

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20210008

# 基于 Google Earth Engine 的鄱阳湖面积时空变化及驱动因素分析

姬梦飞, 汤军, 高贤君, 杨元维, 吴贞江

(长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100)

**摘要:**长时间序列的湖泊动态监测对湖泊资源合理利用及生态环境保护有重要意义。以 Google Earth Engine 云平台为技术支持, 选用 1989~2019 年鄱阳湖 Landsat 影像, 在归一化差分水体指数 (NDWI)、改进归一化差分水体指数 (MNDWI) 和自动水提取指数 (AWEI) 中选用最适水体指数提取鄱阳湖水体; 通过分析鄱阳湖面积的时空变化, 研究鄱阳湖面积与降水、长江和鄱阳湖水量交换以及土地利用的关系。结果表明: (1) 鄱阳湖面积呈现下降趋势, 其中西部和西南部是鄱阳湖主要的缩减区, 湖泊面积变化季节性明显, 夏季湖泊面积较大, 冬季湖泊水面缩减分散。(2) 降水、长江与鄱阳湖的水量交换是影响鄱阳湖面积的重要因素, 三峡水库运营使江湖水量交换发生变化。(3) 围湖造田等人类活动侵占湖泊同样使湖泊减少。

**关键词:**鄱阳湖; Google Earth Engine; 水体指数; 时空变化

**中图分类号:** TP79; TV211.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0852(2021)06-0040-008

## 0 引言

湖泊具有调节河川径流, 改善区域生态环境的作用, 湖泊面积变化往往能够反映出气候及人类活动对水循环造成的影响。鄱阳湖是中国最大的淡水湖, 人类长时间的开发利用, 使其生态环境受到严重破坏, 有研究表明在 2000~2010 年间, 鄱阳湖水域面积萎缩速率为  $30.2 \text{ km}^2/\text{a}^{[1]}$ 。鄱阳湖地区是维护长江流域生态功能的重点区域, 其生态环境的保护将为人类经济发展与生态改善提供一个新模式<sup>[2]</sup>。因此, 对鄱阳湖水域面积进行遥感监测有利于为鄱阳湖流域生态建设、水资源管理、经济发展提供数据参考。

遥感技术为大规模湖泊监测提供了快速且有效的方法, 其中水体指数法在水体提取中应用较为广泛<sup>[3]</sup>。Alejandro 等使用 NDWI、MNDWI 和 AWEI 分析了哥伦比亚河的河床变化, 证明水体指数在湖泊提取中

的有效性<sup>[4]</sup>。王大钊等用 NDWI、MNDWI、AWEI 和基于线性判别分析的水体指数 (WI) 进行鄱阳湖水体提取, 分析比较不同水体指数的精确度<sup>[5]</sup>。杨莹等基于 Landsat 5 影像, 用 NDWI 和 MNDWI 对洪泽湖水体进行了提取, 提取精度分别为 89% 和 85.5%, 徐涵秋等以 Landsat 8 影像为数据, 实现了试验区水质监测, 证明了 Landsat 影像在水体监测中的优势<sup>[6-7]</sup>。但是以上研究未实现对研究区水体的长时间监测, 且传统的遥感影像处理方法难以实现海量影像的快速处理, 大量遥感影像的处理及信息提取将耗时耗力。

Google Earth Engine (GEE) 是目前世界上先进的 Petabyte (PB) 级地理数据科学分析及可视化平台, 储存着全球尺度长时间序列的 Landsat、MODIS、Sentinel 等开源数据集<sup>[8]</sup>。大数据时代背景下, GEE 为海量数据获取、处理、计算与分析提供了强大的支持, 以突破时间和空间的限制为优势, GEE 成为地学研究的强有

收稿日期: 2020-01-03

基金项目: 自然资源部地理国情监测重点实验室开放基金资助项目 (2020NGCM07)

作者简介: 姬梦飞 (1995—), 男, 山西晋城人, 硕士, 主要研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail: 905309299@qq.com

通信作者: 汤军 (1964—), 男, 陕西勉县人, 博士, 教授, 主要研究方向为矿产普查、地球探测与信息技术、地理信息系统。E-mail: 374216030@qq.com

力工具<sup>[9]</sup>。通过Python和JavaScript提供的应用程序接口,GEE可以实现复杂的地理空间分析,为大范围、长时间序列的遥感分析开拓新方法。本研究基于GEE平台,选取1989~2019年覆盖鄱阳湖的Landsat 5 TM和Landsat 8 OLI遥感影像数据进行湖泊面积动态监测,定量分析鄱阳湖面积变化特征,为基于GEE平台的水体提取与监测提供方法参考,同时为鄱阳湖地区生态系统保护和水资源配置提供决策支持。

## 1 研究区与数据源

### 1.1 研究区概况

鄱阳湖位于长江下游,江西省北部(28°22'~29°45'N、115°47'~116°45'E),由五条河流(赣江、抚河、信江、饶河、修河)和一条连接长江的出口构成。鄱阳湖属于亚热带季风气候,年平均气温为17.1℃,气候温和,但降水时空分布不均。在4~9月,各湖区彼此连接,湖水覆盖面积超过3 000km<sup>2</sup>;在10~3月,湖区被面积小于1 000 km<sup>2</sup>的裸地分割<sup>[10]</sup>。本研究区范围如图1所示。

