

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220004

鄱阳湖洪泛系统淹没动态时空异质性特征及驱动机制

吴娟¹, 李云良², 叶许春¹

(1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715;
2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 基于 ESTARFM (Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflection Fusion Model) 模型, 重构 2000—2020 年鄱阳湖区高时空分辨率淹水数据, 分析鄱阳湖洪泛系统淹没动态的时空异质性特征及驱动因素。研究发现, 鄱阳湖洪泛系统主湖区与碟形湖区淹水面积多年平均值分别为 1 239 km² 和 407 km², 受湖泊淹水自然过程和人为干扰的影响, 碟形湖区的淹没动态在 3 月和 10 月与主湖区存在明显差异。在空间上, 鄱阳湖的淹水频率总体上呈“北高南低”的分布格局, 主湖区和碟形湖区淹水频率分别为 58% 和 36%。在时间上, 鄱阳湖主湖区的淹水面积与淹水频率整体上呈减小趋势, 但在碟形湖区内二者均呈微弱的上升趋势。这种相反的变化趋势主要归因于长江中上游来水减少、三峡工程运行引起的长江中下游河床降低, 以及湖区大规模采砂活动引起的入江水道下切侵蚀等综合作用造成的湖泊泄流能力的增大和湖泊流域入湖流量的增加。

关键词: 鄱阳湖; ESTARFM 模型; 淹水面积; 淹水频率; 碟形湖

中图分类号: P343.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2023)04-0081-07

0 引言

在湖泊生态系统中, 水文特征的显著变化推动着湿地植被的形成和变迁, 进而影响鱼类和野生动物栖息地乃至整个湖泊生态系统的质量^[1]。在诸多水文变量中, 湖泊水域面积是了解湖泊形态的重要参数之一, 其变化是该湖泊所在流域内水量平衡的综合结果, 也是对外界气候及环境变化的响应^[2]。湖泊淹水频率反映了水体淹没时间的长短和次数, 被认为是影响湿地植被生态系统最重要的水文因素之一^[3]。因此, 综合分析和探讨湖泊淹水面积和淹水频率的时空变化特征及其驱动机制, 对维护湖泊水量和水生态安全、促进湖泊生态系统的管理实践具有科学意义。

鄱阳湖作为长江中下游的大型通江湖泊, 呈现出典型的洪泛特征: 时空异质性、系统开放性、作用复杂性和生态脆弱性等^[4]。因湖泊水位季节波动显

著且在短时间内变化大, 导致湖区淹没范围和水量变化很难实时监测。前人曾基于 MIKE 21、EFDC 等物理数值模型对鄱阳湖水文水动力过程展开了模拟研究^[5-6]。然而, 受湖盆地形数据精度以及模型结构等方面的制约, 数值模拟结果存在较大的不确定性^[7]。随着遥感技术的快速发展, 多时相遥感数据为地表水体动态监测研究提供了重要资料。WU 等^[8], 谷娟等^[9]曾利用 MODIS 遥感数据, 研究分析了鄱阳湖水域面积和淹水频率的变化特征。然而, 这些研究使用的遥感数据数量有限, 很难精细把握鄱阳湖洪泛系统淹没动态的时空变化特征。此外, 这些研究中, 没有对洪泛区中大量分布的碟形湖的相关淹没动态开展深入研究, 不利于对鄱阳湖洪泛系统淹没特征的科学认识。

基于此, 本文主要目的是: (1) 采用 ESTARFM 模型, 重构 2000—2020 年鄱阳湖区连续的高时空分辨

收稿日期: 2022-01-05

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.1814.P.20230818.1606.013>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(42071028, 42071036, 41771037)

作者简介: 吴娟(1997—), 女, 重庆巫溪人, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊湿地水资源变化。E-mail: wj_swu@163.com

通信作者: 叶许春(1982—), 男, 安徽安庆人, 博士, 教授, 主要研究方向为水文水资源演变及生态效应。E-mail: yxch2500@163.com

网络首发日期: 2023-08-21

率水体淹没数据,为精确把握洪泛型湖泊水体淹没动态的时空变化提供基础;(2)考虑到主湖区和碟形湖区各自独特的水文特性,重点分析不同区域水体淹没动态的特征及差异;(3)基于鄱阳湖洪泛系统的水文特征,探讨湖泊淹没动态时空异质性的驱动因素。

