

## 东洞庭湖和三峡水库水域面积时空变化的相关性

赵运林<sup>1</sup>, 徐正刚<sup>1\*</sup>, 李云梅<sup>2,3</sup>, 孙德勇<sup>4</sup>, 檀静<sup>2,3</sup>, 王珊珊<sup>2,3</sup>

(1.湖南城市学院, 湖南 益阳 413000; 2.虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210023; 3.南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023; 4.南京信息工程大学遥感学院, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 为了解东洞庭湖近年水域面积的时空变化规律和三峡工程对东洞庭湖水域面积及空间分布的影响, 利用 MODIS 影像的 250 m 分辨率数据, 提取了东洞庭湖 2002—2012 年偶数年份的水域面积, 在分析东洞庭湖水域面积的月、季节变化规律的基础上, 分析东洞庭湖水域消落带的空间变化特征, 并将东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积的变化进行对比。结果表明: 东洞庭湖水域面积通常表现为夏季最大, 春秋次之, 冬季最小, 且水域消落带主要分布在东洞庭湖南部湖区; 三峡工程蓄水前后, 三峡水库和东洞庭湖水域面积的相关性发生了改变, 即三峡水库蓄洪之前, 其水域面积与东洞庭湖水域面积未出现同步变化的现象, 蓄洪之后, 2 个水域面积的变化呈现明显的相关性。

**关 键 词:** 东洞庭湖; 三峡水库; 水域面积; 消落带; 水位

中图分类号: TP79 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)06-0643-07

## Spatio-temporal variation of water area in East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir

ZHAO Yun-lin<sup>1</sup>, XU Zheng-gang<sup>1\*</sup>, LI Yun-mei<sup>2,3</sup>, SUN De-yong<sup>4</sup>, TAN Jing<sup>2,3</sup>, WANG Shan-shan<sup>2,3</sup>

(1.Hunan City University, Yiyang, Hunan 413000, China; 2.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing 210023, China; 3.School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 4.College of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** MODIS images of 250 m resolution data were employed to know the spatio-temporal variation of water areas in East Dongting Lake and evaluate the impact of Three Gorges project on it. The water areas of East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir were extracted every even month from a long-term period of 2002–2012. The spatio-temporal variation of water areas of East Dongting Lake was analyzed, and the distribution of seasonal hydro-fluctuation belt in East Dongting Lake was discussed. Based on the comparison of water areas variation between the East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir, a possible way to assess the impact of the Three Gorges project was proposed. The results showed that the variation of water areas in East Dongting Lake was maximal in summer, and next in spring and autumn, while, it was minimal in winter. The hydro-fluctuation belt of East Dongting Lake mainly distributed in the southern regions of the lake during 2002 and 2012. The water areas in Three Gorges Reservoir and in East Dongting Lake showed a positive correlation in summer and in winter, but they showed a negative correlation in spring and in autumn.

**Key words:** East Dongting Lake; Three Gorges Reservoir; water area; hydro-fluctuation belt; water level

洞庭湖是中国第二大淡水湖<sup>[1]</sup>, 与长江干流直接通联, 能拦蓄流域上游来水, 分蓄长江干流洪水,

收稿日期: 2014-02-28

基金项目: 环保公益性行业科研专项(2010467022); 国家林业公益性行业科研基金资助项目(201304310); 国家自然科学基金青年基金项目(41101340)

作者简介: 赵运林(1959—), 男, 湖南衡山人, 博士, 教授, 主要从事资源生态学研究, zyl8291290@163.com; \*通信作者, rssq198677@163.com