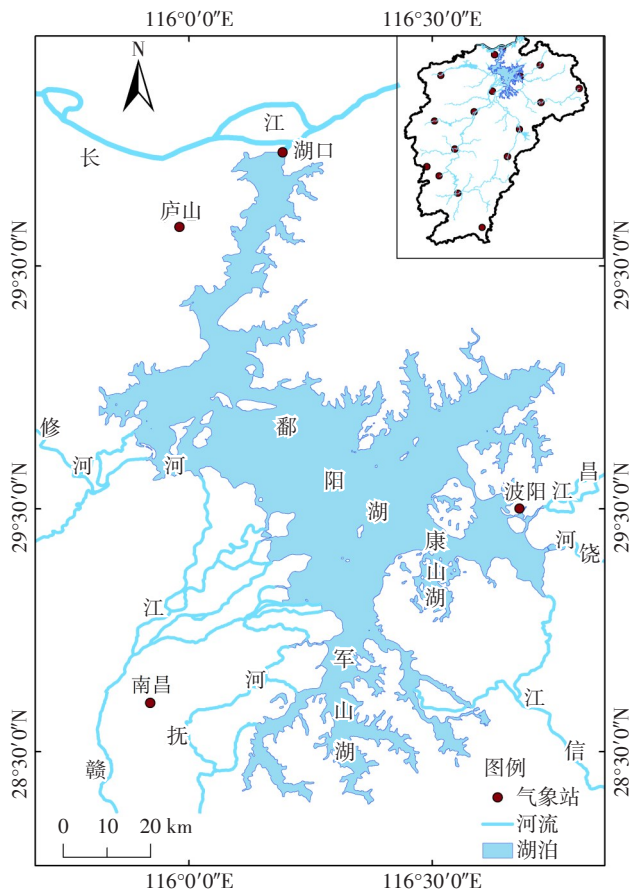


图1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

### 1.2 数据来源

#### 1.2.1 Landsat 遥感影像数据

为实现鄱阳湖长时间序列湖水面积动态监测,本研究基于GEE平台选取7~12月覆盖鄱阳湖且云量少于20%的Landsat遥感影像共323景作为数据源,遥感影像已经过辐射校正、几何校正和去云处理。因Landsat 5卫星于2011年停止获取遥感影像,为获取满足时间序列要求的遥感影像,故采用两种类型传感器,且研究所用波段在两种传感器中有相同的空间分辨率,不会影响研究数据的一致性。所选取的数据被分为夏季(7~8月)和冬季(11~12月)用于水体提取。因1997年数据缺失,而使用1998年数据。数据信息见表1和图2。

表1 遥感影像信息

Table1 Remote sensing image information

传感器类型	获取时间	分辨率/m	数量/景
Landsat5 TM	1989~2011	30	236
Landsat8 OLI	2013~2019	30	87

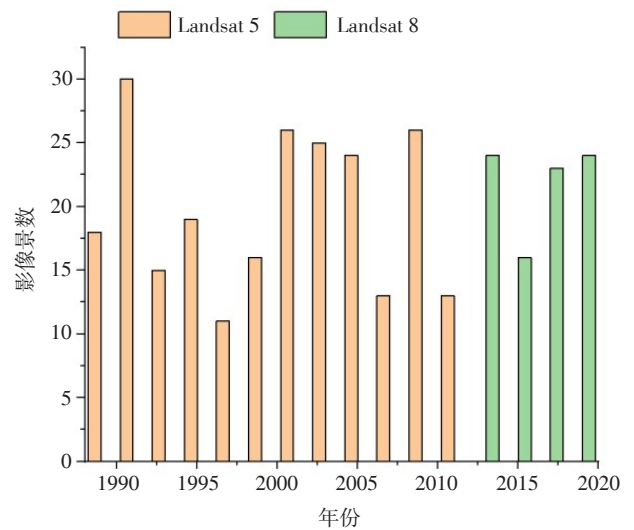


图2 Landsat 5/8 影像数

Fig.2 The number of Landsat 5/8 image

#### 1.2.2 气象数据

从中国气象数据网(<https://data.cma.cn/>)获取鄱阳湖流域宜春、吉安、景德镇、贵溪、玉山、波阳、南城、修水、广昌、庐山、南昌、樟树、井冈山、遂川、赣川和寻乌气象站1989~2019年夏季和冬季逐日降水数据,数据无缺失。气象数据经GIS软件空间插值计算出鄱阳湖逐年夏季和冬季月平均降水量<sup>[11]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 水体指数计算与选择

水体在可见光范围内和近红外波段有较低的反射率,根据水体的反射光谱特征,运用水体指数能将水体信息在遥感影像中突出显示。本文选取归一化差分水体指数(NDWI)、改进归一化差分水体指数(MNDWI)和自动水提取指数(AWEI)进行指数计算。GEE中,不同波段信息在Landsat系列卫星有不同编号(见表2),根据波段编号信息编写代码完成水体指数计算。

表2 Landsat 5/8 影像波谱波段信息

Landsat 卫星	BLUE	GREEN	NIR	MIR	MIR <sub>2</sub>
Landsat 5	B1	B2	B4	B5	B7
Landsat 8	B2	B3	B5	B6	B7

为选择鄱阳湖水体提取最优水体指数,以1990、2001和2011年遥感影像数据为实验数据,用以上水体指数对鄱阳湖夏季和冬季水体进行提取。水体指数计算与选择有3个主要步骤:(1)根据波段编号信息用JavaScript编写水体指数计算函数,逐像元计算NDWI值、MNDWI值和AWEI值;(2)以0为阈值,将水体指数大于0的栅格定义为水体,否则为非水体;运用Mask函数对计算结果进行掩膜处理并提取样本,以支持向量机为分类器进行监督分类,将研究区分为水体和非水体;(3)在研究区随机生成500个均匀分布的样本点,将样本点文件转为KLM格式后连同分类结果导入到天地图,对分类结果进行实体判别,且所有实验采用相同的样本点;(4)构造混淆矩阵,计算水体分类总体精度(Overall Accuracy, OA)和Kappa系数,分别统计以上水体指数夏季和冬季OA平均值及Kappa系数平均值(见表3),选择鄱阳湖水体提取最优指数。

