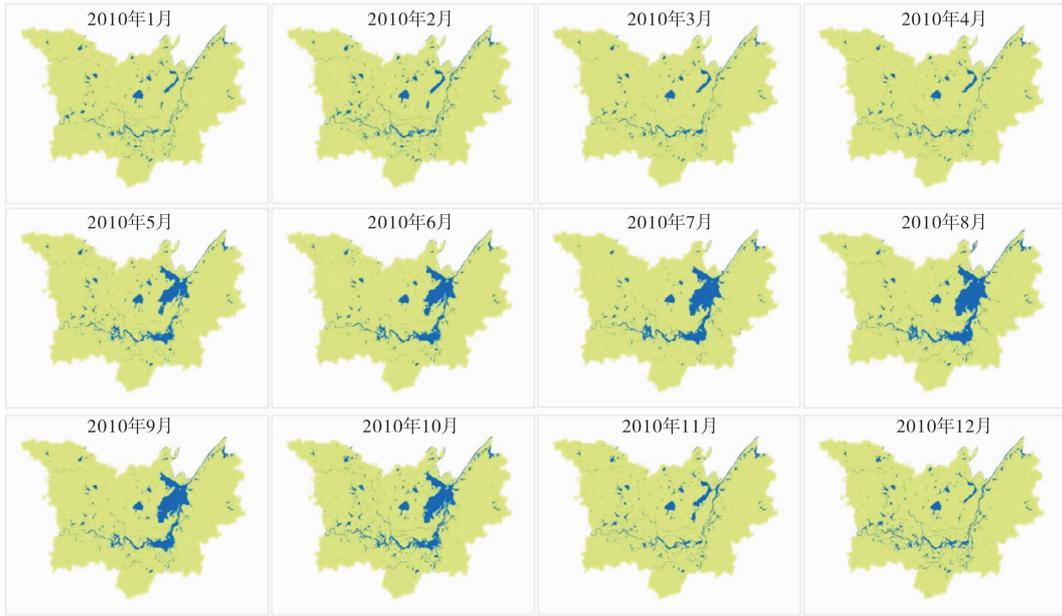


图 4 2010 年各月湖面水体面积变化图

从年际变化上看, 以三峡水库蓄水为时间节点, 对 2004 年前 (2000 - 2003 年) 和 2004 年后 (2004 - 2015 年) 的淹没面积进行比较发现:

(1) 月均淹没面积减少, 2004 年之前洞庭湖区月平均水体淹没面积约 2 133.6 km², 2004 年之后到 2015 年初, 月平均水体淹没面积约为 1 873.6 km², 减少了约 12.2% ;

(2) 丰水期淹没面积减少, 2004 年之前 5 - 9 月的淹没面积明显高于 2004 年之后, 其中 6、7、9 月平均水体淹没面积均在 2 500 km² 以上, 2004 年后 6、7、9 月平均水体淹没面积明显下降, 均未超过 2 300 km² ;

(3) 丰水期和枯水期水体淹没面积差减少, 2004 年前丰水期月平均最大淹没面积约 2 854.3

km², 月平均最小淹没面积约为 1 431.9 km², 相差约 1 422.4 km², 2004 年后月平均淹没面积最大值与最小值相差约 933 km², 减少约 34.2% (图 5、图 6)。