消减干流河段的洪峰流量,缓解长江中游地区洪涝灾害,减轻下游洪水压力,维系地区的洪水蓄泄和泥沙的冲淤平衡<sup>[2-3]</sup>。由于受泥沙淤积、围湖造田等因素的影响,洞庭湖被分为南洞庭湖、西洞庭湖和东洞庭湖3部分。3个湖体一方面能够相互连通,另一方面由于受各自湖底高程、河流入水量及人类活动等的影响而各自具有不同的特征。不同湖体水面变化特征与整个洞庭湖水面面积变化是否一致值得关注。长江上游三峡工程的建设是近年对洞庭湖影响最为剧烈的人类活动,对洞庭湖水域面积变化产生了深刻的影响。洞庭湖水域面积变化及其与三峡工程相关性研究一直受到国内外学者的关注,袁敏等<sup>[4]</sup>利用中分辨率成像光谱仪(moderate resolution imaging spectrometer, MODIS)数据研究三峡工程对洞庭湖水面的影响,认为三峡工程建成后洞庭湖水面有减少的趋势。泥沙淤积、东方田鼠暴发等洞庭湖生态环境问题也因为洞庭湖水位的变化而发生改变<sup>[5-6]</sup>。

遥感技术具有大尺度、可回溯等特点<sup>[7-8]</sup>。基于遥感技术研究洞庭湖水面或水量的时空变化成为了近年的研究热点<sup>[9-14]</sup>。龟山哲等<sup>[3]</sup>、彭定志等<sup>[15]</sup>和龚伟等<sup>[16]</sup>均基于 MODIS 卫星对洞庭湖区水面变动情况进行了分析。Ding Xianwen 等<sup>[17]</sup>利用 ENVI-ASAR 影像分析了2002—2009年洞庭湖水面变化情况,认为洞庭湖枯水期水面较 20 世纪 90 年代有所增加。虽然关于整个洞庭湖水面变化的研究较多<sup>[7]</sup>,但关于东洞庭湖研究的报道极少。在洞庭湖水域面积变化的已有研究中,通常以 3~5 年或者 1 年为研究周期,这不易反映长时间序列的变化情况。考虑到东洞庭湖直接与长江干流相连通,也是江湖水量交换的直接场所,所以本研究中重点关注东洞庭湖,利用 MODIS 影像数据分析 2002—2012 年偶数年份东洞庭湖水域面积的月、季节变化以及水域消落带变化,并与三峡水库水域面积变化进行相关性分析。

## 1 东洞庭湖概况与研究方法

### 1.1 东洞庭湖概况

东洞庭湖是“国际湿地公约”收录的由中国政

府指定的21个国际重要湿地自然保护区之一。东洞庭湖(N 28°59′~29°38′, E 112°43′~113°15′)位于洞庭湖东北部。洞庭湖水通过东洞庭湖的城陵矶注入长江。东洞庭湖水域面积变化极大,存在明显的洪水期与枯水期。每年4月开始,东洞庭湖水位上涨,7—8月达到最高峰,9月开始下降,进入平水期,12月到翌年3月为枯水期,水位达年内最低。

### 1.2 水域面积的提取方法

MODIS 遥感影像来源于从 NASA 的 Earth Observing System Data Gateway (EDG)网站免费下载的空间分辨率为 250m 的 Terra/MODIS MOD09Q1 数据。数据格式为 MODIS V005 版本。东洞庭湖与三峡水库各相应年份遥感数据的时间分布见表 1。利用 EDG 网站提供的免费软件 MODIS Reprojection Tool-MRT 4.0,对以上遥感数据分别进行投影转换和研究区提取。

表 1 研究所用遥感影像时间分布

Table 1 Date of remote sensing images used in the research in east Dongting Lake and Three Gorges Reservoir

区域	年份	月份数/个	月 份
东洞庭湖	2002	11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
	2004	11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
	2006	11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12
	2008	11	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
	2010	12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
	2012	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8
三峡水库	2002	9	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11
	2004	9	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12
	2006	10	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12
	2008	11	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
	2010	12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
	2012	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

现有的利用卫星遥感数据进行水体信息提取的研究中,针对湖泊水体的提取方法主要有单波段阈值法、植被指数法、水体归一化指数法等<sup>[13-14]</sup>。这些方法的共同特点是利用 1 个阈值作为最后区分水体与其他地物的标准。对于少量遥感影像数据而言,这些方法可能会取得较好的效果,但对较长时间序列的影像数据而言,只利用 1 个阈值可能会造成某些影像数据的提取误差。本研究中利用 MODIS 传感器的 250 m 分辨率影像数据,采用单波段阈值