经统计,NDWI、MNDWI和AWEI的总体精度平均值分别为夏季0.93、0.92、0.91,冬季0.93、0.94、0.92,Kappa系数平均值分别为夏季0.84、0.82、0.81,冬季0.75、0.70、0.70。故选取NDWI为最优水体指数提取鄱阳湖水体。

### 2.2 水体面积统计

在GEE中利用NDWI提取的鄱阳湖水体影像被导入到GIS软件进行面积统计。因为Landsat卫星可以识别的最小水体面积是0.01km<sup>2</sup>,因此本研究仅分析

表3 水体指数精度统计

时间	水体指数	OA(夏)	Kappa(夏)	OA(冬)	Kappa(冬)
1990	NDWI	0.93	0.84	0.94	0.71
	MNDWI	0.90	0.82	0.94	0.67
	AWEI	0.91	0.82	0.93	0.67
2001	NDWI	0.92	0.83	0.92	0.77
	MNDWI	0.94	0.84	0.93	0.65
	AWEI	0.92	0.83	0.92	0.66
2011	NDWI	0.94	0.85	0.92	0.77
	MNDWI	0.91	0.81	0.94	0.78
	AWEI	0.90	0.79	0.92	0.77

面积大于0.01km<sup>2</sup>的水体<sup>[12]</sup>。

#### 2.2.1 萎缩比例

本研究以1989年鄱阳湖面积为基础参考水面面积,分析鄱阳湖面积时空动态变化,按式(4)计算鄱阳湖萎缩比例<sup>[13]</sup>。

$$ASR = 1 - \frac{S_c}{S_h} \quad (4)$$

式中:  $S_c$  为待评价湖泊水面面积;  $S_h$  为基础参考水面面积。计算结果大于0表示湖泊萎缩,小于0表示湖泊扩张,等于0湖泊面积无变化。

#### 2.2.2 标准差椭圆

标准差椭圆为湖泊面积时空分布特征的定量分析提供了整体和空间角度上的方法,椭圆中心、长轴、短轴和方位角等,是其基本参数<sup>[14]</sup>。其中,标准差椭圆的分布范围是鄱阳湖空间分布的主要范围;椭圆中心的移动代表了鄱阳湖面积重心的空间移动;方位角显示出鄱阳湖空间变化的主要方向;长轴标准差反映出湖泊面积在主要变化方向上的离散程度<sup>[15]</sup>,标准差椭圆相关数学表达式见参考文献[16]。

## 3 结果与分析

### 3.1 鄱阳湖水面时间动态变化

图3表示的是1989~2019年夏季与冬季鄱阳湖面积与萎缩比例变化趋势,可知鄱阳湖水体面积在夏季与冬季均存在明显波动,且从2003年开始波动加剧。除2017年冬季ASR值为-0.03,表明该时段湖水面积比1989年同期湖水面积有少量增加,其余时段的ASR值均大于0,说明鄱阳湖面积在研究时间段内总体呈现出减少趋势。

鄱阳湖面积季节变化同样明显,夏季与冬季平均

面积分别为 3 337 km<sup>2</sup>和 1 881 km<sup>2</sup>。这是因为鄱阳湖地区是亚热带季风区,降水具有明显的季节性差异。长江中上游在 7~9 月迎来主汛期,该时期内长江干流水位上涨,受长江强烈托顶作用,甚至江水倒灌现象的影响,鄱阳湖水位将会升高,各湖区连接从而形成更大的湖面<sup>[17]</sup>。1997~2005 年夏季,面积持续减少,2003 年、2005 年萎缩比例达到 0.11、0.18,面积较 1989 年夏季减少 410 km<sup>2</sup>和 681 km<sup>2</sup>。对夏季和冬季 ASR 值求取标准差得夏季 0.09,冬季 0.16,面积在冬季较历史参考水面面积有更严重的缩减,平均减少面积 688.6 km<sup>2</sup>,其中 2019 年萎缩比例达 0.54,面积缩减 1 374 km<sup>2</sup>。

### 3.2 鄱阳湖水面积空间动态变化

为突出显示鄱阳湖空间变化规律,在图 3 中选取夏季 ASR 大于 0.1(2005 年、2009 年、2011 年、2013 年和 2015 年),冬季 ASR 大于 0.35(1991 年、2005 年、2007 年、2013 年和 2019 年)的鄱阳湖水体影像作为代表性数据,与 1989 年夏季和冬季影像数据叠加。

结果表明,1989~2019 年,鄱阳湖主湖区与南部的陈家湖、杨坊湖缩减严重,而南部的军山湖是封闭性水体,其西部地势较低,水体得以常年保存(见图 4)。

在夏季,鄱阳湖缩减区域主要分布在主湖区西部与西南部,两个区域年平均缩减面积 405.5 km<sup>2</sup>,康山湖北部湖区永久消失,消失面积 25 km<sup>2</sup>。冬季除军山湖,各湖区逐渐干涸缩减且不再连接,湖面破碎,斑块化明显,北部湖区与中心湖区破碎最为明显。在冬季,北部湖口区由夏季条带状湖面减少为狭长河道,中心湖区由中心向四周缩减,显现出大面积干涸区,2019 年中心湖区几乎全部消失。

