

# 1974—2020 年骆马湖自然水域面积变化 及其影响因素

许 康<sup>1</sup>, 鲍雅兰<sup>2</sup>, 王冬梅<sup>3</sup>, 石晓峰<sup>1</sup>

(1. 江苏省测绘工程院, 江苏 南京 210013; 2. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 211100;  
3. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

**摘要:**以 KH-9、Landsat TM/ETM+/OLI 遥感影像作为数据源,提取了近 50 年来骆马湖自然水域变化的时间序列及其围网养殖区的边界信息,根据收集的气象数据以及围湖养殖数据,分析了骆马湖自然水域面积变化的特征及其影响因素。

**关键词:**自然水域面积; 遥感影像; 渔业养殖; 气候变化; 骆马湖

**中图分类号:**X171.4      **文献标识码:**A      **文章编号:**1007-7839(2022)03-0052-0005

## Changes of natural water area of Luoma Lake and its influencing factors form 1974 to 2020

XU Kang<sup>1</sup>, BAO Yalan<sup>2</sup>, WANG Dongmei<sup>3</sup>, SHI Xiaofeng<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Province Surveying & Mapping Engineering Institute, Nanjing 210013, China;  
2. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;  
3. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China)

**Abstract:** Taking KH-9, Landsat TM/ETM+/OLI remote sensing images as data source, the changes of natural water area of Luoma Lake and the boundary information of aquaculture area during the past nearly 50 years were extracted. According to the collected meteorological data and lake aquaculture data, the characteristics and influencing factors of natural water area changes in Luoma Lake were analyzed.

**Key words:** natural water area; remote sensing image; fishery aquaculture; climate change; Luoma Lake

## 1 概 述

湖泊是地球生态系统的重要组成部分,湖泊及其流域生态环境是动植物生存繁衍的重要场所,也是人类赖以生存的物质资源<sup>[1]</sup>。湖泊动态变化影响着区域环境发展,准确获取湖泊的变化信息对认识水循环的时空变化过程、水资源的合理开发和利用保护具有重要意义。江苏省境内河湖众多,水网密布,河湖的合理开发利用对全省的建设具有里程碑

意义。然而随着经济的快速发展,人类活动对湖泊的干扰日益增强,围垦造田、围湖养殖、岸线开发侵占等使得湖泊面积萎缩,湖泊生态环境也受到影响。相对于实地调查和传统监测手段,遥感技术具有周期性、大范围、同步监测的特点,已成为大区域湖泊水体变化监测的重要技术手段之一。万玮等<sup>[2]</sup>基于不同时相遥感数据对太湖近 15 年的面积变化进行了分析;高士佩等<sup>[3]</sup>结合水利普查数据、1:10 000 水系数据,利用 0.3 m 航片获取了全省八大类别水

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 江苏水利科学研究院自主科研项目(2020z025)

作者简介: 许康(1980—),男,高级工程师,硕士,主要从事航空航天摄影测量、遥感信息提取与应用方面的科研与生产工作。E-mail: 99958463@qq.com

域面积;管玉莹等<sup>[4]</sup>以8期 Landsat TM / ETM+遥感影像为数据源提取了1988—2015年高邮湖自然水域及其围网养殖区信息,并分析了其面积变化特征及影响因素;徐娜等<sup>[5]</sup>利用3期 Landsat TM/ETM+和HJ-CCD影像分析了2000—2010年江苏省湖泊水域面积变化及驱动力。

骆马湖是江苏境内第四大淡水湖,也是淮河流域沂沭泗下游重要的防洪调蓄湖泊。作为国家南水北调东线主要的输入廊道,骆马湖发挥着防洪、供水、灌溉、水产养殖、调节气候等功能。然而,长期以来,由于围垦种植、圈圩养殖、无序采砂、侵占水域等行为,造成了骆马湖库容萎缩、生态系统遭到破坏、水环境发生变化。骆马湖是“退圩还湖”重点整治湖泊之一<sup>[6-7]</sup>,但关于湖泊全域面积、形态等方面的资料还比较欠缺。为了准确掌握湖泊变化规律,本文以1974—2020年覆盖骆马湖的多源卫星影像为数据源,分析湖泊自然水域面积近50年来的变化,并结合自然因素和社会因素分析导致其变化的原因,为进一步开展相关研究提供科学支撑。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

骆马湖地处江苏省北部区域,地跨宿迁和徐州2市。骆马湖南北长约20 km,东西宽约16 km<sup>[8]</sup>,湖泊面积仅次于太湖、洪泽湖和高邮湖,是江苏境内第四大淡水湖。其位于淮河流域沂沭泗水系下游,汇集了沂河和中运河来水,水位落差大并且水体交换次数多,是典型的过水性湖泊。骆马湖湖区属亚热带暖温带过渡地区,温带季风气候尤为显著,四季分明。由于受季风气候影响,该区年际间与年内季际间雨量分布不均,降雨季节变化显著,冬季雨水稀少,夏季雨水集中。

