

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220841

# 基于多源数据的会仙岩溶湿地核心区域水面变化分析

彭昕悦<sup>1</sup>, 张红艳<sup>2</sup>, 代俊峰<sup>3</sup>, 许景璇<sup>4</sup>, 白凯华<sup>3</sup>, 徐保利<sup>2</sup>, 李哲卿<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心, 广西 桂林 541004; 3. 广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 广西 桂林 541004; 4. 桂林水文中心, 广西 桂林 541000)

**摘要:** 由于人类活动扰动和气候变化的影响, 漓江流域最大的岩溶地貌原生态湿地——会仙湿地的核心区域睦洞湖水域面积萎缩, 面临严峻的生态环境风险。利用 2017~2021 年的 65 景 Sentinel 遥感影像数据, 运用随机森林分类法提取睦洞湖水域面积, 分析近 5 年睦洞湖水域面积的时空变化, 结合睦洞湖水位实测数据和周边水位站数据, 探讨了睦洞湖水位—面积之间的相关关系。结果表明, 近 5 年睦洞湖水域面积相对稳定, 但丰枯水期变化明显; 面积变化区域主要分布在湖区北部; 水位—面积关系相关性较好, 不同水期的相关系数存在差异, 丰水期、枯水期相关性分别为 0.90、0.60。

**关键词:** 湿地; 水面面积; 水位; 遥感影像; 丰枯水期

**中图分类号:** TV882.9; P343.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)04-0052-04

## 1 概况

睦洞湖位于桂林市临桂区会仙镇, 分布于漓江流域会仙湿地(睦洞湖、睦洞河、古桂柳运河、会仙河)的核心区域, 为不规则河道式湖泊<sup>[1]</sup>。睦洞湖属于亚热带季风气候, 多年平均气温为 18.8℃, 多年平均降雨量为 1 890 mm。主要有两条河流流经睦洞湖, 其中睦洞河从睦洞湖北部流入, 西部流出; 古桂柳运河自东向西流入睦洞湖, 偶尔发生反向。睦洞湖为浅水积水湖泊, 枯水期平均水深 0.2~0.6 m, 丰水期最高可达 2.0 m 以上。睦洞湖周边为农田, 大部分种植水稻, 部分湖面水葫芦泛滥, 沼泽化严重。由于人类活动干扰和气候变化的影响, 睦洞湖面积由 2 100 hm<sup>2</sup> 减至目前的 100 hm<sup>2</sup> 左右, 其自然特性和生态功能面临严重威胁。为了维护会仙湿地的水安全和生态平衡, 睦洞湖的生态保护与水域恢复迫在眉睫。水位—面积关系曲线是湖泊的重要水力学特征<sup>[2]</sup>, 也是湖泊湿地生态补水和水资源调控的重要依据。目前, 关于睦洞湖水位、面积等要素变化的定

性分析和单一要素的定量分析已有研究, 但却缺少研究睦洞湖水位—面积的定量关系。遥感技术在湖泊面积监测方面应用广泛<sup>[3]</sup>, 利用遥感影像提取湖泊水体面积, 覆盖范围广、信息丰富, 可提供长时间序列的数据资料。彭焕华等<sup>[4]</sup>基于 Landsat 数据研究了东洞庭湖区水面面积年内和年际变化, 探讨了水面面积与城陵矶水文站水位之间的相关关系, 线性模型和多项式模型均能准确描述; 柯文莉等<sup>[5]</sup>应用 MODIS 数据分析了不同季节洞庭湖水面面积与城陵矶水文站水位之间的关系, 确定丰水期相关性最高, 枯水期相关性较低; 张文等<sup>[6]</sup>利用 Landsat 和 GF 影像建立了鄱阳湖水面面积与水位之间的关系模型, 并对其进行了验证, 其拟合关系较好。本文基于 2017~2021 年的 Sentinel(哨兵)遥感影像, 采用随机森林法提取睦洞湖的水域面积, 以此为基础分析睦洞湖水面时空变化, 并结合实测睦洞湖水位和收集相邻水系的水文实测数据, 综合应用遥感影像、实测水位和相邻水系实测水位等多源数据, 研究睦洞湖水域面积与水位之间相关关系, 以期睦洞湖生态补水和水面恢复提供依据。