为直观分析鄱阳湖空间变化特征,选用标准差椭圆分析鄱阳湖分布中心性、方向性及空间形态。表 4、5 是由 GIS 软件计算得出的鄱阳湖冬夏两季湖面标准差

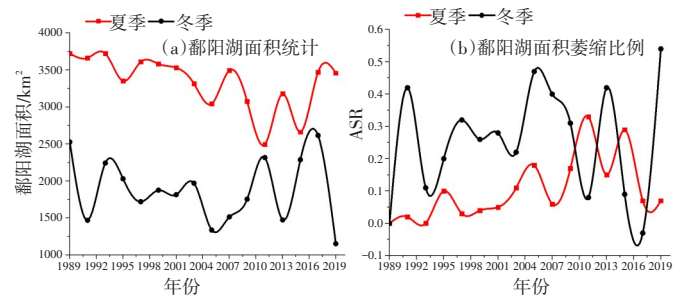


图 3 1989~2019 年鄱阳湖面积变化

Fig.3 The changes of water area of Poyang Lake during 1989~2019

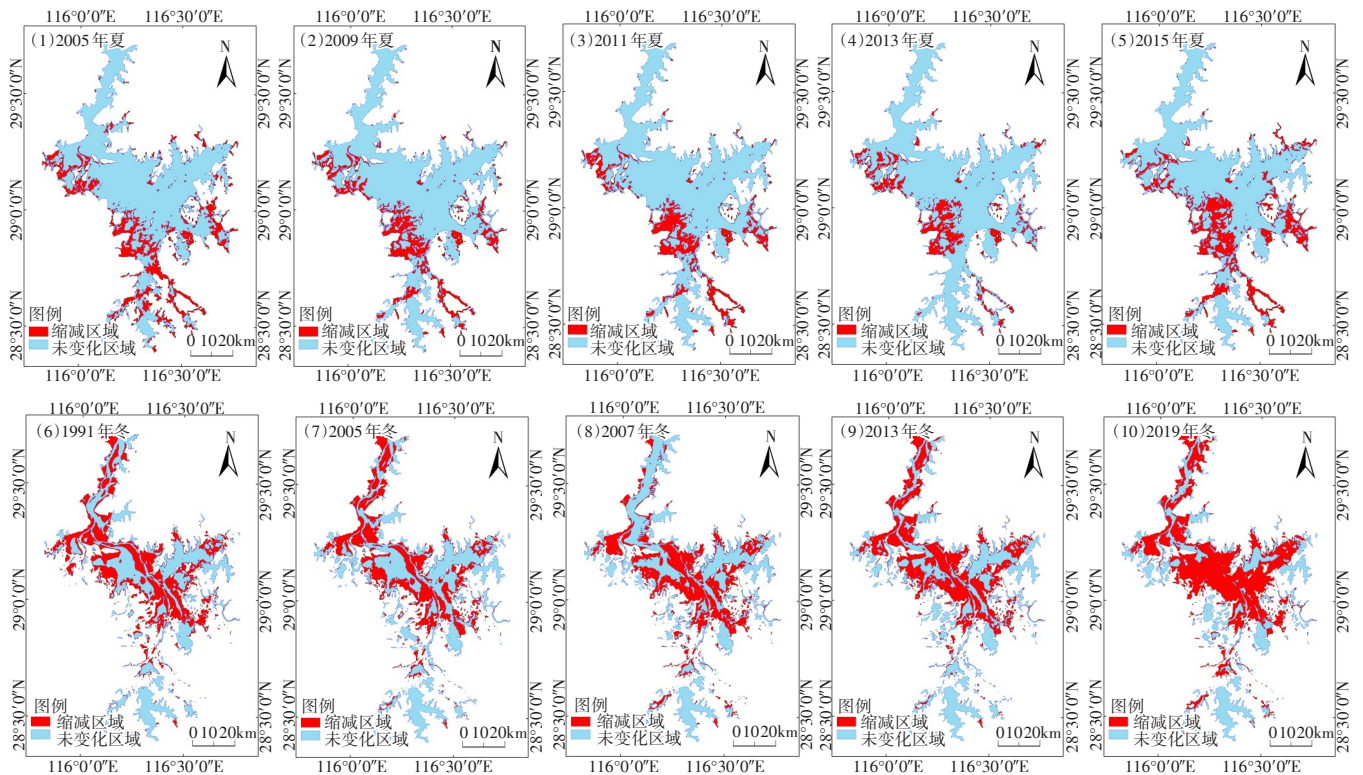


图 4 鄱阳湖面积变化空间特征

Fig.4 Spatial characteristics of the area change of Poyang Lake

椭圆信息。图5表示的是代表时期鄱阳湖面积标准差椭圆,反映出湖面空间分布离散趋势,由图中可以看出夏季,椭圆中心逐渐向东北移动,长轴指向由东南-西北向转为南-北向,反映出夏季鄱阳湖西部水域缩减严重,北部湖区和南部军山湖成为主要湖区。随着西部湖区缩减,椭圆扁率逐渐增大,湖区在东西向分布更加集中。

冬季,椭圆中心逐渐向南偏移,长轴指向由南-北向转为东南-西北向,反映出冬季鄱阳湖由中心水域逐渐向四周干涸,西北湖区与东南湖区成为主要湖区。椭圆覆盖面积变大,扁率变小,鄱阳湖在冬季湖面破碎,在空间分布上趋于离散。

