

Changes of Beach and Genetic Analysis in the Dongting Lake Wetland during the Initial Running of the Three Gorges Project

Bolin Zhou¹, Shi Xie¹, Yi Xiao¹, Xiaoqun Liu¹, Jie Liang^{2,3}, Guangming Zeng^{2,3}, Chunyan Du⁴

¹Dongting Lake Water Resources Administration Bureau of Hunan Province, Changsha Hunan

²College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha Hunan

³Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control, Ministry of Education, Hunan University, Changsha Hunan

⁴School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha Hunan

Email: 241247915@qq.com

Received: Jan. 5th, 2015; accepted: Jan. 16th, 2015; published: Feb. 4th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Data sets of beach wetlands area in the Dongting Lake were extracted using MODIS imagery from 2000 to 2010. The data sets were compared with the observed water-level of the Chenglingji. And the changes of beach wetlands area and their emergence time were analyzed. The results indicated that after the initial running of the Three Gorges Project, the beach wetlands area of the Dongting Lake increased 71.0 km², 87.7 km², 103.5 km², 118.5 km², 132.5 km² at the Chenglingji water level of 24 m, 25 m, 26 m, 27 m and 28 m respectively. And the emergence time of the beach wetlands prolonged 19 d, 27 d, 25 d, 11 d and 8 d, respectively. In conclusion, it is resulted from multi-factors, including reduction of runoff from the Three Channels (Songzi, Ouhe, Taiping) and the Four Branches (Xiang River, Zi River, Yuan River and Li River), reduction of rainfall, etc., which contributed to the reduction of beach wetlands area and prolonging their emergence time of the Dongting Lake. The impoundment of the Three Gorges Project from September to October would further aggravate the emergence trend of beach wetlands.

Keywords

MODIS Data, Dongting Lake, Beach Wetlands, The Three Gorges Project

*作者简介: 周柏林(1964~), 男, 湖南桃江人, 教授级高工, 主要从事洞庭湖治理规划、研究。

三峡工程运行初期洞庭湖洲滩变化及成因分析

周柏林¹, 谢石¹, 肖义¹, 刘晓群¹, 梁婕^{2,3}, 曾光明^{2,3}, 杜春艳⁴

¹湖南省洞庭湖水利工程管理局, 湖南 长沙

²湖南大学环境科学与工程学院, 湖南 长沙

³湖南大学环境生物与控制教育部重点实验室, 湖南 长沙

⁴长沙理工大学水利工程学院, 湖南 长沙

Email: 241247915@qq.com

收稿日期: 2015年1月5日; 录用日期: 2015年1月16日; 发布日期: 2015年2月4日

摘要

利用MODIS影像数据集提取了2000~2010年间的洞庭湖洲滩面积, 结合城陵矶水位的实测数据, 分析了三峡工程运行初期城陵矶24~28 m水位下洞庭湖洲滩面积和出露时间的变化规律。结果表明, 三峡工程运行后, 24 m、25 m、26 m、27 m和28 m水位下洞庭湖洲滩面积分别增加71.0 km²、87.7 km²、103.5 km²、118.5 km²、132.5 km²; 洞庭湖洲滩出露时间分别延长19 d、27 d、25 d、11 d和8 d。这种变化是三口、四水来水减少、降雨减少等多方因素共同作用的结果, 而三峡在9月~10月间蓄水, 将进一步加重洞庭湖洲滩裸露的趋势。

关键词

MODIS; 洞庭湖; 洲滩; 三峡工程

1. 引言

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。它吸纳长江荆江段松滋、藕池、太平三口的分流, 同时接纳湘、资、沅、澧四水, 最后在城陵矶汇入长江, 对长江中下游地区调蓄洪水、维持水沙平衡等具有重要作用。“涨水是湖、落水为洲”是洞庭湖的主要水文特征, 其规律性涨落的水文过程形成了多样、稳定的季节性洲滩。洞庭湖洲滩上植被丰富, 是长江中下游重要的越冬水鸟栖息地。