**收稿日期:** 2022-04-24, **修回日期:** 2022-06-24

**基金项目:** 国家重点研发计划(2019YFC0507502); 国家自然科学基金项目(51979046); 广西科技重大专项课题(桂科 AA20161004-1); 广西科技计划项目(桂科 AD19245056); 广西高校中青年骨干教师科研基础能力提升项目(2019KY0257)

**作者简介:** 彭昕悦(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水文学及水资源, E-mail: 3293553748@qq.com

**通讯作者:** 代俊峰(1980-), 男, 博士、教授, 研究方向为水资源高效利用与水环境, E-mail: whudjf@163.com

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

采用 2017~2021 年的 Sentinel 卫星影像数据,从欧洲航天局官方网站 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) 下载,筛选云量小于 9.7% 且质量较好的遥感影像,共收集到 65 期有效数据。

睦洞湖水位数据来自安装在睦洞湖中心 (E110°12'42", N25°5'45") 的水位计,水位计型号为 HOBO 的 U20L-01 自记式压力水位计,设置为每隔 1 h 自动记录湖面水位,取均值作为日水位数据。同时收集了睦洞湖相邻水系的会仙站、良丰站、临桂四塘站水位数据。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 水体面积提取方法

面向对象的随机森林算法<sup>[7]</sup>依靠机器判别像元分类,可减少解译者的人为误差。随机森林为一种集成多个决策树的算法,对于输入的样本,每个决策树都会给出一个独立的判断,统计所有决策树的判断结果,依据少数服从多数的原则,以多数决策树的分类结果为该像元的最终分类结果<sup>[8,9]</sup>。

睦洞湖水面面积提取方法为:①利用 ENVI5.6.1 对 Sentinel 影像进行预处理,包括正射校正、大气校正、研究区掩膜裁剪。睦洞湖部分区域长满荷花或水葫芦,给水域面积提取带来难度。为了不影响分类精度,将研究区分为两部分,将西南部分作为定水面计算,对另一部分动水面利用随机森林分类进行水体提取。同时研究区的范围越小,分类越简单(如水陆二元分类),随机森林算法分类也越准确。②以睦洞湖采样过程中的实地野外调查及 Google Earth 上的遥感影像作为参考,选择训练样本。③运用随机森林算法将 Sentinel 影像分类后进行统计,像元个数乘以分辨率的平方,再加上定水面面积,计算结果为湖泊面积。

#### 2.2.2 数据分析方法

参考文献<sup>[10,11]</sup>中湖泊水位与面积关系的构建方法,睦洞湖水位与面积拟合关系表达式为:

$$Y = aX^m + bX^n + cX^l + \dots + q \quad (1)$$

式中, $Y$  为利用随机森林法提取的水域面积; $X$  为对应日期的睦洞湖水位; $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $q$  均为拟合系数; $m$ 、 $n$ 、 $l$  均为拟合关系的幂次。

拟合关系的精度采用相关性系数  $R^2$  来判断。

## 3 睦洞湖水面变化分析

### 3.1 睦洞湖水面面积时间变化分析

利用 0.61 m 分辨率的 QUIKBIRD 遥感影像分析表明,2006 年 11 月 3 日睦洞湖面积约为 90  $\text{hm}^2$ 。2017~2021 年 11 月睦洞湖平均水面面积 57.68  $\text{hm}^2$ ,比 2006 年减少了 35.91%。

2017~2021 年枯水期睦洞湖水面面积平均值变化(图 1)显示,近 5 年来睦洞湖水域面积呈较稳定的波动变化。这是由于 2011 年后,会仙湿地建设国家湿地公园,增强了湿地水资源保护意识和保护力度,睦洞湖水面减少的趋势得到有效遏制,会仙湿地生态环境逐步改善。

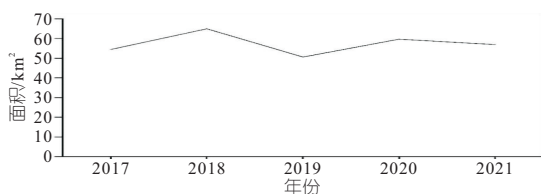


图 1 2017~2021 年枯水期睦洞湖水域面积

Fig. 1 Water area of Mudong Lake during dry period from 2017 to 2021

### 3.2 睦洞湖水面面积空间变化分析

从 2021 年相应月份中选取遥感影像数据,分析睦洞湖丰水期、平水期、枯水期的水面变化,见图 2。由图 2 可知,1 月枯水期水域面积为 49.64  $\text{hm}^2$ ,6 月丰水期水域面积为 77.16  $\text{hm}^2$ ,9 月平水期水域面积为 61.55  $\text{hm}^2$ ,丰平枯水期睦洞湖水面变化明显。