1 研究区概况

鄱阳湖位于江西省北部,长江中下游南岸,是我国最大的淡水湖。湖泊承接流域内赣江、抚河、信江、饶河、修水五大江河来水,经调蓄后由湖口注入长江,是一个典型的过水型、吞吐型湖泊。受入湖径流和长江洪水的双重影响,鄱阳湖水位波动显著,年内水位落差最大可达10 m以上(图1b)。这种巨大的年内水位落差,使湖泊呈现出“洪水一片,枯水一线”的独特景观(图1c)。在旱季,鄱阳湖洪泛湿地洲滩裸露,其间广布上百个相连和不相连的季节性积水洼地-碟形湖,这些碟形湖与鄱阳湖通江水体之间表现为高水位相连,中水位相关,低水位分离的特点^[10]。基于水文特性和湖盆地形的差异,可将鄱阳湖区分成两部分:一部分是集中在赣江及其支流入湖三角洲上的碟形湖区,另一部分则为狭长、承载主流的主湖区(图1a)。

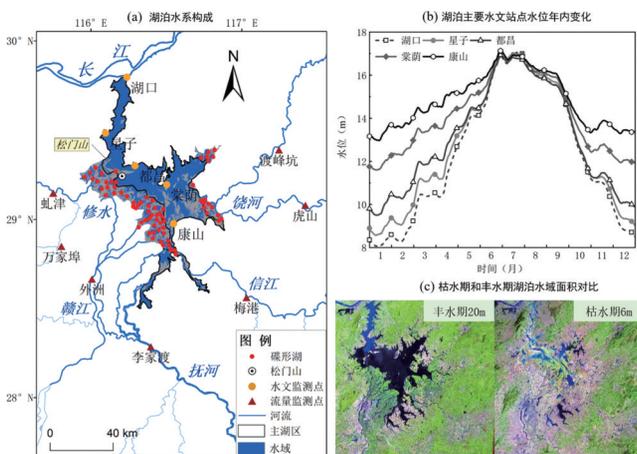


图1 鄱阳湖洪泛系统水文特征

Fig.1 Hydrological characteristics of the Poyang Lake-floodplain system

2 数据与方法

2.1 研究数据

遥感影像数据包括2000—2020间的Landsat系列卫星多光谱遥感影像,以及MODIS地表反射率数据集

(MOD09A1)。考虑到云层和大气的干扰,研究所用遥感影像数据均是经过筛选后的高质量数据,具体信息见表1。所有获取的Landsat和MODIS数据在年内不同季节均有较好分布,在使用前均进行了标准化的预处理。

水文数据主要为2000—2018年期间鄱阳湖5个水文监测点(图1a)的逐日水位以及同期“五河”水系6个监测点(图1a)的逐日流量。此外,汉口站代表长江中上游来水量,其日流量数据时间段为2000—2012年,年流量数据时间段为2000—2018年。以上数据分别来自江西水文局和长江水利委员会水文局。由于“五河”水文站以下存在大量的未控区间来水,本文基于流域总面积与水文站控制区面积的比值,采用简单的面积放大法,将“五河”六站实测流量之和乘以该比值来计算鄱阳湖流域总入湖水量。

表1 研究所用遥感影像数据

Table1 Remote sensing images in this study

数据类型	传感器类型	时空分辨率	年内影像数	行号/列号	获取总影像数
Landsat	TM	16d, 30 m	23	121/40	88
Landsat	ETM+	16d, 30 m	23	121/40	151
Landsat	OLI	16d, 30 m	23	121/40	60
MOD09A1	TERRA	8d, 500 m	46	121/40	847

2.2 研究方法

2.2.1 水体提取

水体指数法是将水体反射强的波段和反射弱的波段通过比值运算构建的指数,并设定一定的阈值来提取水体信息^[11]。研究中将采用NDWI水体指数提取鄱阳湖的水域面积。

2.2.2 淹水频率计算

淹水频率是指一个区域在一定时间内被水体淹没的次数占总淹没次数的比例^[8],在本文中,通过对水体和非水体二值影像的空间叠加运算以及利用栅格计算器,获得影像各像元的淹水频率。

$$FQ_i = \frac{\left(\sum_{i=1}^n W_i \right) \times 8}{8n} \times 100\% \quad (1)$$