三峡工程是世界上最大的水利工程。三峡工程于1994年开工; 2003年6月开始蓄水; 2010年蓄水至175米, 进入运行期。三峡工程运行初期, 长江和洞庭湖江湖关系发生了显著变化。研究表明, 三峡运用后洞庭湖三口、城陵矶的水位、流量有较大变化[1]-[4], 洞庭湖水体面积呈现明显减小的趋势, 2010年2月、10月、12月较2000年2月、10月、12月相比, 分别有29.98%、26.76%和9.02%水面转化为洲滩[5], 洞庭湖洲滩上植被覆盖对水位波动响应更加明显[6]。

洞庭湖洲滩的变化, 即不同水位下洞庭湖洲滩面积和出露时间的变化, 对于洞庭湖湿地生态系统以及湖泊水资源利用有重要影响。本文在2000~2010年的MODIS影像数据系列提取洞庭湖洲滩数据系列, 研究不同水位条件下洞庭湖洲滩面积以及洲滩出露时间的变化, 探求三峡工程蓄水运用初期洞庭湖洲滩变化的原因, 定性分析三峡工程运行后洲滩植被生态系统的演替、洞庭湖冬季越冬候鸟数量和种群结构的变化趋势, 并提出三峡工程建成后枯水期洞庭湖水资源利用的建议, 为洞庭湖生态环境的保护提供依据。

2. 研究区域与数据来源

洞庭湖位于荆江南岸,跨湘、鄂两省,介于北纬 $28^{\circ}30' \sim 30^{\circ}20'$,东经 $110^{\circ}40' \sim 113^{\circ}10'$ 之间,是我国第二大淡水湖泊。本文的研究区域北起长江中游荆江南岸,南至湘阴、益阳、沅江丘岗地界,东及岳阳、汨罗湘江东岸,西临澧县、桃源、汉寿西部丘岗岸边[7]。在MOD13Q1数据产品中提出洞庭湖区域,面积 2789 km^2 ,包括洞庭湖水面和洲滩,即河床两岸、河心及湖泊在枯水季节露出水面,而丰水或平时时又被淹没的陆地[6]。

本文使用的数据为MODIS影像数据。数据从美国国家航空航天局(NASA)旗下的WIST网站(<https://wist.echo.nasa.gov/api>)免费申请。NASA于1999和2002年分别发射了对地观测卫星TERRA和AQUA。搭载在Terra和Aqua两颗卫星上的中分辨率成像光谱仪(MODIS)是美国地球观测系统(EOS)计划中用于观测全球生物和物理过程的重要仪器。它具有36个中等分辨率水平($0.25 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$)的光谱波段,每1~2天对地球表面观测一次,获取陆地和海洋温度、初级生产率、陆地表面覆盖、云、汽溶胶、水汽和火情等目标的图像。本研究使用的数据产品为MOD13Q1(TERRA)。数据集包括16天合成的归一化植被指数数据(NDVI)、增强植被指数数据(EVI)、四个波段的反射率值和一系列质量描述文件等[5][8]。本文使用的水位数据来源于1990~2010年每日3次的城陵矶水文站实测水位数据,分析时取水位的日均值。

3. 洞庭湖洲滩提取

采用最大值合成算法(MVC)对MOD13Q1数据产品进行了预处理。合成过程中优先选择近星下点无云的像元,尽可能减小云、阴影、大气中气溶胶的影响,并应用二向反射率(BRDF)模型对观测角度进行了订正。经过上述处理,数据集在一定程度上去除了云层等的影响和干扰。但是,对长时间序列数据的研究发现,数据集仍存在一定程度的噪声影响。在进一步的研究中,为了增加洞庭湖水面提取的精度,使用TIMESAT软件包对MODIS数据进行进一步的滤波处理,去除数据时间序列中突变的部分[9][10]。

本文首先利用MODIS影像数据提取洞庭湖水面,对MOD13Q1数据的NDVI指数和NIR波段(近红外反射率)分别设定阈值1000[11][12],即认为NDVI和NIR波段值小于1000的均为洞庭湖水面。则相应时段的洞庭湖洲滩面积等于洞庭湖面积减去洞庭湖水域面积。

4. 结果与讨论

4.1. 洞庭湖洲滩面积

提取了2000年~2010年间每隔16日的洞庭湖水面面积,计算得出相应时段的洞庭湖洲滩面积,共获取250个数据(图1)。从图1可知,洞庭湖洲滩面积年内变化规律明显,水位低洲滩出露面积大,水位高洲滩出露面积小。洞庭湖水面面积与城陵矶水位正相关,采用城陵矶的水位实测值验证解译结果的合理性,提取的洞庭湖水面面积与城陵矶水位相关系数达到0.8058。