比较同年夏季与冬季标准差椭圆发现,椭圆中心向南方、西南方移动,椭圆覆盖面积由小变大,扁率由大变小,鄱阳湖由夏季的南北延伸、东西集中分布转为冬季的干涸离散分布。

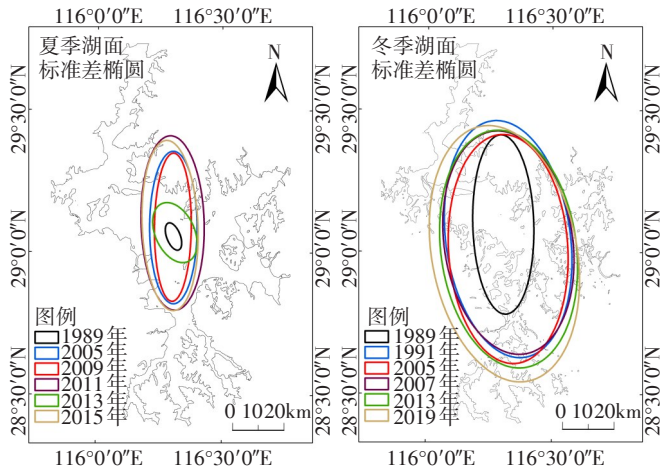


图5 不同时期鄱阳湖空间分布离散趋势

Fig.5 Dispersion trend of spatial distribution of Poyang Lake in different periods

表4 鄱阳湖夏季湖面标准差椭圆信息

Table4 The Standard deviational ellipse information of Poyang Lake in Summer

年份	椭圆中心坐标	长轴/m	短轴/m	方位角
1989	116.31°E, 29.06°N	5613.94	2645.54	158.85
2005	116.31°E, 29.09°N	29693.47	9239.59	179.99
2009	116.31°E, 29.09°N	28850.16	7169.62	179.43
2011	116.29°E, 29.10°N	33953.42	12277.82	178.42
2013	116.31°E, 29.07°N	12368.32	7631.34	155.40
2015	116.30°E, 29.11°N	33174.26	10855.46	177.58

表5 鄱阳湖冬季湖面标准差椭圆信息

Table5 The Standard deviational ellipse information of Poyang Lake in winter

年份	椭圆中心坐标	长轴/m	短轴/m	方位角
1989	116.31°E, 29.01°N	35003.82	11873.57	178.39
1991	116.33°E, 29.05°N	46579.59	24257.63	172.27
2005	116.33°E, 29.03°N	44765.42	23215.85	176.48
2007	116.33°E, 29.03°N	43904.63	25004.62	171.76
2013	116.33°E, 29.01°N	46672.16	26395.06	172.43
2019	116.31°E, 28.98°N	50567.41	28270.41	169.78

#### 4 鄱阳湖面积变化驱动因素

##### 4.1 降水的影响

在自然条件下,鄱阳湖面积变化受到大气降水的直接影响。图6表示的是鄱阳湖面积与降水量的变化趋势,图中鄱阳湖地区降水季节性明显,其夏季降水明显多于冬季降水。夏季降水变化趋势与湖泊面积变化趋势有较高的同步性,表明夏季降水在一定程度上影响着湖泊面积,但是在2009年、2013年和2015年出现了降水量与湖泊面积不同步现象,这些现象可能与三峡水库运行有关。以2003年三峡水库开始蓄水年份为节点,2003~2019年多年夏季平均降水量较1989~2001年减少40mm,夏季平均湖泊面积减少465km<sup>2</sup>。入冬后降水量减少,降水量与湖泊面积变化趋势同步性较差。

##### 4.2 长江与鄱阳湖水量交换

湖口是长江与鄱阳湖的汇合点,有强烈的汛期和枯水期水量交换差异。7~9月长江对鄱阳湖的托顶作用使鄱阳湖水位稳定在较高数值,9月后随着长江水位下降湖水出流,湖区水位降低<sup>[18]</sup>。经相关性分析,湖