$$W_i = \begin{cases} 1, & \text{水体} \\ 0, & \text{非水体} \end{cases} \quad (2)$$

式(1)~(2)中: FQ_i 为像元点*i*的淹水频率, W_i 为水体二

值化影像, n 为一年中的影像数目。

2.2.3 ESTRAFM 模型

基于 ZHU 提出的改进型时空自适应反射率融合模型^[12](ESTARFM), 获取高时空分辨率的融合数据。ESTARFM 模型是通过模拟日期前后至少 2 期的 Landsat (L_a, L_b) 和 MODIS (M_a, M_b) 影像以及模拟日期当日的一景 MODIS (M_p) 影像来重构当日的 Landsat (L_p) 影像, 流程如图 2 所示。基于 ESTARFM, 本文重构了 2000—2020 年间 667 景缺失的 NDWI 数据, 并利用影像相减法得到融合后的数据在统计淹水面积上的准确度为 92.7%。最后, 利用融合后的 NDWI 对 Landsat 系列 NDWI 进行插补, 构建自 2000 年以来连续高时空分辨率 (8 d, 30 m) NDWI 数据集。

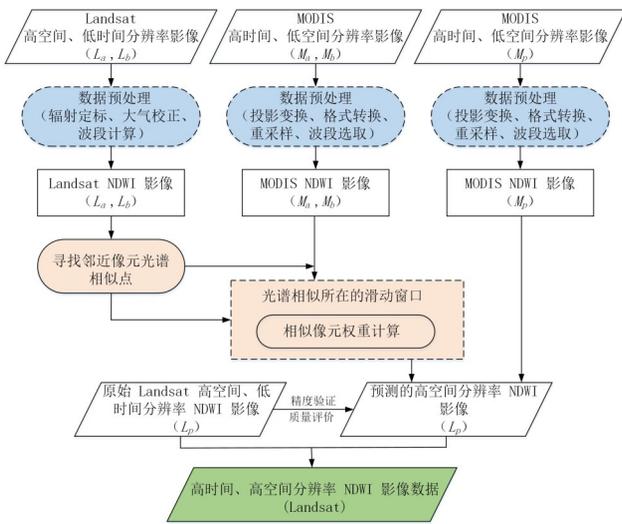


图 2 ESTRAFM 数据融合流程

Fig.2 Flow chart of data fusion in ESTRAFM

2.2.4 趋势分析

采用简单的一元线性回归模型^[13] $y = \alpha t + \beta$ (α 为回归系数, β 为常数, t 为年份, y 为待分析变量) 来分析 2000—2020 年间鄱阳湖区淹水面积和淹水频率的变化趋势及空间差异。该模型中的回归系数 α 即为线性趋势斜率。其中, $\alpha < 0$ 表示变量在计算时段内呈下降趋势, 反之 $\alpha > 0$ 表示增加趋势。淹水数据时间序列变化趋势的显著性采用 Mann-Kendall 统计检验法^[13] 进行检验。

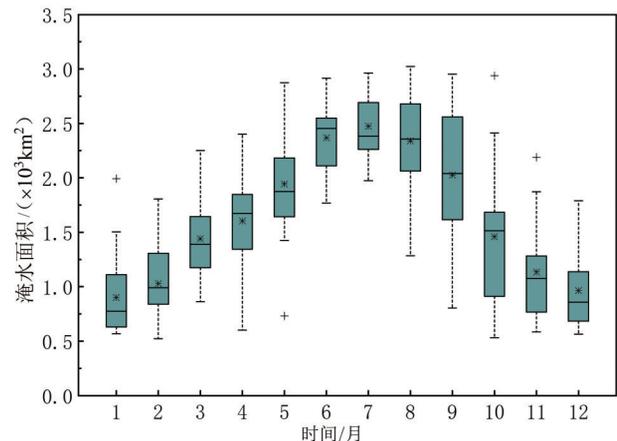
3 结果分析

3.1 淹水面积的变化特征

鄱阳湖月尺度淹水面积变化呈单峰型(图 3)。结

合鄱阳湖水文节律特点, 可知在春季涨水期随着流域“五河”来水的大量汇入, 湖泊淹水面积快速扩张。夏季洪水期间, 特别是 7 月以后受长江顶托作用的影响, 湖泊水位高涨, 水域面积达到一年中的最大值, 超过 3 000 km²。秋季退水期, 随着长江来水的减少, 鄱阳湖大量排泄, 特别是从 10 月开始, 鄱阳湖水域面积快速收缩。冬季枯水期间, 受流域来水减少的影响, 鄱阳湖区大片洲滩裸露, 水域面积在 12 月期间萎缩到不足 1 000 km²。