法,以多阈值灵活设置和目视解译为辅进行水体提取,这样能有效地剔除所提取水体中混淆的其他地物信息,提高水域提取准确率,能更真实地反映水体空间分布。在获得各研究年份东洞庭湖各月水域面积的基础上,为进一步明确东洞庭湖水域面积的季节动态,取各季节不同月水域面积的均值作为东洞庭湖该季节的水域面积。分别对东洞庭湖各研究年份不同季节水域边界进行叠加分析,可获得东洞庭湖水域消落带的分布情况。利用 ENVI 4.8 与 ArcGIS 10.0 软件进行水体解译与空间分析。利用 SPSS 18.0 的 Pearson 进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 东洞庭湖水域面积的月变化和季节变化

2002、2004、2006、2008、2010、2012 年东洞庭湖各月水域面积的最大值分别为 1 633.93(8 月)、1 258.93(8 月)、1 469.82(7 月)、1 212.46(11 月)、1 253.57(9 月)、1 401.11 km<sup>2</sup>(8 月),各年水域面积最大值均超过了 1 200 km<sup>2</sup>。除 2008 年外,东洞庭湖各年水域面积的最大值均出现在 7、8、9 月,水域面积的变化趋势与洞庭湖区域降水量的变化趋势相同。2002、2006、2010、2012 年东洞庭湖水域面积的最小值均出现在 1 月,水域面积分别为 294.64、282.25、267.86、189.47 km<sup>2</sup>,而 2004 年和 2008 年东洞庭湖水域面积的最小值均出现在 2 月,分别为 300.00、261.72 km<sup>2</sup>。东洞庭湖水域面积最大值与最小值的差值在 2002 年最大,达 1 339.29 km<sup>2</sup>,在 2008 年最小,仅为 950.74 km<sup>2</sup>(图 1)。

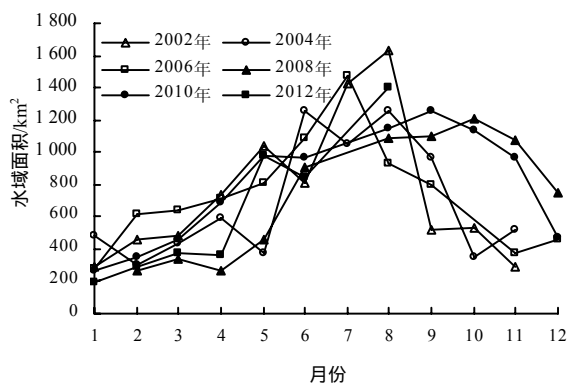


图1 2002—2012年偶数年份各月的东洞庭湖水域面积

Fig.1 Monthly-variation of water areas in East Dongting Lake during the period of 2002—2012 in even numbered years

整体而言,2002—2012 年偶数年份,东洞庭湖全年的水域面积最小值出现在 1、2 月,随后逐渐增加,大致在 7、8、9 月达到最大值,随后降低。

春季东洞庭湖水域面积约为 599.17 km<sup>2</sup>,研究期内春季东洞庭湖的水域面积 2002 年的最大,为 763.98 km<sup>2</sup>,2008 年的最小,仅为 343.40 km<sup>2</sup>,研究期内夏季东洞庭湖水域面积相差不大,平均面积为 1 120.71 km<sup>2</sup>,最大面积为 1 162.90 km<sup>2</sup>,最小面积为 1 030.19 km<sup>2</sup>;研究期内秋季东洞庭湖的水域面积 2006 年的最小,仅为 587.10 km<sup>2</sup>,其他年份约为 900 km<sup>2</sup>;研究期内冬季东洞庭湖的水域面积相差不大,平均面积约为 326.92 km<sup>2</sup>,是一年中水域面积最小的季节。由图 2 可见,东洞庭湖夏季的水域面积最大,春季的次之,冬季的最小。