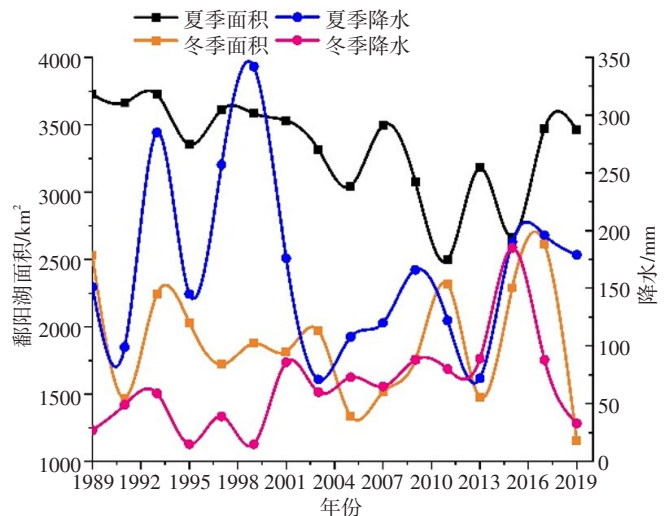


图6 1989~2019年鄱阳湖面积与降水量变化曲线

Fig.6 Change curve of Poyang Lake area and precipitation during 1989~2019

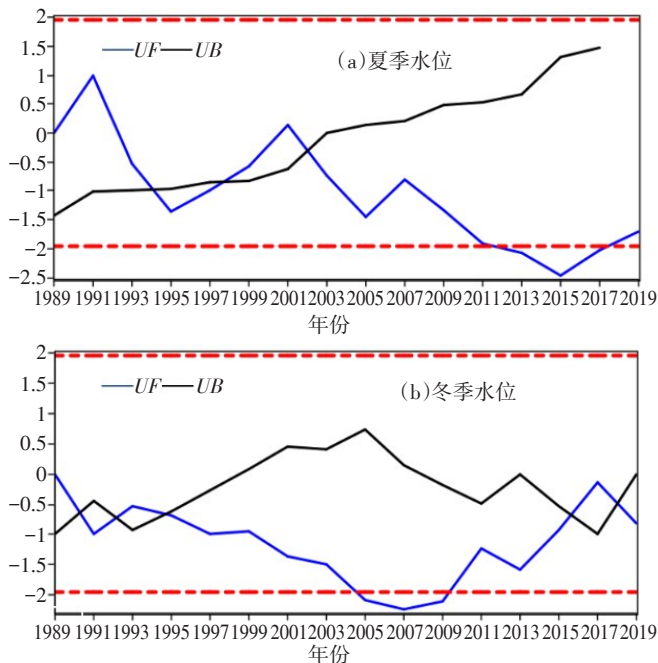


图7 1989~2019年湖口站水位M-K趋势分析

Fig.7 1989~2019 Hukou station water level M-K trend analysis

口夏季、冬季水位与湖泊面积的  $R^2$  分别为0.95、0.98, 相关性较高, 可以用此数据代表湖泊面积分析江湖水量差异。运用 Mann-Kendall (M-K) 非参数检验法对湖口夏季和冬季水位进行95%置信度的趋势变化分析, 若  $UF < 0$ , 表明水位呈现下降趋势, 否则呈现上升趋势。若  $|UF| > 1.96$ , 水位变化显著。若  $UF = UB$ , 且  $|UF| < 1.96$ , 则该点为突变点。

图7表示的是湖口夏季和冬季1989~2019年水位的M-K统计量, 由图可知冬夏两季UF负值较多, 表明水位总体呈现下降趋势。分析夏季统计量, 湖口水位在1995年、1998年和2003年出现突变点, 2011年、2013年、2015年和2017年水位变化显著。结合图6a, 1995年降水较1993年大量减少, 湖区受到五河及长江的水量补给减少, 1998年长江流域发生全流域洪水使湖区水位升高, 2003年夏季不仅持续干旱, 而且三峡水库于该年6月开始蓄水, 长江对鄱阳湖的作用减弱。查阅资料得知, 三峡运行可以改变江湖水量交换, 2011年和2015年鄱阳湖受长江倒灌水量减少, 使得湖区水位降低, 其中2011年减少  $13.99 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[19]</sup>, 2015年未发生倒灌。2013年、2017年长江作用较2011年和2015年增强, 湖口水位上升。

11~12月是鄱阳湖的枯水期, 随着长江托顶作用的减小, 鄱阳湖湖水流入长江。三峡水库汛后蓄水使长江干流水位降低, 这也加速了鄱阳湖的湖水出流速度。分析冬季统计量, 湖口水位在2005~2009年变化显著, 在1995年、2015年和2019年出现突变点。结合图6b, 2005~2009年,

鄱阳湖冬季持续干旱, 且三峡水库在9~10月蓄水, 使湖口水位较历年显著降低。1995年与2019年冬季降水均是急剧较少, 湖口水位也突发性降低, 但是受三峡水库蓄水影响, 2019年较1995年湖泊面积缩减更为严重。查阅资料得知, 冬季降水量会制约三峡水库蓄水对湖口水位的影响, 降水多则三峡蓄水对湖泊水位降低的作用小, 所以在冬季降水较多的2015年湖泊面积相对增加<sup>[20]</sup>。

### 4.3 土地利用变化

城市扩张和围湖造田是人类经济活动的重要组成部分。作为人类活动的直观映射, 土地利用折射出人类对鄱阳湖资源的开发利用情况。在GEE云平台下使用多传感器数据和机器学习分类器, 可以对土地类型进行精准分类<sup>[21]</sup>。以GEE平台中2015年、2019年哥白尼全球土地利用 (Copernicus Global Land Cover Layers) 100m分辨率数据、2009年全球覆盖 (GlobCover: Global Land Cover Map) 300m分辨率数据和2001年MODIS全球土地利用 (MCD12Q1.006 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m) 数据为参考, 对鄱阳湖流域通过监督分类获得100m分辨率土地利用数据, 进行转移矩阵计算, 提取城市、耕地、水体、林地、裸地各时期面积。因鄱阳湖冬季湖面缩减, 且1989~2000年人类活动相对较弱, 分类影像选择1989年、1999年、2009年和2019年夏季影像, 研究区域为鄱阳湖轮廓线外接矩形区, 分类总体精度为0.93, Kappa系数为0.88。

表6表示的是1989~2019年鄱阳湖地区土地利用变化情况, 表中研究区水体面积持续减少, 围湖造田成为鄱阳湖区域水体长期消失的重要原因, 耕地侵占水体面积在水体减少面积中占83%、40%、78%。随着社会发展、城市扩张和人口增长, 鄱阳湖岸线逐渐退缩, 部分湖床显露出水面, 在遥感影像中显现为草地或林地。这也可以解释为什么2009年夏季, 鄱阳湖会出现面积缩减, 湖床大面积显露的现象 (见图4b)。

表6 1989~2019年鄱阳湖水体变化情况

Table6 Changes in Poyang Lake Water during 1989~2019

转入类型	水体面积变化/km <sup>2</sup>		
	1989~1999年	1999~2009年	2009~2019年
耕地-水体	166.38	254.67	128.09
城市-水体	179.22	4.2	12.69
林地-水体	124.86	51.07	102.04
裸地-水体	5.45	3.33	6.62
水体-耕地	462.19	322.76	507.21
水体-城市	6.94	44.01	44.85
水体-林地	82.82	448.31	96.77
水体-裸地	0.51	6.55	0.72