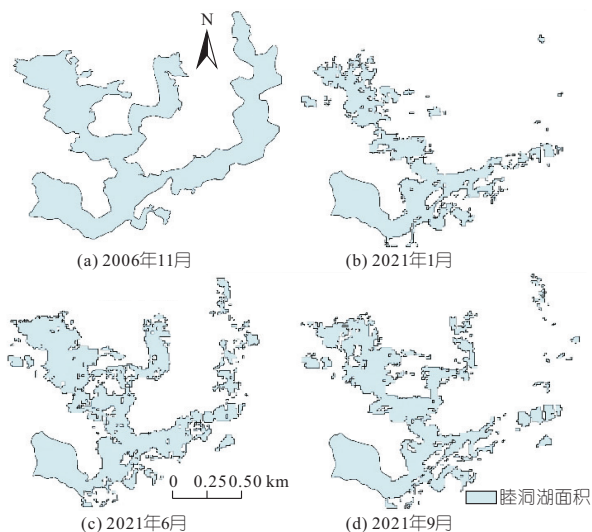


图 2 不同水期睦洞湖水域面积变化

Fig. 2 Change of water area of Mudong Lake at different water periods

通过对比分析发现,睦洞湖水域面积空间变化主要发生在水域北部。从丰水期到平水期,水域面积最先在东北方向收缩;从平水期到枯水期,水域面积进一步缩小,东北方向和正北方向已基本无水面,西北方向水域面积亦变小。图 2 显示,睦洞湖破碎化现象严重。

与 2006 年 11 月枯水期的水面相比,睦洞湖 2021 年丰水期才能达到与其相当的水域面积。与同是枯水期对比,2021 年睦洞湖的萎缩主要发生在北部和东北部。实地调查发现,睦洞湖东北部周围开垦了大量农田,需从睦洞湖中抽水灌溉,导致该区域长时间水位较低,水面面积萎缩。

### 3.3 睦洞湖水面面积与水位之间的关系

#### 3.3.1 水位推求

整理 2020 年 12 月 19 日至 2021 年 9 月 30 日睦洞湖中心水位的实测数据,分别与相邻的会仙站、良丰站、临桂四塘站水位拟合(图 3),趋势拟合选取二次多项式拟合程度最高,确定性系数  $R^2$  分别为 0.80、0.74、0.62,会仙站与睦洞湖中心水位总体趋势拟合最好。水位拟合程度由高到低分别为会仙站、良丰站、临桂四塘站,对应与睦洞湖的距离由近到远,说明水位关系的拟合程度与距离成反比。

利用 2017~2021 年会仙站水位推求睦洞湖的水位,再将 Sentinel 影像提取的睦洞湖水域面积与对应日期的睦洞湖水位建立关系曲线。对睦洞湖水域面积与水位分别进行线性拟合和二次多项式拟合(图 4),其相关系数分别为 0.73、0.75。

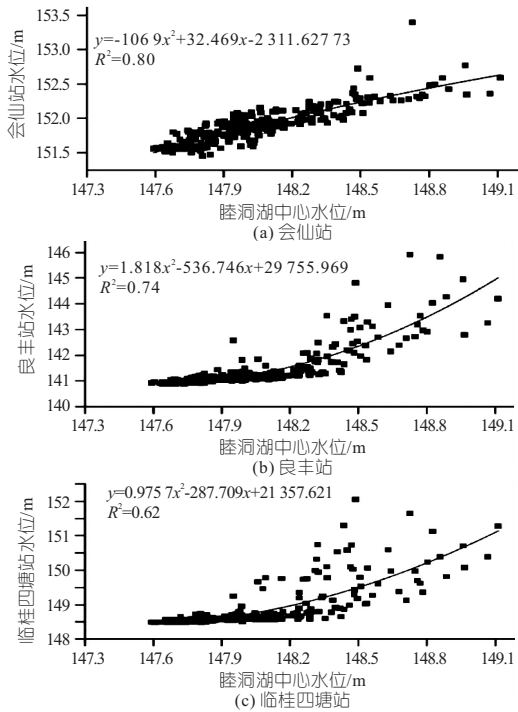


图 3 睦洞湖中心水位与周边水文站水位拟合

Fig. 3 Water level in the center of Mudong Lake fits water level of surrounding hydrological stations