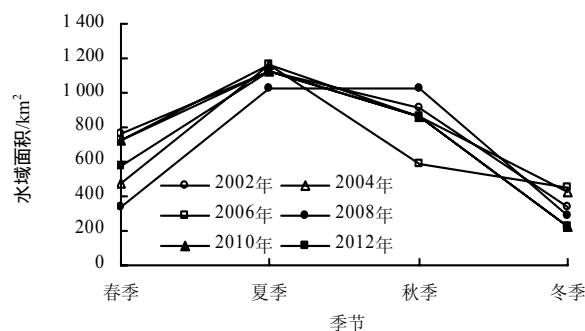
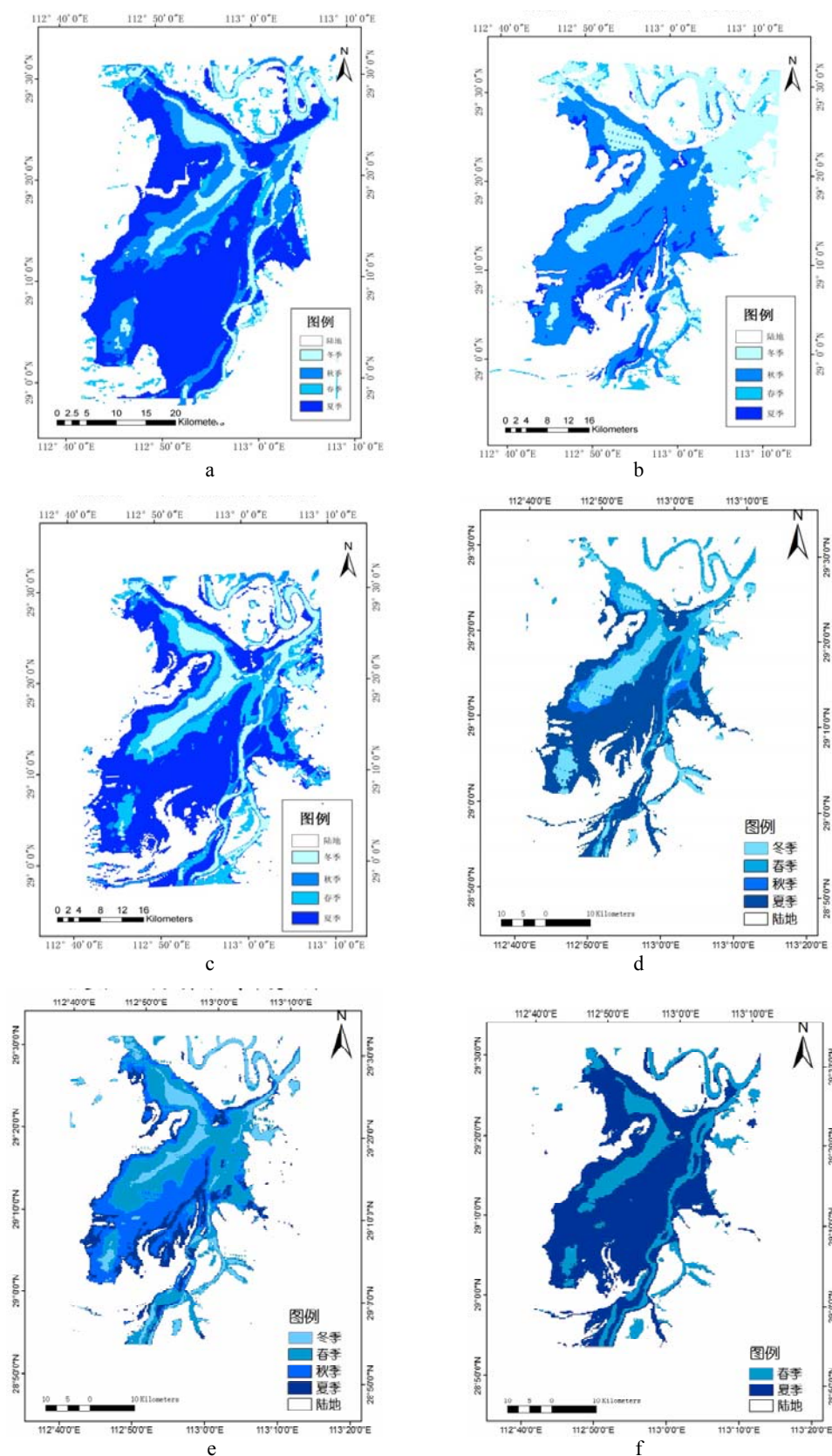