图 3 进一步显示了 2000—2020 年期间各个月份湖泊淹水面积的整体变化幅度。可知, 同一月份, 不同年份鄱阳湖淹水面积差异显著, 最大值和最小值分别出现在 10 月 (2 405 km²) 和 7 月 (990 km²)。一般来说, 年际差异较低的月份主要出现在冬季枯水期和夏季洪水期, 此时湖水淹水面积通常达到极值且变化较小。相比之下, 较大的年际水域变幅通常出现在水域快速扩张的春季涨水期 (4、5 月) 和水域快速收缩的秋季退水期 (9、10 月)。



注: *代表平均值, +代表异常值。

图 3 鄱阳湖月尺度淹水面积变化

Fig.3 Variation of monthly inundated area of Poyang Lake

计算表明, 主湖区与碟形湖区淹水面积多年平均值分别为 1 239 km² 和 407 km²。两者在年内具有相似的波动过程, 但在部分时段存在差异(图 4)。整体上, 主湖区水域面积年内波动较大, 而碟形湖区水域面积波动相对较小。图 4 中灰色区域显示, 3 月底的时候, 当主湖区水域面积呈增加趋势的时候, 碟形湖区的水域面积有一个减小的过程; 此外, 10 月份鄱阳湖退水过程中, 碟形湖区水域面积快速降低并在随后的时间里保持稳定缓慢下降, 而主湖区自 10 月份开始的水域

面积快速下降过程要一直延续到11月份。

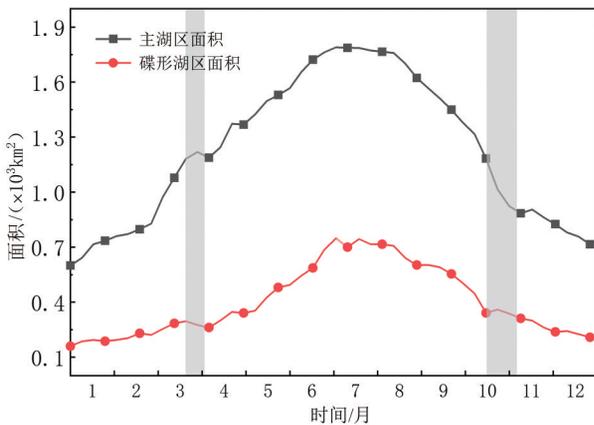


图4 主湖区与碟形湖区水体淹没面积的年内变化

Fig.4 Intra-annual variation of inundated area in the regions of main lake and floodplain seasonal lakes

2000—2020年鄱阳湖年平均淹水面积整体上呈不显著的减小趋势(图5),趋势率为 $-4 \text{ km}^2/\text{a}$,其年际变化过程呈现出阶段性特征:2003年以前鄱阳湖的淹水面积较大,最大和最小淹水面积都保持同期高水平;2004—2009年间湖泊淹水面积呈现明显的减小趋势,并长期处于较低水平;2010—2020年间湖泊年平均淹水面积相对较高,但年际间波动较大,特别是2010与2011年湖泊淹水面积相差达到 910 km^2 ,为近20年来相邻年份间鄱阳湖水域面积变化的极值。主湖区和碟形湖区淹水面积的年际变化过程与整个湖区一致,但两者呈相反的长期变化趋势:主湖区的淹水面积呈不显著下降趋势,而碟形湖区的淹水面积呈不显著上升趋势。