4.2. 三峡工程运行初期洞庭湖洲滩面积的变化

洞庭湖水位有规律的季节性涨落,形成了洞庭湖特有的洲滩资源。为了研究三峡工程运用对洞庭湖洲滩面积的影响,结合MODIS数据序列,本文将研究时段分为三峡工程围堰蓄水前(2000~2003.6)、三峡工程围堰蓄水后(2003.6~2010)(图2)。从图2可以看出,洞庭湖洲滩和城陵矶水位呈二次多项式关系。三峡工程围堰蓄水前(2000~2003.6),相关系数为0.8412;三峡工程围堰蓄水后(2003.6~2010),相关系数为0.7993。应用拟合后的公式计算洞庭湖不同水位时的洲滩面积(见表1)。由表1可知,三峡工程围堰蓄水后,23~28 m水位上洞庭湖洲滩面积均较蓄水前增大。以东洞庭湖为例,根据黄进良等[13][14]的研究成果,东洞庭湖泥滩分布在24 m以下高程,草滩分布在24~26 m高程,芦苇分布在26 m以上高程。因此,

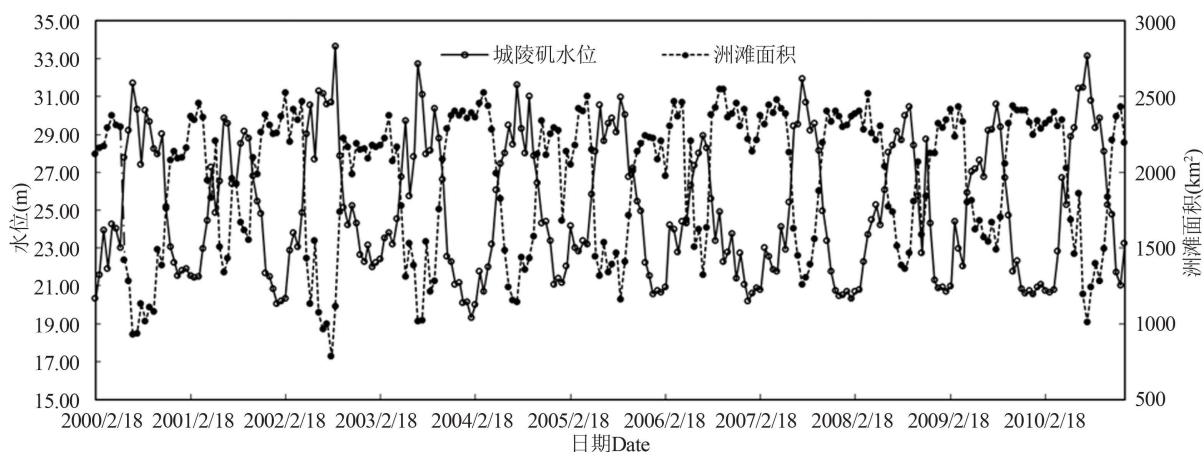


Figure 1. Data set of beach wetlands area of the Dongting Lake and water-level of the Chenglingji

图 1. 洞庭湖洲滩面积与城陵矶水位的时间序列

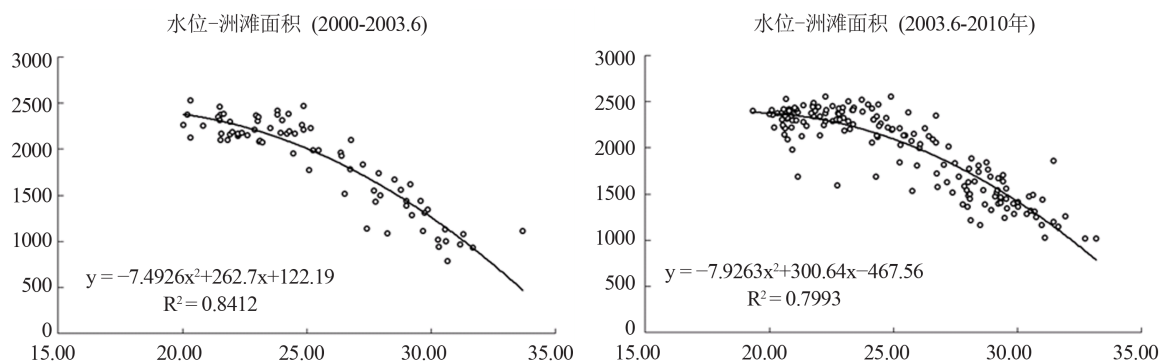


Figure 2. Curve of water level-beach wetland area before and after the running of the Three Gorges Project