图2 2002—2012年偶数年份各季节东洞庭湖的水域面积

Fig.2 Seasonal-variation of water areas in east Dongting Lake during the period of 2002—2012 in even numbered years

### 2.2 东洞庭湖水域消落带的年内变化

图 3 为 2002 年至 2012 年偶数年份东洞庭湖水域消落带的空间分布。2002、2006、2008、2010 年春、秋、冬季的水域空间分布形状较为相似,夏季的水域面积较大,且增加的区域主要集中在南部区域;2004 年,东洞庭湖夏、秋季水域的空间分布形状相似,春、冬季的水域空间分布形状相似;2012 年,东洞庭湖夏季的水域面积最大,春季水域空间分布范围较小。整体而言,东洞庭湖消落带的变化呈相似的季节变化和空间分布:一方面,东洞庭湖春、秋、冬季的水域空间分布形状较为相似;另一方面,东洞庭湖水域消落带主要分布在南部湖区沿岸。



a 2002 年; b 2004 年; c 2006 年; d 2008 年; e 2010 年; f 2012 年。2012 年数据截止到 7 月。

图 3 2002—2012 年东洞庭湖水域面积的季节消落带空间分布

Fig.3 Seasonal hydro-fluctuation belt of east Dongting Lake from 2002 to 2012

### 2.3 东洞庭湖与三峡水库水域面积变化的对比分析

图 9~14 为 2002—2012 年偶数年份各月东洞庭湖和三峡水库水域面积的变化情况。2002 年, 三峡水域年均面积为  $(17.98 \pm 4.06) \text{ km}^2$ , 8 月达到最大, 为  $24.63 \text{ km}^2$ , 较东洞庭湖水域最大面积的出现时间提前了 1 个月; 4 月的面积最小, 为  $12.38 \text{ km}^2$ 。三峡水库水域面积全年存在 2 个峰值(2 月和 8 月)和 2 个谷值(4 月和 9 月)。东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积的相关性分析结果表明: 2002 年东洞庭湖水域面积和三峡水库水域面积存在负相关关系, 但相关性不显著( $r = -0.035$ ,  $P > 0.05$ , 图 9)。2004 年, 三峡水库水域面积全年波动不大, 年均水域面积为  $(26.59 \pm 4.27) \text{ km}^2$ , 6 月最大, 2 月最小。2004 年, 东洞庭湖水域面积变化和三峡水库水域面积的变化存在一定的相关性, 相关系数为  $0.726$  ( $P < 0.05$ ), 但东洞庭湖水域面积的变化幅度比三峡水库水域面积的变化幅度大(图 10)。2006 年, 东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积也呈正相关关系, 但相关性不显著( $r = 0.311$ ,  $P > 0.05$ , 图 11)。2008 年, 东洞庭湖水域面积变化与三峡水库水域面积变化呈负相关关系, 但相关性不显著( $r = -0.547$ ,  $P > 0.05$ , 图 12)。2010 年和 2012 年三峡水库水域面积在 3 月达到最大, 在 6 月最小。东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积的负相关关系均不显著( $P > 0.05$ )。1—3 月东洞庭湖和三峡水库水域面积变化趋势相同, 存在正相关关系; 4—5 月二者的变化趋势相反, 存在负相关关系; 6—8 月的变化趋势再次趋同(图 13、14)。