## 5 结论

本文基于GEE平台,探究鄱阳湖面积时空演变,并从自然因素和人为因素分析了鄱阳湖面积变化驱动因素。研究表明:(1)1989~2019年,鄱阳湖西部地区和西南地区缩减严重,康山湖东部湖区永久消失。鄱阳湖面积变化季节性明显,夏季各湖区彼此连接,分布集中,冬季湖面破碎分散。(2)降水、鄱阳湖与长江的水量交换是影响鄱阳湖面积变化的重要驱动因素,三峡水库蓄水后使水量交换发生改变,鄱阳湖面积变化趋于复杂。枯水期三峡水库对鄱阳湖面积的影响受降水制约,较多的降水会缓解三峡水库蓄水对湖泊面积的削减。(3)随着人类对鄱阳湖流域资源的开发利用,围湖造田和城市扩张侵占湖泊,人类活动对鄱阳湖面积变化造成严重影响。

### 参考文献

- [1] 孙芳蒂,马荣华. 鄱阳湖水文特征动态变化遥感监测[J]. 地理学报, 2020,75(3):544-557. (SUN Fangdi, MA Ronghua. Hydrologic changes of Poyang Lake based on radar altimeter and optical sensor [J]. Acta Geographica Sinica, 2020,75(3):544-557. (in Chinese))
- [2] 朱青,国佳欣,郭熙,等. 鄱阳湖区生态环境质量的空间分异特征及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2019,30(12):4108-4116. (ZHU Qing, GUO Jiaxin, GUO Xi, et al. Spatial variation of ecological environment quality and its influencing factors in Poyang Lake area [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019,30(12):4108-4116. (in Chinese))
- [3] 刘垚毅,田恬,曾鹏,等. 基于Google Earth Engine平台的1984—2018年太湖水域变化特征[J]. 应用生态学报, 2020,31(9):3163-3172. (LIU Yaoyi, TIAN Tian, ZENG Peng, et al. Surface water change characteristics of Taihu Lake from 1984-2018 based on Google Earth Engine [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020,31(9):3163-3172. (in Chinese))
- [4] Alejandro T, Julio C B. Analysis of changes in rivers planforms using google earth engine [J]. International Journal of Remote Sensing, 2020,41(22):8654-8681.
- [5] 王大钊,王思梦,黄昌. Sentinel-2和Landsat8影像的四种常用水体指数地表水体提取对比[J]. 国土资源遥感, 2019,31(3):157-165. (WANG Dazhao, WANG Simeng, HUANG Chang. Comparison of Sentinel-2 imagery with Landsat8 imagery for surface water extraction using four common water indexes [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2019,31(3):157-165. (in Chinese))
- [6] 杨莹,阮仁宗. 基于TM影像的平原湖泊水体信息提取的研究[J]. 遥感信息, 2010(3):60-64. (YANG Ying, RUAN Renzong. Research on the extraction of plain lake water information based on TM images [J]. Remote Sensing Information, 2010(3):60-64. (in Chinese))
- [7] 徐涵秋,唐菲. 新一代Landsat系列卫星:Landsat 8遥感影像新增特征及其生态环境意义[J]. 生态学报, 2013,33(11):3249-3257. (XU Hanqiu, TANG Fei. The new generation of Landsat series satellites: the new features of Landsat 8 remote sensing images and their ecological environmental significance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,33(11):3249-3257. (in Chinese))
- [8] 韩伟孝,黄春林,王昀琛,等. 基于长时序Landsat 5/8多波段遥感影像的青海湖面积变化研究[J]. 地球科学进展, 2019,34(4):346-355. (HAN Weixiao, HUANG Chunlin, WANG Yunchen, et al. Study on the area variation of Qinghai Lake based on long-term Landsat 5/8 multi-band remote sensing imagery [J]. Advances in Earth Science, 2019,34(4):346-355. (in Chinese))
- [9] 郝斌飞,韩旭军,马明国,等. Google Earth Engine在地球科学与环境科学中的应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2018,33(4):600-611. (HAO Binfei, HAN Xujun, MA Mingguo, et al. Research progress on the Application of Google Earth Engine in geoscience and environmental sciences [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2018,33(4):600-611. (in Chinese))
- [10] Han X, Chen X, Feng L. Four decades of winter wetland changes in Poyang Lake based on Landsat observations between 1973 and 2013 [J]. Remote Sensing of Environment, 2015,156(12):426-437.
- [11] 赵军凯,李立现,李九发,等. 人类活动对鄱阳湖水位变化的影响[J]. 水文, 2020,40(4):53-60. (ZHAO Junkai, LI Lixian, LI Jiufa, et al. The impact of human activities on the water level changes of Poyang Lake [J]. Journal of China Hydrology, 2020,40(4):53-60. (in Chinese))
- [12] Uyen N, Lien T, Thanh D. An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020,192(9):235-247.
- [13] 崔亮,李永平,黄国和,等. 基于Landsat-TM影像的洞庭湖水动态变化[J]. 南水北调与水利科技, 2015,13(1):63-66+107. (CUI Liang, LI Yongping, HUANG Guohe, et al. Dynamic changes of Dongting Lake water surface based on Landsat-TM image [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015,13(1):63-66+107. (in Chinese))
- [14] 周婷,马姣娇,徐颂军. 2003~2013年中国湿地变化的空间格局与关联性[J]. 环境科学,2020,41(5):2496-2504. (ZHOU Ting, MA Jiaojiao, XU Songjun. Spatial patterns and spatial autocorrelations of wetland changes in China during 2003-2013 [J]. Environmental Science, 2020,41(5):2496-2504. (in Chinese))
- [15] 李衡,韩燕. 黄河流域PM<sub>2.5</sub>时空演变特征及其影响因素分析[J]. 世界地理研究:1-14[2020-12-22]. (LI Heng, HAN Yan. Analysis on the Spatial-temporal evolution characteristics of PM<sub>2.5</sub> and its influencing factors in the Yellow River Basin [J]. World Regional Studies:1-14[2020-12-22]. (in Chinese))
- [16] 周婷,牛安逸,马姣娇,等. 国家湿地公园时空格局特征[J]. 浙江国土资源, 2019(2):25-26. (ZHOU Ting, NIU Anyi, MA Jiaojiao, et al. Spatio-temporal pattern of national wetland parks [J]. Zhejiang Land & Resources, 2019(2):25-26. (in Chinese))
- [17] 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. (ZHANG Wen, CUI Changlu, LI Linyi, et al. Monitoring and analysis of Poyang