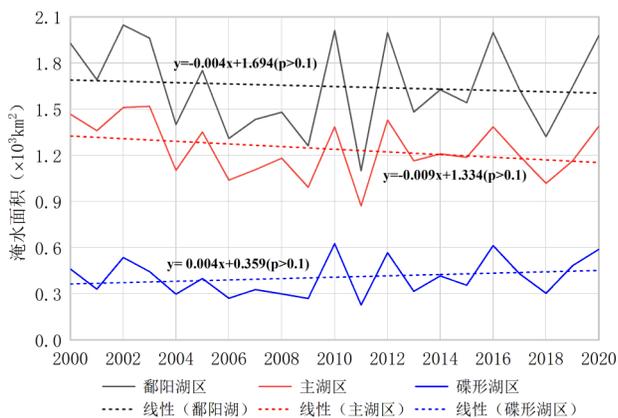


图5 鄱阳湖淹水面积的年际变化

Fig.5 Inter-annual variation of inundated area in Poyang Lake

3.2 淹水频率的变化特征

本文计算表明,鄱阳湖区、主湖区以及碟形湖区淹水频率多年平均值分别为50%、58%和36%。在空间上,鄱阳湖的淹水频率总体上呈“北高南低”的分布格局。淹水频率较高的区域主要集中在主湖区,特别是北部入江水道和东北湖湾区(撮箕湖)的淹水频率接近60%~90%,局部可达永久淹没的状态。相比之下,淹水频率低于40%的区域大多分布于湖泊东南、西南部入湖河流三角洲前缘地带的洪泛湿地。但是在这一区域,一些孤立分散的天然碟形湖和人工湖却表现出高淹水频率状态。碟形湖的淹水频率具有从湖心往四周逐渐降低的特点,距离各碟形湖湖心越远,对应的高程逐渐增加,淹水频率相应下降。人工湖与鄱阳湖整体的水文联系较弱,其淹水频率也接近于永久淹没(图6(a))。

不同季节,鄱阳湖区水体淹没状态空间差异明显,洪泛特征表现突出,高淹没频率的水域呈现由春季的块状分布(图6(b))过渡到夏季的片状、面状分布(图6(c)),再到秋季的带状分布(图6(d)),最后到冬季的线状分布(图6(e))。这一动态过程反映出鄱阳湖水面由北向南扩张和由南向北收缩的季节性变化特点。

鄱阳湖淹水频率年际变化趋势空间分异明显,总体呈现出低淹水频率区域增加、高淹水频率区域减少的基本特征(图7(a))。统计表明,淹水频率呈显著增加趋势的区域占湖区总面积17%左右,主要分布在鄱阳湖东南、西南的碟形湖区以及北部入江水道。淹水频率呈显著减少趋势的区域约占湖区总面积33%,主要分布在鄱阳湖中部主湖区以及通江水域。碟形湖区的淹水频率有增大的趋势,而鄱阳湖整体和主湖区的淹水频率呈减小的趋势(图7(b))。图7(c)也可以看出,鄱阳湖淹水频率变化趋势的频数分布基本符合正态分布,但趋势率均值小于0。

鄱阳湖淹水频率的年际变化与淹水面积基本一致,均呈现先下降后上升的阶段性变化规律,三者均在2011年达到近年来的最小值(图8)。相对而言,碟形湖区淹水频率年际间波动较大,而主湖区淹水频率波动相对较小。研究时段内,鄱阳湖整体和主湖区的淹水频率呈不显著下降趋势,而碟形湖区的淹水频率却呈不显著上升趋势。

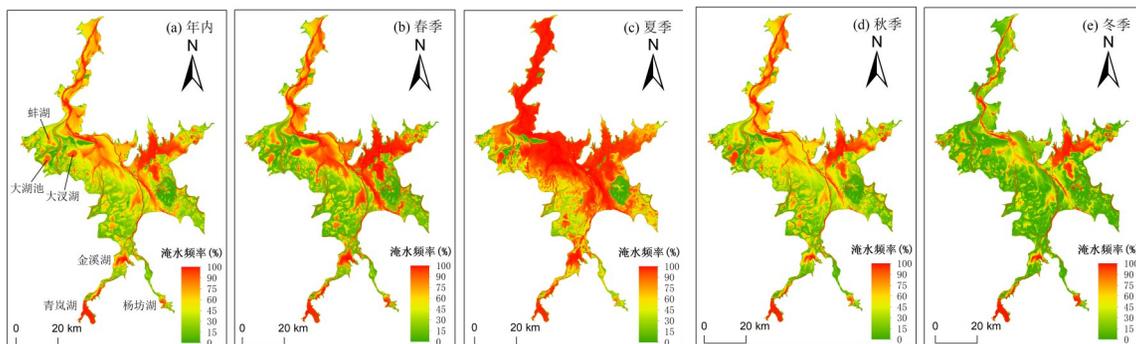


图6 2000—2020年间鄱阳湖多年平均淹水频率年内和季节空间分布
Fig.6 Spatial distribution of average annual and seasonal inundation frequency in Poyang Lake from 2000 to 2020