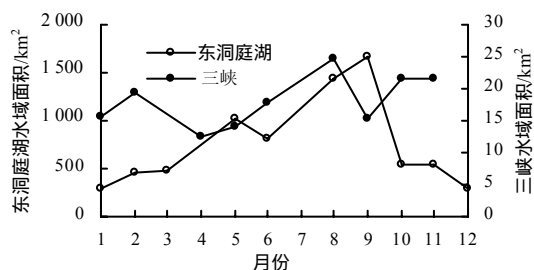


图 4 2002 年各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积

Fig.4 Comparison of water areas between East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir in 2002

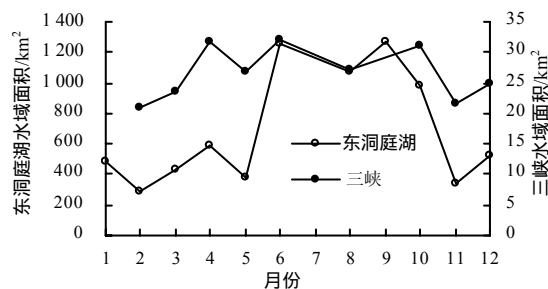


图 5 2004 年各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积

Fig.5 Comparison of water areas between East Dongting lake and Three Gorges Reservoir in 2004

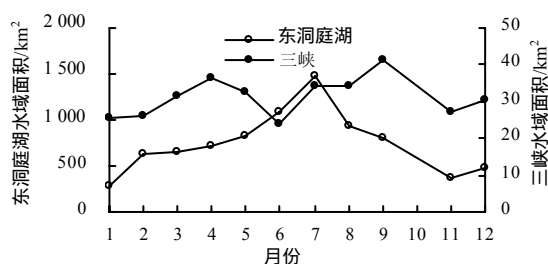


图 6 2006 年各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积

Fig.6 Comparison of water areas between East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir in 2006

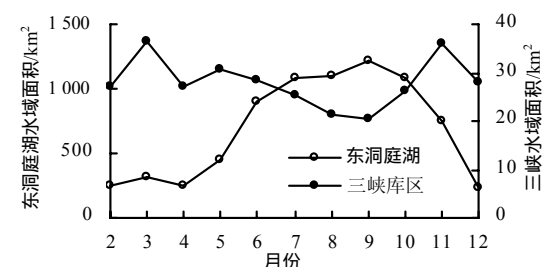


图 7 2008 年各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积

Fig.7 Comparison of water areas between East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir in 2008

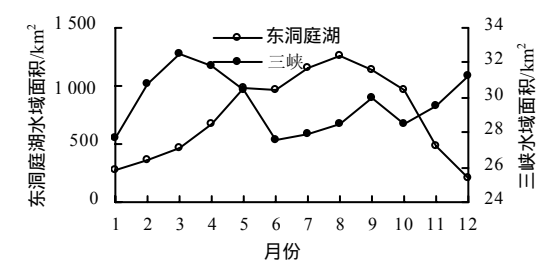


图 8 2010 年各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积

Fig.8 Comparison of water areas between East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir in 2010

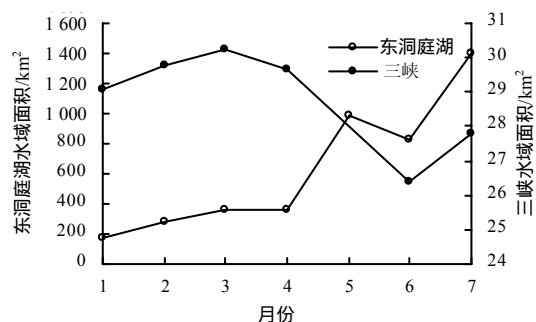


图9 2012年各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积

Fig.9 Comparison of water areas between East Dongting Lake and Three Gorges Reservoir in 2012