- Lake water area based on long-term remote sensing data [J]. Journal of China Hydrology, 2019,39(3):29-35+21. (in Chinese))
- [18] 郭振天,黄峰,郭利丹,等. 鄱阳湖水位时空演变驱动因子研究[J]. 水力发电学报, 2020,39(12):25-36. (GUO Zhentian, HUANG Feng, GUO Lidan, et al. Research on the driving factors of the temporal and spatial evolution of Poyang Lake water level [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2020,39(12):25-36. (in Chinese))
- [19] 邴建平,邓鹏鑫,张冬冬,等. 三峡水库运行对鄱阳湖江湖水文情势的影响[J]. 人民长江, 2020,51(3):87-93. (BING Jianping, DENG Pengxin, ZHANG Dongdong, et al. The impact of the operation of the Three Gorges Reservoir on the hydrological regime of Poyang Lake [J]. Yangtze River, 2020,51(3):87-93. (in Chinese))
- [20] 闵骞,占腊生. 1952~2011年鄱阳湖枯水变化分析[J]. 湖泊科学, 2012,24(5):675-678. (MIN Qian, ZHAN Lasheng. Analysis of low water changes in Poyang Lake from 1952 to 2011 [J]. Journal of Lake Sciences, 2012,24(5):675-678. (in Chinese))
- [21] Xu J, Wu X, He T, et al. Extraction of built-up area using multi-sensor data—A case study based on Google earth engine in Zhejiang Province, China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2021,42(2):389-404.

## Analysis of Spatiotemporal Changes and Driving Factors of Poyang Lake Area Based on Google Earth Engine

JI Mengfei, TANG Jun, GAO Xianjun, YANG Yuanwei, WU Zhenjiang

(Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

**Abstract:** Long-term lake dynamic monitoring is of great significance to the rational utilization of lake resources and ecological environment protection. This research used Google Earth Engine cloud platform as technical support, and chose Landsat images of Poyang Lake during 1989—2019. The normalized differential water index (NDWI), improved normalized differential water index (MNDWI) and automatic water extraction index (AWEI) were selected as the most suitable water index to extract the water of Poyang Lake, and to analyze spatio-temporal changes in the area of Poyang Lake. The relationship between the area of Poyang Lake and precipitation, the water exchange between the Yangtze River and Poyang Lake, and land use were also studied. The results show that, (1) The area of Poyang Lake shows a downward trend. The west and southwest are the main shrinking areas of Poyang Lake. The lake area changes seasonally. The lake area is larger in summer, and the water surface of the lake reduces and scatters in winter. (2) Precipitation and the water exchange between the Yangtze River and Poyang Lake are important factors in the area of Poyang Lake. The operation of the Three Gorges Reservoir has changed the water exchange between the rivers and lakes. (3) The encroachment of lakes by human activities such as reclaiming land from lakes also reduces the number of lakes.

**Key words:** Poyang Lake; Google Earth Engine; water index; temporal and spatial changes

## 《水文》编辑部严正声明

近期,我们发现一些组织或个人盗用本刊刊名、刊号,冒充《水文》编辑部在网上征稿,向作者发送稿件录用通知并收费,影响恶劣,严重损害本刊声誉,给部分作者造成损失。

为维护本刊的合法权益,避免作者上当受骗,本刊严正声明如下:

1. 本刊刊名为“水文”,不带有任何期刊、杂志等附加名称;本刊由中华人民共和国水利部主管、水利部信息中心主办;本刊编辑部为“水利部《水文》编辑部”,设在水利部信息中心。
2. 本刊从未委托任何组织或个人代为征稿或进行广告经营等活动。
3. 作者投稿本刊采用以下两种方式:①使用本刊投稿系统:<http://sw.allmaga.net/ch/index.aspx>, ②邮件投稿:[j.hyd@mwr.gov.cn](mailto:j.hyd@mwr.gov.cn);《水文稿件录用函》发布唯一邮箱:[kongdong@mwr.gov.cn](mailto:kongdong@mwr.gov.cn);其他组织或个人通过网站、邮件等形式发布的《水文》征稿及录用信息,均与本刊无关。
4. 本刊警告相关组织或个人,立即停止损害本刊声誉的侵权行为,同时本刊保留追究有关组织或个人法律责任的权利。
5. 本刊通讯地址:北京市西城区白广路二条2号,邮编:100053,联系电话:010-63202029,63203269。