#### 3.3.2 湖区水域面积与水位的关系曲线

根据拟合的睦洞湖水位与会仙站水位关系,

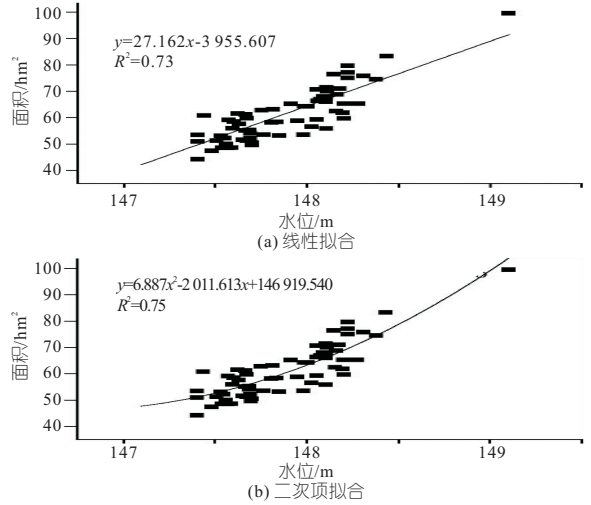


图 4 2017~2021 年睦洞湖水位与面积拟合关系

Fig. 4 Fitting relationship between water level and area of Mudong Lake from 2017 to 2021

为了更精准地分析睦洞湖水域面积与水位之间的变化关系,按丰平枯三个水期对睦洞湖水位—面积关系进行二次多项式拟合,结果见图 5。由图 5 可看出,不同水期水域面积与水位拟合关系存在差异,其中枯水期的水域面积的拟合度最低,相关系数只有 0.60;丰水期和平水期的拟合度均相对较高,相关系数分别为 0.90、0.86。

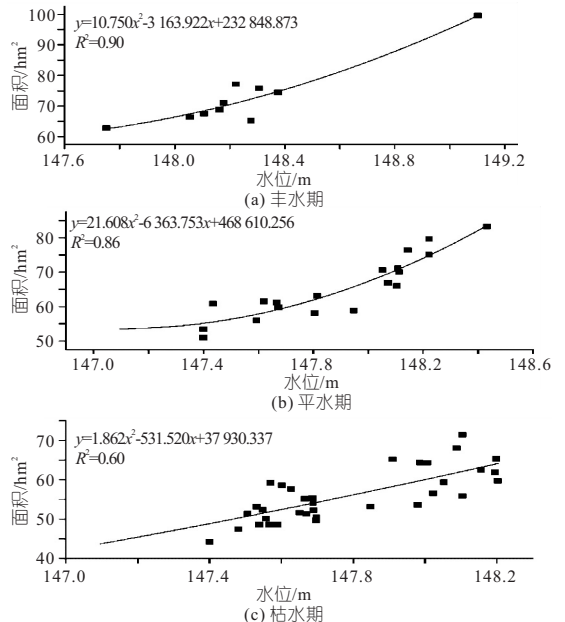


图 5 不同水期睦洞湖水位—面积关系

Fig. 5 Relationship between water level and area of Mudong Lake at different water periods

从整体拟合情况来看,睦洞湖水位一面积拟合程度低于大型湖泊,如鄱阳湖<sup>[6]</sup>、洞庭湖<sup>[4]</sup>等湖泊水面面积与水位拟合系数均在 0.90 以上,其原因可能为:①鄱阳湖、洞庭湖等湖泊水域面积均很大,用 30 m 空间分辨率的 Landsat 影像研究湖区精度是合适的;而对于睦洞湖,其大小在 40~100 hm<sup>2</sup> 之间,利用 10 m 空间分辨率研究湖区时,睦洞湖水位上涨导致湖区边界的扩张也不能很好地体现;②鄱阳湖、洞庭湖等湖泊在长江与湖泊汇入口处均建有水位站,水域面积可与水位直接拟合,而睦洞湖湖区并无水位站,长序列的睦洞湖水位是由利用安装于睦洞湖的水位计水位与附近水文站水位拟合推求的,这也会带来一定的误差。

由图 5 可看出,当睦洞湖处于丰水期时,睦洞湖水域面积与水位拟合更好;当睦洞湖处于枯水期时,睦洞湖水域面积与水位拟合度较低。这是因为丰水期时水域面积大,利用遥感影像提取水域面积会更准确;枯水期时水位下降,不仅水域面积减少,水域面积破碎化也会更严重,导致水域面积与水位拟合程度下降。