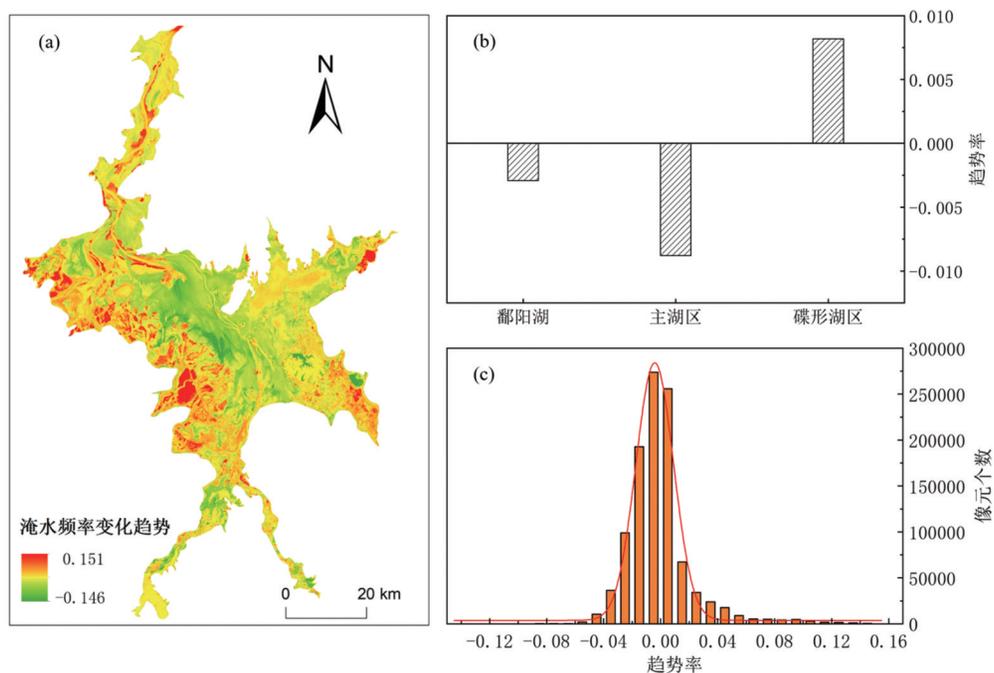


图7 鄱阳湖淹水频率空间分布及变化趋势
Fig.7 Spatial distribution and variation trend of inundation frequency in Poyang Lake

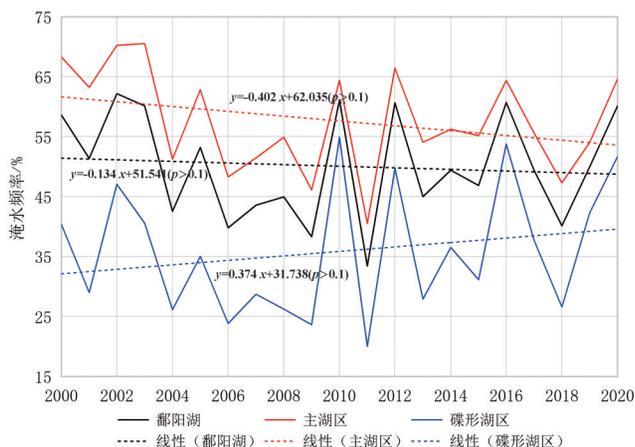


图8 鄱阳湖区及主湖区和碟形湖区淹水频率年际变化
Fig.8 Inter-annual variation of inundation frequency in the whole Poyang Lake, and the regions of main lake and seasonal lakes

4 讨论

4.1 淹没动态年内变化的影响因素

鄱阳湖淹没动态主要受流域来水和长江水位的控制,并受湖盆地形的影响,呈现高度的时空异质性。碟形湖区主要位于湖盆高程相对较高的洪泛滩地(一般高程大于13 m),而主湖区处于洪泛滩地下方,湖盆高程相对较低。因此,湖泊洪泛滩地通常先接受流域来水,然后再排放到下游主湖区^[6]。

通常情况下,长江中上游来水比湖泊流域来水峰值滞后1—2个月。在6月份流域来水峰值到来之前,

长江顶托作用较小,此时湖泊接受大量流域来水引起蓄水量和水位增加。在流域来水达到峰值后,长江的顶托作用增强对湖泊下游水位产生明显的控制作用^[14]。受此水文过程影响,鄱阳湖区高淹水频率区域逐渐由春季的块状转变成夏季的片状、面状。当7月份长江洪峰过境之后,流域来水的减少速度变得缓慢,鄱阳湖水水位随长江来水的减少逐渐降低,湖泊水域面积逐步收缩,淹水频率迅速减少,至冬季鄱阳湖的淹水范围局限在湖区五河河床之内。