图 2. 三峡工程运用前后洞庭湖水位 - 洲滩面积变化曲线

Table 1. The estimated beach wetlands area of the Dongting Lake corresponding to water level of the Chenglingji reached 23 to 28 m (km²)

表 1. 城陵矶水位 23~28 m 时洞庭湖洲滩面积(km²)

水位	2000~2003.6 年	2003.6~2010 年	
(m)	(1)	(2)	(2)~(1)
23	2200.7	2254.1	53.4
24	2111.3	2182.3	71.0
25	2006.8	2094.5	87.7
26	1887.4	1990.9	103.5
27	1753.0	1871.4	118.5
28	1603.6	1736.1	132.5

可以推断出，三峡工程运行初期，各个水位上洲滩(泥滩、草滩、芦苇地)裸露面积增大。

4.3. 三峡工程运行初期洞庭湖洲滩出露时间的变化

本文同时统计了城陵矶水位首次末次达到 24 m、25 m、26 m、27 m 和 28 m 的时间(表 2)。研究发现，

Table 2. The average time of observed water level of the Chenglingji that firstly and lastly reached 24 m, 25 m, 26 m, 27 m and 28 m**表 2.** 城陵矶水位首次和末次到达 24 m、25 m、26 m、27 m、28 m 的平均时间(月/天)

Time	时间	首次 First Arrival					末次 Last Arrival				
		24 m	25 m	26 m	27 m	28 m	28 m	27 m	26 m	25 m	24 m
1981~2002	4/8	4/22	5/5	5/21	6/6	9/30	10/13	10/25	11/9	11/17	
2004~2010	4/10	4/30	5/13	5/20	6/11	9/27	10/1	10/8	10/21	10/31	

三峡工程蓄水后(2004~2010), 城陵矶水位末次达到 28 m、27 m、26 m、25 m 和 24 m 的平均时间较葛洲坝时期(1981~2002)分别提前了 3 d、12 d、17 d、19 d 和 17 d; 城陵矶水位首次达到 24 m、25 m、26 m 和 28 m 的平均时间较葛洲坝时期(1981~2002)分别推后了 2 d、8 d、8 d、-1 d 和 5 d。即, 三峡工程蓄水后, 24 m、25 m、26 m、27 m 和 28 m 水位上, 每年洞庭湖洲滩出露时间分别延长 19 d、27 d、25 d、11 d 和 8 d。可见, 三峡工程运用后水文涨落的规律性发生了变化, 城陵矶水位在 24 m~26 m 水位涨落的时序变化大。东洞庭湖水位的变化使东洞庭湖洲滩湿地提前出露、推迟淹没, 洲滩积水时间梯度延长。特别地, 分布在低高程的泥滩裸露时间延长, 将向草滩演替。

4.4. 三峡工程运行初期洞庭湖洲滩出露时间的变化

洞庭湖通过三口与长江相连, 并吸纳四水的入流和区间入流, 在城陵矶注入长江。相关研究表明, 近 30 年“湘资沅澧”四水流量为洞庭湖入湖水量的主要来源, 占总入湖水量的 63%左右; 长江三口入湖流量只占洞庭湖入湖总流量的 25%左右。2000~2010 年间, 三口、四水的来水量均呈现不同程度的减少 [8] [15]。因此, 洞庭湖洲滩的变化是三口、四水来水减少以及近年来降雨减少的共同结果。而三峡工程运用以来, 多在 9、10 月间蓄水, 将进一步提前城陵矶水位末次达到 26 m、25 m 和 24 m 的时间, 进一步加重泥滩裸露的趋势。