从丰枯水期睦洞湖水域面积变化速率来看,当水位较低时,睦洞湖水域面积随水位变化增长速率较缓慢,当水位较高时,睦洞湖水域面积随水位增长加快,这与睦洞湖实际地形状况相符。睦洞湖湖底呈盆状,较平坦,周边被村民开垦成农田,当水面漫上农田,水域面积快速增加。

### 3.4 水位一面积关系拟合验证

利用 2018 年 2 月 6 日 3.24 m 分辨率的 GF2 遥感影像及 2018 年 6 月 10、14 日 2 m 分辨率的 GF1 遥感影像提取水域面积,对拟合的水位一面积曲线进行验证,采用对应水位拟合面积与遥测面积的相对误差进行检验,见表 1。由表 1 可看出,通过水位一面积曲线拟合的水域面积与遥感提取面积的误差分别为 -13.5%、-5.92%、0.48%。丰水期的误差范围在 6% 以内,表明睦洞湖丰水期采用水位一面积关系估算水域面积可行,枯水期水位一面积曲线拟合度的相对误差稍大。在目前能开放获取的遥感影像条件下,针对睦洞湖缺少高分辨率的遥感影像和水位资料的情

表 1 水位一面积关系曲线预测面积与遥测面积比较

Tab. 1 Comparison between predicted and extracted water area

时间	预测面积/hm <sup>2</sup>	遥测面积/hm <sup>2</sup>	误差/%
2018-02-06	59.965	52.832	13.50
2018-06-10	68.028	64.227	5.92
2018-06-14	68.386	68.713	-0.48

况,枯水期的误差虽稍大些,但也在可接受范围内,为进一步计算睦洞湖水位一容积提供依据。

## 4 结论

a. 2017~2021 年会仙湿地核心区睦洞湖面积保持稳定,水面面积减少趋势得到有效遏制,湿地保护效果显著。丰枯水期睦洞湖水面变化明显,水面变化主要出现在睦洞湖的北部和西北部。

b. 睦洞湖丰、平、枯水期水位与水面面积的相关性系数分别为 0.90、0.87、0.60,丰水期相关性系数明显高于枯水期。丰水期拟合的水域面积与遥感影像提取的水域面积误差小于 6%,拟合效果较好;枯水期的误差相对较大,为 13.5%。

致谢:感谢南方石山地区矿山地质环境修复工程技术创新中心给予的室内外支持。

### 参考文献:

- [1] 蔡德所,马祖陆. 会仙岩溶湿地生态系统研究[M]. 北京:地质出版社,2012.
- [2] 宋求明,熊立华,肖义,等. 基于 MODIS 遥感影像的洞庭湖面积与水位关系研究[J]. 节水灌溉,2011(6):20-23,26.
- [3] 李蒙,严登华,刘少华,等. 近 40 年来纳木错水面面积及蓄水量变化特征[J]. 水电能源科学,2017,35(2):41-43,52.
- [4] 彭焕华,张静,梁继,等. 东洞庭湖水面面积变化监测及其与水位的关系[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(12):2770-2780.
- [5] 柯文莉,陈成忠,吉红霞,等. 洞庭湖水面面积与城陵矶水位之间的绳套关系[J]. 湖泊科学,2017,29(3):753-764.
- [6] 张文,崔长露,李林宜,等. 基于长时间序列遥感数据的鄱阳湖水面面积监测分析[J]. 水文,2019,39(3):29-35,21.
- [7] 郑利林,徐金英,王晓龙. 随机森林算法在湿地研究中的应用[J]. 湿地科学,2019,17(1):16-24.
- [8] BREIMAN L. Bagging predictors[J]. Machine learning, 1996,24(2):123-140.
- [9] BREIMAN L. Random forests[J]. Machine learning,2001,45:532.
- [10] 张楠楠,王文,王胤. 鄱阳湖面积的卫星遥感估计及其与水位关系分析[J]. 遥感技术与应用,2012,27(6):947-953.
- [11] 李鹏,封志明,姜鲁光,等. 鄱阳湖天然湖面遥感监测及其与水位关系研究[J]. 自然资源学报,2013,28(9):1556-1568.

参考文献:

[1] 黄昌兴, 周国良, 郑磊, 等. 登陆我国台风的时空分布特征及其影响[J]. 水文, 2014, 34(6):81-85.