碟形湖区的淹没动态在涨水期(3月)和退水期(10月)与主湖区存在明显差异,其原因主要与碟形湖区的人为干扰有很大关系。通常情况下,在退水期,随着洪泛区排水,大部分碟形湖自然滞留水体,另有一部分被当地的渔民筑堤拦水养殖并较长时间的维持水面。在鄱阳湖涨水期,大量碟形湖在涨水前被渔民放水捕鱼,导致这段时间内碟形湖区水域面积异常减小^[15]。

4.2 淹没动态年际变化的驱动机制

主湖区与碟形湖区淹水面积和淹水频率呈现明显的年际变化差异,主要是由于不同区域水体动态对入、出湖流量存在不同反应。鄱阳湖区洪泛滩地地形较高,淹水频率低,一年中大部分时间均以滩地方式裸露,其淹没动态更多是受流域入湖水量及其变化的影响;主湖区湖盆地形相对较低,与长江的连通性好,其淹没动态与湖泊本身的泄流能力密切相关。2000—2018年间,鄱阳湖流域入湖流量呈现不显著增加趋势(图9a)是导致碟形湖区淹水面积和淹水频率增加的主要原因。与此相反,鄱阳湖泄流能力的增加,必将导致主湖区淹水面积和淹水频率下降。近年来鄱阳湖泄流能力增加主要受三个因素的影响:一是长江中上游来水量的减少,长江汉口站径流量呈现出不显著下降趋势(图9a)必然导致相应水位的下降,从而减小长江对鄱阳湖出流的顶托作用,有利于湖水的排泄;二是三峡工程的运行引起长江中下游河道侵蚀下切严重^[16],将显著增强长江对鄱阳湖的拉空作用,引起鄱阳湖水外泄加速;三是大规模采砂活动引起入江水道下切侵蚀,北部湖区水文站之间的水位差不断减小,南部湖区水文站之间的水位差不断增大(图9b),从而增加湖泊泄流能力。

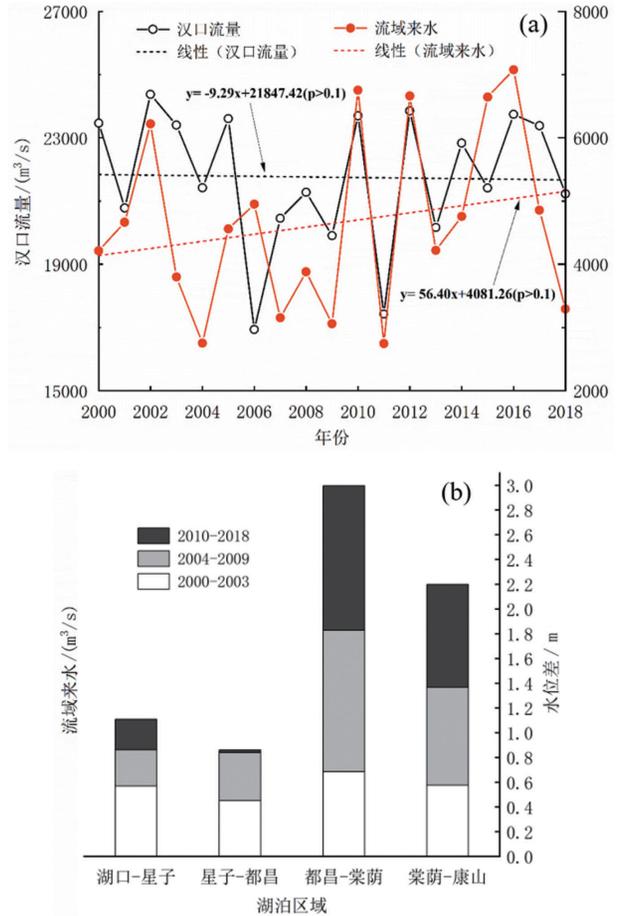


图9 (a)长江和流域来水的年际变化过程;(b)湖泊不同区域不同时期内水位差的变化

Fig.9 (a) Inter-annual variation of Yangtze River discharge and catchment inflow;(b) variation of water level difference in different areas of the lake during different periods

5 结论

本文利用ESTRAFM模型获取鄱阳湖高时空分辨率淹水数据,揭示了2000—2020年间鄱阳湖洪泛系统淹没动态的时空异质性特征及驱动因素。研究表明,在年内变化上,受流域来水和长江水位的控制,鄱阳湖淹水面积变化呈单峰型,最大和最小月份的淹水面积相差2 000 km²以上;碟形湖的淹水面积受人干扰的影响在3月和10月与主湖区存在明显差异。在空间分布上,鄱阳湖淹水频率总体上呈“北高南低”的格局,局部可达到永久淹没状态。在年际变化中,鄱阳湖流域入湖流量呈现不显著增加趋势是导致碟形湖区淹水面积和淹水频率增加的主要原因。主湖区淹水面积和淹水频率下降,主要是受长江中上游来水减少、三峡工程运行引起的长江中下