4.5. 洞庭湖洲滩变化的影响

相关研究表明, 洞庭湖湿地植物随湖水深度变化形成不同的植物群落, 从空间格局上呈现明显的带状分布特点。由水及陆的总趋势为: 沉水植物群落→荫草群落→辣蓼 + 苔草群落→苔草群落→荻或芦苇群落→美洲黑杨或柳群落。以东洞庭湖为例, 东洞庭湖芦苇大部分生长在高程 27 m 以上, 苔草等湖草生长在高程 23~27 m 间, 26~27 m 间为芦苇与湖草都有生长的过渡带, 防护林生长在高程 30 m 以上, 高程 23 m 下基本为非植被区 [7]。不同水位下洲滩面积增大, 且洲滩出露提前, 淹没推后, 将改变洲滩土壤基质的特征, 打乱洲滩上植被生态系统的正常演替, 导致近水植物向低高程蔓延, 而辣蓼、苔草等植被的面积增大, 对芦苇植被基本没有影响。

枯水季节, 洲滩是越冬候鸟的栖息地。洲滩上植被生态系统的演替, 将改变越冬候鸟食源地结构, 从而影响越冬候鸟的种群数量和结构。相关研究表明, 苔草面积和斑块密度对洞庭湖越冬水鸟分布的影响达到极显著水平, 是影响洞庭湖湿地冬季水鸟的主要环境因子 [16]。以洞庭湖优势鸟类与环境因子的关系为例, 白琵鹭、罗纹鸭和黑腹滨鹬丰富度随苔草面积增大而减小, 随斑块密度增大而增大, 而豆雁、白额雁和小白额雁丰富度随苔草面积增大而增大, 随斑块密度增大而减小。这主要与鸟类生活习性有关, 白琵鹭喜泥泞水塘、湖泊或泥滩地, 罗纹鸭喜停栖水上, 黑腹滨鹬喜沿内陆泥滩, 斑块密度增大也增加了白琵鹭、罗纹鸭和黑腹滨鹬等鸟类的栖息场所。豆雁、白额雁和小白额雁取食于近湖泊的苔草地及芦苇地, 因此苔草面积增加也会随之吸引更多的豆雁、白额雁和小白额雁等鸟类。

枯水期洲滩面积增加的同时, 洞庭湖水面面积和蓄水量相应减少, 对枯水期洞庭湖水资源利用、四

水沿岸城市尤其是长株潭城市群供水系统的运转和湘江水质、航运安全带来一定的风险。因此,在治理洞庭湖时,应考虑三峡工程运行初期江湖关系对洞庭湖水资源造成的影响。建议采用适当水利措施,将洞庭湖枯水期水位保持在一个合理的水位以上;加大河湖整治和疏浚力度,增加湖泊调蓄容积;同时,积极开展节水型社会建设力度,提高洞庭湖区水资源利用效率。

5. 结论

- 1) 利用 MOD13Q1 数据产品,采用 NDVI 指数和 NIR 波段阈值法提取 2000 年~2010 年间洞庭湖洲滩面积。
- 2) 三峡工程运用后,城陵矶水位 24 m、25 m、26 m、27 m 和 28 m 下洞庭湖洲滩面积分别增加 87.2、109.3、128.3、144.4 和 157.6 km²;洞庭湖洲滩出露时间分别延长 19 d、27 d、25 d、11 d 和 8 d。
- 3) 三峡工程运用后,城陵矶水位在 24 m~26 m 水位涨落的时序变化大。发生变化是三口、四水来水减少、降雨减少等多方因素共同作用的结果,而三峡在 9 月~10 月间蓄水,将进一步加重泥滩裸露的趋势。
- 4) 三峡工程运用后洲滩的变化将影响洲滩植被生态系统的演替趋势,改变冬季越冬水鸟种群数量和结构,减少枯水期洞庭湖水资源数量和质量。

基金项目

国家自然科学基金项目(51039001, 51109016, 51479072), 洞庭湖工程管理局项目(DGJ-KY-2013-05)。

参考文献 (References)