[2] 黄峰中, 周玉良, 周平, 等. 安徽省近 60 年台风降水特征分析[J]. 水电能源科学, 2019, 37(12):1-5.

[3] 陈佩燕, 杨玉华, 雷小途, 等. 我国台风灾害成因分析及灾情预估[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1):64-73.

[4] YING M, ZHANG W, YU H, et al. An overview of the China Meteorological Administration tropical cyclone database[J]. Journal of atmospheric and oceanic technology, 2014, 31(2):287-301.

[5] LU X, YU H, YING M, et al. Western north pacific tropical cyclone database created by the china meteorological administration [J]. Advances in atmospheric sciences, 2021, 38(4):690-699.

[6] MANN H B. Nonparametric test against trend[J].

Econometrica, 1945, 13(3):245-259.

[7] RAO A R, BHATTACHARYA D. Hypothesis testing for long-term memory in hydrologic series[J]. Journal of hydrology, 1999, 216(3):183-196.

[8] LI R C Y, ZHOU W, SHUN C M, et al. Change in destructiveness of landfalling tropical cyclones over China in recent decades[J]. Journal of climate, 2017, 30(9):3367-3379.

[9] HONG C C, TSOU C H, HSU P C, et al. Future changes in the tropical cyclone intensity and frequency over the Western North Pacific based on 20-km HiRAM and MRI models[J]. Journal of climate, 2020, 34(6):1-47.

[10] CHOU JIEMING, DONG WENJIE, TU GANG, et al. Spatiotemporal distribution of landing tropical cyclones and disaster impact analysis in coastal China during 1990-2016[J]. Physics and chemistry of the earth, parts A/B/C, 2020, 115:102830.

### Analysis of Characteristics of Typhoon Disasters in Coastal Areas of China

WANG Zhen-kang<sup>a,b</sup>, YONG Bin<sup>a,b</sup>

(a. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering;

b. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to explore the impact of landfall typhoons in China's coastal areas, based on the typhoon data and socioeconomic data from 1949 to 2020, M-K trend analysis, R/S analysis, wind and rain analysis, and disaster quantification and other research methods were used to comprehensively analyze the temporal and spatial changes, wind and rain characteristics and disaster situation of landfall typhoons in China. The research results show that the number of typhoons landing in China is decreasing, and the duration is prolonged. In terms of intensity, there is a situation of "weak decrease and strong increase", and the landfall sites are shifted to the east and north. Both the wind speed and precipitation of the landfall typhoon showed an upward trend. Considering the maximum value, it was found that the wind speed and precipitation showed a significant increase trend. The impact of typhoon has gradually evolved into a disaster pattern that has shifted from the secondary industry to the primary and tertiary industries. The research results can provide data support and scientific basis for reducing the economic losses of typhoon disasters.

**Key words:** typhoon; spatiotemporal variation; wind and precipitation analysis; M-K test; R/S analysis; economic loss



(上接第 55 页)

### Analysis of Variation of Water Surface in Core Area of Huixian Karst Wetland Based on Multi-source Data

PENG Xin-yue<sup>1</sup>, ZHANG Hong-yan<sup>2</sup>, DAI Jun-feng<sup>3</sup>, XU Jing-xuan<sup>4</sup>,  
BAI Kai-hua<sup>3</sup>, XU Bao-li<sup>2</sup>, LI Zhe-qing<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Guangxi Collaborative Innovation Center for Water Pollution Control and Water Security in Karst Region, Guilin 541004, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin 541004, China; 4. Guilin Hydrology Center, Guilin 541000, China)

**Abstract:** Due to the disturbance of human activities and the influence of climate change, the water area of Mudong Lake, the core area of Huixian Wetland, the largest karst landform original wetland in the Lijiang River Basin, has shrunk and faced severe ecological and environmental risks. Using the Sentinel remote sensing image data of 65 scenes from 2017 to 2021, the water area of Mudong Lake was extracted by random forest classification. The temporal and spatial changes of the water area of Mudong Lake in the past five years were analyzed to explore the correlation between the water level and area of Mudong Lake. The results show that the water area of Mudong Lake has been relatively stable in the past five years, but the changes in the wet and dry periods are obvious; The area changes are mainly distributed in the northern part of the lake area; The correlation between water level and area is relatively good, and the correlation coefficients of different water periods are different; The correlation coefficients of the wet periods and dry season are 0.90 and 0.60, respectively.

**Key words:** wetlands; water surface area; water level; remote sensing images; abundant and dry periods