游河床降低,以及鄱阳湖区大规模采砂活动引起的人入江水道下切侵蚀等综合作用造成的湖泊泄流能力增加的影响。

参考文献:

- [1] TAN Z Q, ZHANG Q, LI M F, et al. A study of the relationship between wetland vegetation communities and water regimes using a combined remote sensing and hydraulic modeling approach[J]. *Hydrology Research*, 2016, 47(S1): 278–292.
- [2] 卢娜. 柴达木盆地湖泊面积变化及影响因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 8(8): 83–87.
- [3] CASANOVA M T, BROCK M A. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities[J]. *Plant Ecology*, 2000, 147(2): 237–250.
- [4] LI Y L, ZHANG Q, LIU X G, et al. Water balance and flashiness for a large floodplain system: A case study of Poyang Lake, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 710: 135499.
- [5] WANG P, LAI G Y, LI L. Predicting the hydrological impacts of the Poyang Lake project using an EFDC model[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2015, 20(12): 05015009.
- [6] ZHANG Q, WERNER A D. Hysteretic relationships in inundation dynamics for a large lake–floodplain system[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 527(4): 160–171.
- [7] LI Y L, ZHANG Q, YAO J, et al. Hydrodynamic and hydrological modeling of the Poyang Lake catchment system in China[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2014, 19(3): 607–616.
- [8] WU G P, LIU Y B. Capturing variations in inundation with satellite remote sensing in a morphologically complex, large lake[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 523: 14–23.
- [9] 谷娟, 秦怡, 王鑫, 等. 鄱阳湖水体淹没频率变化及其湿地植被的响应[J]. *生态学报*, 2018, 38(21): 7718–7726.
- [10] 吴英豪, 纪伟涛主编. 江西省鄱阳湖国家级自然保护区研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [11] MCFEETERS S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425–1432.
- [12] ZHU X L, CHEN J, GAO F, et al. An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(11): 2610–2623.
- [13] KAHYA E, PARTAL T. Is seasonal precipitation decreasing or increasing in Turkey[J]. *Online Journal of Earth Sciences*, 2007, 1(1): 43–46.
- [14] HU Q, FENG S, GUO H, et al. Interactions of the Yangtze River flow and hydrologic processes of the Poyang Lake, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 347(1): 90–100.
- [15] 汪丹, 王点, 齐述华. 鄱阳湖水位–淹水面积关系不确定性的分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(S1): 95–102.
- [16] YE X C, LIU F H, ZHANG Z X, et al. Quantifying the impact of compounding influencing factors to the water level decline of China's largest freshwater lake[J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2020, 146(6): 05020006.

Spatiotemporal Heterogeneity and Driving Mechanism of Inundation Dynamics in the Floodplain System of Poyang Lake

WU Juan¹, LI Yunliang², YE Xuchun¹

(1. *School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;*

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the reconstructed high spatial–temporal resolution inundation dataset of the Poyang Lake from 2000 to 2020 by adopting the Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflection Fusion Model, this study explored the spatio–temporal variation and the driving factors of inundation dynamics in the Poyang Lake–floodplain system. The results show that the mean value of the inundation area in the main lake and the seasonal lakes are 1232 km² and 392 km² respectively. The inundation of seasonal lakes in the floodplain area varies significantly in March and October due to the natural process of lake inundation and anthropogenic disturbance. Generally, the spatial distribution of inundation frequency of Poyang Lake decreases from north to south with the inundation frequency in the regions of the main lake and seasonal lakes are of 58% and 36%. During the study period, the inundation area and inundation frequency of the entire Poyang Lake–floodplain system and the main lake area show a decreasing trend, while a slight increasing trend is observed for both of the variables in the seasonal lake region. This opposite trend of change is mainly attributed to the increase of the lake outflow capacity caused by the compounding factors of decreasing streamflow from the upper–middle Yangtze River, the riverbed lowering in the middle–lower Yangtze River due to Three Gorges project operation, and the down–cutting of outflow water channel due to large–scale sand mining activities in the lake and the increase of catchment inflow.

Keywords: Poyang Lake; ESTRAFM model; inundated area; inundation frequency; seasonal lake