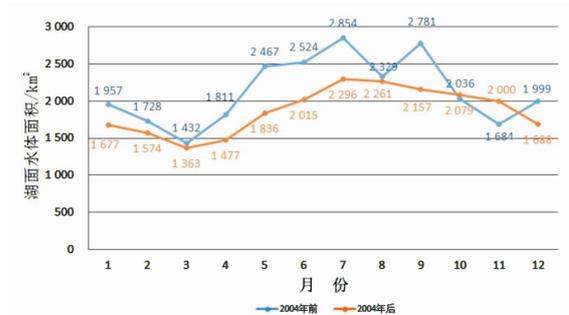


图 5 各月平均水体面积年际变化特征图

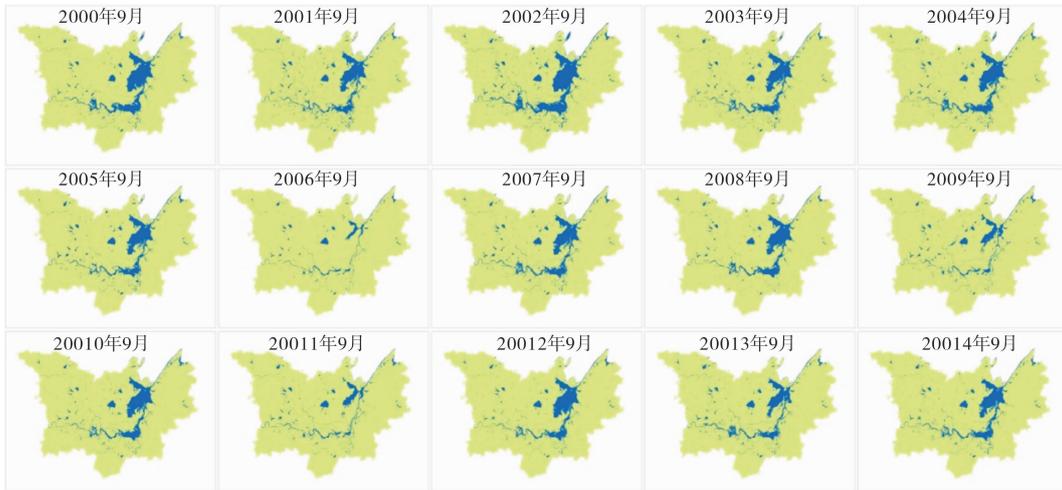


图 6 2000 年 - 2014 年 9 月湖面水体变化图

表 2 2000 - 2015 年洞庭湖区淹没频率统计表

淹没频率/%	0	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100
面积/km ²	19 802.4	3 412.8	731.4	844.3	423.3	729.8	131.8
比例/%	75.9	13.1	2.8	3.2	1.6	2.8	0.5

3.2 淹没频率计算结果

根据淹没频率计算方法,对研究区范围内各像元进行淹没频率计算,并按照淹没频率(F)划分为7个等级,即 $F=0$ 、 $0 < F \leq 20\%$ 、 $20\% < F \leq 40\%$ 、 $40\% < F \leq 60\%$ 、 $60\% < F \leq 80\%$ 、 $80\% \leq F < 100\%$ 、 $F=100\%$,计算结果如表2所示。

根据计算结果可以判断,2000-2015年初15年时间里,研究区平均淹没频率为7.3%,永久水面($F=100\%$)主要分布在东洞庭湖、南洞庭湖的核心区,以及中部大通湖,面积约为131.8 km²,占研究区总面积的0.5%;永久陆地($F=0\%$)面积约19 802.4 km²,占研究区总面积的75.9%,这两部分属于较为稳定的区域,不经历水陆更替,基本没有洪水风险;其余23.6%的区域有可能经历水陆更替,存在一定的洪水风险,应该是洪水风险防控的重点区域,其中约1 153.1 km²(总面积的4.4%)的区域平均每年被淹没的时间在220d(60%)以上,这些区域基本都是湖泊中心区和主要河流干流区域;约1 575.7 km²(总面积的6%)的区域平均每年被淹没的时间在75~220 d(20%~60%)之间,这些区域主要是湖泊和主干河流周边湿地,丰水期被水体淹没,枯水期暴露在外,水陆更替较频繁,是最容易受到洪水威胁的区域,同时也是洪水调蓄、防洪滞洪的最重要区域(图7)。