虽然除 2004 年外,研究期间东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积的变化均不存在显著相关性,但是二者之间的关系日趋明显,即在三峡工程放水、蓄水等的调控下,在全年中的某些时间段(洪水期与枯水期),二者之间可能呈现明显的相关性。由于正相关与负相关的相互掩盖,导致以年为单位进行的相关性分析结果不明显。此外,除 2004、2006 年东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积呈现正相关关系外,其他年份二者更多地呈负相关关系。东洞庭湖水域面积与三峡水库水域面积的正相关关系反映了区域降雨的一致性,而二者负相关关系则可能反映三峡调控对东洞庭湖的影响。

### 3 结论与讨论

本研究中发现东洞庭湖水域面积每年从 1 月开始逐渐增加,在 7、8、9 月达到峰值,随后开始降低,到 12 月近似达到全年最低。该变化趋势与整个洞庭湖水面的变化趋势<sup>[17]</sup>一致。洞庭湖是典型的过水性湖泊,受流域降水和河流入水量的季节变动影响,常呈现典型的“洪水一片、枯水一线”景观。在当前的研究中,洞庭湖被划分为洪水期(4 月至 10 月)和枯水期(11 月至翌年 3 月)。这种区分具有较好的理论意义,但是也可能忽视了农业生产的需求。本研究中关于东洞庭湖水面的月变化和季节变化分析结果,可为农业生产和生物保护提供参考。

洞庭湖水域面积的空间分布研究结果对洞庭湖区的防灾、减灾和农业生产具有指导意义。Jixi Gao 等<sup>[18]</sup>通过分析洞庭湖水面积的面变化,建立了洞庭湖洪水灾害指数,Yamei Wang 等<sup>[19]</sup>利用半量化模型和模糊层次分析方法,绘制了洞庭湖洪水风险分布图,但当前还没有关于洞庭湖季节消落带

的相关研究。淹-干交替是洞庭湖湿地大部分区域的典型特征,季节消落带区域对维持洞庭湖湿地生物多样性具有重要作用。本研究中发现东洞庭湖区域的季节消落带主要集中在南部湖区沿岸。该区域是东洞庭湖国家级自然保护区的核心区,具有较高的生物多样性,也是保护的重点区域。虽然东洞庭湖成立了国家级自然保护区,但当前仍然存在杨树、芦苇种植和龙虾养殖等农业生产活动。由于水面状况不稳定,该区域其实并不适宜进行龙虾养殖等活动。三峡工程、退田还湖等重大政策性工程是近年影响洞庭湖水面积变化的重要因素,较气候变化、泥沙淤积等的影响更加剧烈,更加直接<sup>[20]</sup>。利用 BP 神经网络模拟,发现三峡工程蓄水后对洞庭湖水位的影响剧烈,其中,2009 年蓄水使城陵矶水位下降了 2.11 m<sup>[21]</sup>。据邹邵林等<sup>[22]</sup>的预测,三峡工程建成后洞庭湖洲滩露出时间将增加。本研究中通过分析 2002—2012 年偶数年份各月东洞庭湖和三峡水库的水域面积变化,发现三峡工程蓄水前三峡水库水域面积和东洞庭湖水域面积的相关性发生了巨大的改变,发生这种改变的原因可能是 2003 年三峡大坝开始蓄水对下游洞庭湖水域面积及水位产生了重要影响,起到了调节径流的作用<sup>[23-24]</sup>。冬、夏季三峡水库与东洞庭湖的水域面积变化趋势相同,春、秋季水域面积的变化趋势则相反,因此,冬、夏季不论是三峡水库还是东洞庭湖均主要受自然降水的影响,而三峡工程的调控作用主要体现在春、秋季<sup>[25-26]</sup>。

本研究结果表明:2002—2012 年偶数年份东洞庭湖水域面积的最低值出现在 1、2 月,随后增加,到 7、8、9 月达到最大值,随后又降低(个别年份有异常);从季节变化来看,通常表现为夏季的水域面积最大,春季次之,冬季最小;东洞庭湖的水域消落带主要分布在南部湖区沿岸;三峡工程蓄水前后,三峡水库和东洞庭湖水域面积的相关性发生了改变:三峡水库蓄洪之前,其水域面积与东洞庭湖的水域面积并未出现同步变化的现象,而蓄洪之后,2 个水域面积的变化呈现出明显相关性。

### 参考文献:

- [1] 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[J].安徽农业科学,2012(16):9141-9145.