- [1] 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.
HUANG Qun, SUN Zhandong and JIANG Jiahu. Impacts of the operation of the Three Gorges Reservoir on the lake water level of Lake Dongting. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(3): 424-428. (in Chinese)
- [2] 覃红燕, 谢永宏, 邹冬生. 湖南四水入洞庭湖水沙演变及成因分析[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 609-616.
QIN Hongyan, XIE Yonghong and ZHOU Dongsheng. Changes of runoff and sediment discharge into Dongting Lake from the four rivers in Hunan Province. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(5): 609-616. (in Chinese)
- [3] SUN, Z. D., HUANG, Q., OPP, C., et al. Impacts and implications of major changes caused by the Three Gorges Dam in the middle reaches of the Yangtze River, China. Water Resour Manage, 2012, 26(12): 3367-3378.
- [4] FENG, L., HU, C. M., CHEN, X. L., et al. Dramatic inundation changes of China's two largest freshwater lakes linked to the Three Gorges Dam. Environmental Science and Technology, 2013, 47(17): 9628-9634.
- [5] 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[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6628-6635.
LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al. MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6628-6635. (in Chinese)
- [6] 袁正科. 洞庭湖湿地资源与环境[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 2008: 49-66.
YUAN Zhengke. Resources and environment of Dongting Lake wetland. Changsha: Hunan Normal University Press, 2008: 49-66.
- [7] 曾光明, 赖旭, 梁婕, 等. 2001-2010 年东洞庭湖湿地 NDVI 指数的水位响应[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2014, 41(1): 45-52.
ZENG Guangming, LAI Xu, LIANG Jie, et al. Water level responses of East Dongting Lake wetlands NDVI from 2001 to 2010. Journal of Hunan University (Natural Science), 2014, 41(1): 45-52. (in Chinese)
- [8] 蔡青, 黄璐, 梁婕, 等. 基于 MODIS 遥感影像数据的洞庭湖蓄水量估算[J]. 湖南大学学报, 2012, 39(4): 64-69.
CAI Qing, HUANG Lu, LIANG Jie, et al. Estimation of the water volumn of the Dongting Lake with TERRA/MODIS data. Journal of Hunan University (Natural Science), 2012, 39(4): 64-69. (in Chinese)
- [9] 边金虎, 李爱农, 宋孟强, 等. MODIS 植被指数时间序列 Savitzky-Golay 滤波算法重构[J]. 遥感学报, 2010, 14(4): 725-741.
BIAN Jinhu, LI Ainong, SONG Mengqiang, et al. Reconstruction of NDVI time-series datasets of MODIS based on Savitzky-Golay filter. Journal of Remote Sensing, 2010, 14(4): 725-741. (in Chinese)

- [10] 李儒, 张霞, 刘波, 等. 遥感时间序列数据滤波重建算法发展综述[J]. 遥感学报, 2009, 13(2): 335-342.
LI Ru, ZHANG Xia, LIU Bo, et al. Review on methods of remote sensing time-series data reconstruction. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(2): 335-342. (in Chinese)
- [11] 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): 923-934.
LI Jinggang, LI Jiren, HUANG Shifeng, et al. Application of Terra/MODIS time series data in dynamic monitoring of lake water area variations. Journal of Natural Resources, 2009, 24(5): 923-934. (in Chinese)
- [12] 李景刚, 李纪人, 黄诗峰, 等. 近 10 年来洞庭湖区水面面积变化遥感监测分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(3): 201-208.
LI Jinggang, LI Jiren, HUANG Shifeng, et al. The remote sensing monitoring analysis of Chinese Dongting Lake water area variations in last 10 years using Terra/MODIS data time series. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2010, 8(3): 201-208. (in Chinese)
- [13] 黄进良. 洞庭湖湿地的面积变化与演替[J]. 地理研究, 1999, 18(3): 297-304.
HUANG Jinliang. The area change and succession of Dongtinghu Wetland. Geographical Research, 1999, 18(3): 297-304. (in Chinese)
- [14] 谢永宏, 陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 684-687.
XIE Yonghong, CHEN Xinsheng. Effects of Three-Gorge Project on succession of wetland vegetation in Dongting Lake. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(6): 684-687. (in Chinese)
- [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.
LI Jingbao, CHANG Jiang, LU Dianqing, et al. The hydrological effect between Jingjiang River and Dongting Lake during initial period of Three Gorges Project operation. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(11): 1342-1352. (in Chinese)
- [16] YUAN, Y. J., ZENG, G. M., LIANG, J., et al. Effects of landscape structure, habitat and human disturbance on birds: A case study in East Dongting Lake wetland. Ecological Engineering, 2014, 67: 67-75.