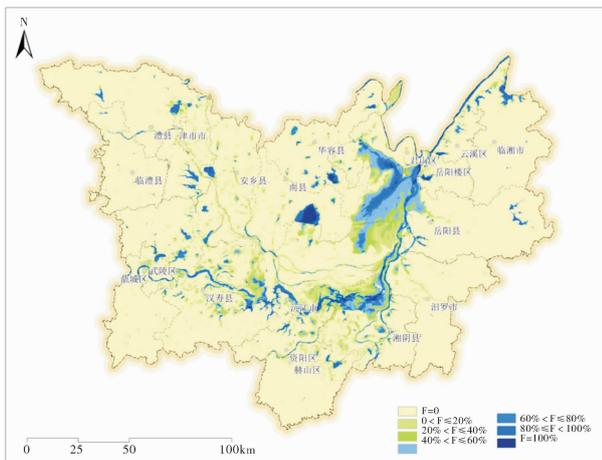


图7 2000-2015年水体淹没频率分布图

年际变化方面依然以三峡水库蓄水为时间节点,对比分析2004年以前和2004年以后洞庭湖区淹没频率发现:

(1)永久陆地增大,永久水面和水陆交替区域减小。2004年以后永久陆地($F=0$)面积增加了1 338.1 km²,而永久水面($F=100\%$)面积减少了7.4 km²,水陆交替($0 < F < 100\%$)区域面积减少了1 330.8 km²(表3)。

表3 2004年前后淹没频率对比统计表

频率 $F/\%$	2000-2004年		2004-2015年		变化	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
0	19 347.6	74.2	20 685.7	79.3	1 338.1	5.1
0~20	3 618.4	13.9	2 631.8	10.1	-986.6	-3.8
20~40	718.0	2.8	676.9	2.6	-41.1	-0.2
40~60	960.4	3.7	822.8	3.2	-137.6	-0.5
60~80	451.3	1.7	409.5	1.6	-41.8	-0.1
80~100	752.2	2.9%	628.5	2.4%	-123.7	-0.5%
100	227.9	0.9%	220.5	0.8%	-7.4	-0.1%

(2)绝大多数水陆交替区域和少量永久水面的淹没频率降低。水陆交替区域和永久水面区域内共有5 253.1 km²的区域出现淹没频率降低的情况,占二者总面积的85.4%,其中降低超过30个百分点($\Delta > 30\%$)的面积约71.1 km²,主要分布在东洞庭湖、南洞庭湖及西洞庭湖,降低1~30个百分点($0 < \Delta \leq 30\%$)的面积达到约5 182 km²。

淹没频率是指某一位置淹没时间与总时间的比值,能够反映该位置水体淹没的持续时间,三峡工程建成蓄水后,汛末蓄水必然导致下游河流湖泊水情发生变化,根据2004年前后淹没频率的对比分析结果可知(图8),2004年后水陆交替的绝大部分区域出现了淹没频率下降的情况,这就意味着这些区域的水面消退时间提前,滩地的出露天数增加,与赖锡军^[24]、邹邵林^[25]等人通过水动力模型模拟和水位数据统计的结果相一致;根据对比计算结果,约有71.1 km²区域滩地露出天数增加超过110 d,约269.3 km²区域滩地出露天数增加73~110 d,约915 km²区域滩地出露天数增加37~72 d,约3 998 km²区域滩地出露天数增加1~36 d。