- [2] 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(6):756-765.
- [3] 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(1):88-94.
- [4] 袁敏.基于遥感技术的三峡工程建设对洞庭湖水面面积的影响研究[D].湖南大学,2013.
- [5] 邹邵林,郭聪,刘新平.环境演变及三峡工程对洞庭湖区东方田鼠种群影响的评估[J].应用生态学报,2002,13(5):585-588.
- [6] 李倩,曾光明,黄国和,等.三峡工程对洞庭湖水力梯度及其湿地植物生长的影响[J].安全与环境学报,2005,5(1):12-15.
- [7] 杨忠恩,骆剑承,徐鹏炜.利用 NOAA-AVHRR 资料提取水体信息的初步研究[J].遥感技术与应用,1995(1):25-29.
- [8] 赵书河,冯学智,都金康.中巴资源一号卫星水体信息提取方法研究[J].南京大学学报:自然科学版,2003(1):106-112.
- [9] Huang S, LI J, Xu M. Water surface variations monitoring and flood hazard analysis in Dongting Lake area using long-term Terra/MODIS data time series[J]. Natural Hazards, 2012, 62(1): 93-100.
- [10] 高俊峰,张琛,姜加虎,等.洞庭湖的冲淤变化和空间分布[J].地理学报,2001(3):269-277.
- [11] 彭佩钦,董成立,仇少君.洞庭湖洲滩地年淹水天数和面积变化[J].长江流域资源与环境,2007(5):685-689.
- [12] 王红娟,姜加虎,黄群.基于知识的洞庭湖湿地遥感分类方法[J].长江流域资源与环境,2008(3):370-373.
- [13] 易波琳,李晓斌,梅金华.洞庭湖面积容积与水位关系及调蓄能力评估[J].湖南地质,2000(4):267-270.
- [14] 刘世奇,段炼中,余元君.洞庭湖水患灾害分析及其治理策略[J].人民长江,2009(14):76-78.
- [15] 彭定志,徐高洪,胡彩虹.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.
- [16] 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):40-44.
- [17] Ding X, Li X. Monitoring of the water-area variations of Lake Dongting in China with ENVISAT ASAR images[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13(6): 894-901.
- [18] Gao Jixi, Nickum James E, Pan Yingzi. An assessment of flood hazard vulnerability in the Dongting Lake Region of China[J]. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 2007, 12(1): 27-34.
- [19] Wang Yamei, Li Zhongwu, Tang Zhenghong, et al. A GIS-based spatial multicriteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China[J]. Water Resources Management, 2011, 25(13): 3465-3484.
- [20] Zhang J, Xu K, Yang Y, et al. Measuring water storage fluctuations in Lake Dongting, China, by Topex/Poseidon satellite altimetry[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, 115(1/3): 23-37.
- [21] 黄群,孙占东,姜加虎.三峡水库运行对洞庭湖水位影响分析[J].湖泊科学,2011,23(3):424-428.
- [22] 邹邵林,刘晓清.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.
- [23] Sutton A. The Three Gorges project on the Yangtze River in China[J]. Geography, 2004, 89(2): 111-126.
- [24] Yin H, Liu G, Pi J, et al. On the river-lake relationship of the middle Yangtze reaches[J]. Geomorphology, 2007, 85(3): 197-207.
- [25] Chang J, Li J, Lu D, et al. The hydrological effect between Jingjiang River and Dongting lake during the initial period of Three Gorges Project operation[J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(5): 771-786.
- [26] Xu K, Milliman J D. Seasonal variations of sediment discharge from the Yangtze River before and after impoundment of the Three Gorges Dam[J]. Geomorphology, 2009, 104(3): 276-283.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王 库