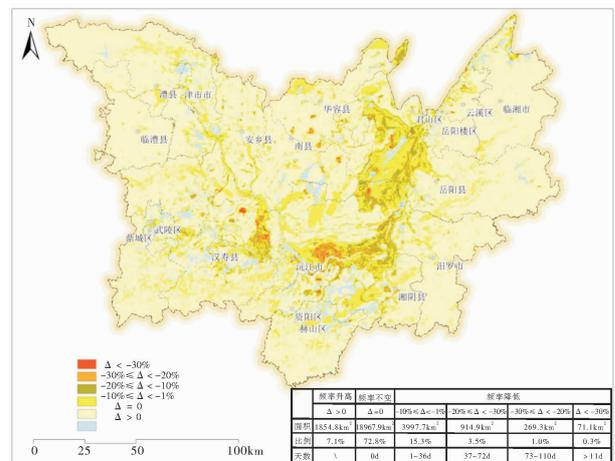


图8 2004年前后淹没频率变化图

4 结论与讨论

本文应用2000-2015年Terra-MODIS的NDVI数据和地表反射数据提取水体信息,获取了长时间序列(169期)洞庭湖区水体分布数据,分析了洞庭湖水体年内和年际变化规律,并开展了洞庭湖区水体淹没频率的计算,及三峡工程蓄水前后淹没频率的对比分析。

(1)利用遥感手段,将MODIS数据用于湖泊水体动态监测具有可行性,应用NDVI和地表反射数据相结合的方式,设定合理阈值水体提取的结果具有较高的准确性和可靠性;在针对长时间序列、多时相遥感数据,通过与ARCGIS相适应的python语言编写批处理程序,可以实现快速、准确的遥感数据批量处理,具有快速、准确、高效等优越性。

(2)从年内变化上看,洞庭湖区水体面积呈现明显的季节变化规律,水体面积从3月份开始增长,7-9月是丰水期,10月份开始减少,2-4月

为枯水期; 年际变化方面, 年均水体面积和丰水期水体面积均呈减少趋势, 丰水期与枯水期之间的面积差呈减小趋势, 可以说近 15 年来洞庭湖水体面积总体呈减小趋势。

(3) 近 15 年来洞庭湖区约 132 km² (0.5%) 的区域是永久水面, 约 19 802 km² (75.9%) 的区域是永久陆地, 其余 6 142 km² (23.6%) 是水陆交替区, 存在洪水风险, 是洪水风险防控的重点区域; 年际变化方面, 2004 年前后洞庭湖区呈现永久陆地增大趋势, 绝大多数水陆交替区的淹没频率降低, 表明水陆交替区域年内水面消退时间提前, 滩地的出露天数增加, 这主要是受长江中下游汛期末段三峡水库蓄水, 下游河湖水资源补给不足的影响。

遥感技术在湖体动态变化研究中具有明显的优势, 可以提供准确的水体空间分布信息, 甚至可以模拟水体空间演变的过程, 这是通过传统水文数据分析难以实现的。同时也存在缺陷, 一方面遥感技术兴起时间相对较短, 缺乏数据储备, 可获取的数据时相要低于传统水文数据; 另一方面遥感数据的时间分辨率往往较低, 很难像传统水文数据那样精确到天, 甚至是小时。另外遥感数据本身的时间分辨率和空间分辨率也存在着矛盾性, 空间分辨率较高的数据往往时间分辨率较低, 反之亦然, 因此在运用较高时间分辨率遥感数据时分析结果的精确度往往会受到影响, 而运用较高空间分辨率遥感数据时, 分析结果的时间分辨率较低, 其动态变化特征的详细程度就会受到影响。

参考文献:

- [1] 陈颢, 史培军. 自然灾害[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [2] 张念强. 基于 GIS 的鄱阳湖地区洪水灾害风险评价[D]. 南昌: 南昌大学, 2006.
- [3] 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.
- [4] 郭锐, 张杰, 梁芸. 西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 211-214.
- [5] 徐萌, 李亚春, 曾燕, 等. 苏北大型湖泊水体的 EOS/MODIS 遥感监测[J]. 气象科技, 2007, 35(4): 579-582.
- [6] 简兴, 张振国, 邱银国, 等. 基于 MODIS 数据的水体提取研究进展[J]. 廊坊师范学院学报: 自然科学版, 2014, 14(1): 5-10.
- [7] 李辉, 李长安, 张利华, 等. 基于 MODIS 影像的鄱阳湖湖面积与水位关系研究[J]. 第四纪研究, 2008, 51(2): 332-337.
- [8] Chowdhary V M, Chandran R V, Neeti N, et al. Assessment of surface and sub-surface waterlogged areas in irrigation command areas of Bihar using remote sensing and GIS[J]. Agric Water manage, 2008, 95(7): 754-766.
- [9] 丁莉东, 余文华, 覃志豪, 等. 基于 MODIS 的鄱阳湖区水体火灾遥感影像图制作[J]. 国土资源遥感, 2007, 20(1): 82-85, 106.
- [10] 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(2): 189-195.
- [11] 孔凡明, 蒋卫国, 李京, 等. 基于 MODIS 的 2011 年泰国洪涝受灾信息提取与分析[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 95-99.
- [12] 刘勇洪, 牛铮. 基于 MODIS 遥感数据的宏观土地覆盖特征分类方法与精度分析研究[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(4): 217-224.
- [13] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 20(5): 589-595.
- [14] Ordoyne C, Friedl M A. Using MODIS data to characterize seasonal inundation patterns in the Florida Everglades [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(11): 4107-4119.
- [15] Guerschman J P, Warren G, Byrne G, et al. MODIS-based standing water detection for flood and large reservoir mapping: algorithm development and applications for the Australian continent [R]. Canberra: CSIRO, 2011.
- [16] 莫伟华, 孙涵, 钟仕全, 等. MODIS 水体指数模型(CIWI)研究及其应用[J]. 遥感信息, 2007, 22(5): 16-21, 104-105.
- [17] 黄昌. 基于遥感和 GIS 的河漫滩洪水淹没分析与建模方法研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [18] 王亚梅, 李忠武, 曾光明, 等. 洞庭湖土地利用/覆被变化及洪涝灾害研究进展[J]. 四川环境, 2009, 31(5): 62-66, 74.
- [19] 雷璇, 杨一鹏, 蒋卫国, 等. 基于 SPOT-VGT 数据的洞庭湖水体面积变化分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(5): 19-24.
- [20] 杜涛, 熊立华, 易放辉, 等. 基于 MODIS 数据的洞庭湖水体面积与多站点水位相关关系研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 756-765.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 罗伯良, 张超. 湖南主汛期旱涝与大气环流及春季海温的关系[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1322-1330.
- [24] 赖锡军, 姜加虎, 黄群. 三峡工程蓄水对洞庭湖水情的影响格局及其作用机制[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 178-184.
- [25] 邹邵林, 刘晓清, 刘新平, 等. 三峡工程对洞庭湖区滩地出露天数的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(2): 254-259.

Research of Flood Submerged Frequency in Dongting Lake Region Based on Time Series Dataset of MODIS

Xu chao^{1,2}, Jiang Weiguo¹, Wan Lidong³, Wang Wenjie² and Bai Xue⁴

- (1. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Shijingshan Environment Monitoring Station of Beijing, Beijing 100043, China; 4. Agency Service Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100035, China)

Abstract: We explore the variation of surface water area from 2000 to 2015 in Dongting Lake region with time series dataset which is build by 8-Day Surface Reflectance-250m (MOD13Q1) and 16-Day Vegetation Indices-250m (MOD09Q1) of Terra/MODIS. By means of remote sensing information extraction, we get 169 phases' distribution data of surface water area and analyze the submerged frequency and variation regulation. The results show that: ①It is feasible to extract long time series information by remote sensing technique and Python programming language. ②The surface water area in Dongting Lake region presents obvious seasonal change, the area is relatively large in June to September, small in December to April. In the last 15 years, the Dongting Lake is in a shrinking trend. ③The permanent land or water body take nearly 76.4% of the total area, the rest 23.6% is fluctuating region of land and water body and key areas of flood prevention and control. ④In the last 15 years, the water drop time advanced within a year, days of bottomland exposure increased, water resources of low water period was obviously decreased.

Key words: Terra-MODIS data; Dongting Lake region; waters; area variation; submerged frequency