### 2.2 数据来源

研究采用的影像数据主要包括美国“锁眼”侦察卫星(Keyhole,简称KH)和Landsat系列卫星遥感数据。由于湖泊有枯水期和丰水期,不同时期湖泊面积存在差异,因此为避免由于时相差异引起的伪变化,本文尽量选择平水期同月份影像或相近月份影像。平水期主要是天气状况适于遥感成像的4—6月及9—11月。Landsat卫星系列由美国地质勘探局(United States Geological Survey, USGS)处理成正射产品并发布,从1972年7月以来,近50年时间里已经陆续发射了Lansat 1到Landsat 9系列卫星,积累了丰富的遥感存档数据。本文采用的主要是无云

层覆盖的Landsat5 TM、Landsat7 ETM+和Landsat8 OLI影像,成像时间分别为1985年10月8日、1989年10月3日、1994年10月1日、2000年10月10日、2005年10月31日、2010年10月29日、2015年10月27日和2020年10月24日。KeyHole卫星系列是以军事侦察为目的卫星,美国政府分别于1995年和2002年对外公开了KH-1/2/3/4/4A/4B/5/6、KH-7/9的卫星影像数据。本文采用的是KH-9(Hexagon)影像,其空间分辨率约为6 m,由于数据有限,缺少10月份的影像,因此选用了1974年4月的影像。

气象数据、社会人文数据来源于中国气象数据网和江苏省统计年鉴,选用宿迁市1974—2020年的年均降水量、年均气温数据和渔业产值信息来分析影响骆马湖自然水域面积变化的相关因素。

## 3 研究方法

### 3.1 边界提取方法

为了分析骆马湖自然水域的变化,本研究分别对湖泊边界和围网养殖区边界进行提取,其中湖泊内岛屿和围网养殖区不计入湖泊自然水域面积。虽然湖泊边界在丰水期和枯水期变动很大,但是由于采用的遥感数据基本为平水期相同月份影像,因此湖泊面积的季节性变化不予考虑。

在对多期遥感影像进行精确校正的基础上,首先进行湖泊水体提取。对于Corona影像首先进行影像增强然后采用阈值分割方法获取初始水体信息。对于Landsat系列影像,利用归一化差异水体指数NDWI(normalized difference water index)进行水体信息粗提取,NDWI计算公式如下:

$$I_{NDWI} = (I_{GREEN} - I_{NIR}) / (I_{GREEN} + I_{NIR}) \quad (1)$$

其中, $I_{GREEN}$ 、 $I_{NIR}$ 分别为绿光波段和近红外波段。

然后以人机交互解译方式,在ArcGIS软件中提取湖泊矢量边界,并通过目视解译和阈值法生成围网养殖区和自然水域的矢量图层数据。其中,人工围养区虽然与自然湖面的光谱信息较相似,但由于其具有比较整齐的围栏,在影像上形成了一定规则的纹理,因此可以围栏为界区分围养区和自然水域。

### 3.2 自然水域面积变化分析方法

本研究使用年变化率和变化强度指数<sup>[9]</sup>作为衡量骆马湖自然水域扩张或者萎缩的状态和强度的指标,其计算公式分别为

$$B = \frac{S_1 - S_0}{S_0 T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $B$ 为某一时段内湖泊的年变化率,如果 $B > 0$ ,

说明在该时段内自然水域为扩张趋势, $B < 0$ 则表示湖泊自然水域呈萎缩趋势; $S_0$ 和 $S_1$ 分别为湖泊某一时段初期和末期的自然水域面积; $T$ 为某一时段的间隔年数。

$$\mu = \frac{100\Delta S_a}{\Delta T_a \times S} \quad (3)$$

式中: $\mu$ 为自然水域面积变化强度指数; $\Delta S_a$ 为某一时段内自然水域的变化面积; $\Delta T_a$ 为时间跨度; $S$ 为自然水域的总面积(本研究选取1974年数据)。

## 4 结果与分析

### 4.1 自然水域时空变化特征

通过对9期影像提取的骆马湖自然水域信息进行统计分析,得到研究区不同时期的自然水域面积、面积变化量、年际变化率、变化强度如表1所示。可以看出,1974—2020年间骆马湖的自然水域面积在207~292 km<sup>2</sup>范围之间变化,其中1974年最大,2015年最小。近50年来研究区自然水域面积发生了明显变化,大致可以分为3个阶段:(1)1974—1989年,湖面变化不大,年变化率仅为-0.06%(1974—1985年)和-0.01%(1985—1989年),15年间自然水域面积只有小幅波动,共减少了1.91 km<sup>2</sup>;(2)1989—2015年,自然水域持续萎缩,由1989年的290.30 km<sup>2</sup>减少到2015年的207.47 km<sup>2</sup>,25年间共减少了82.83 km<sup>2</sup>,减少幅度超过28%。该阶段中2005至2010年间自然水域萎缩速率最大,5年间面积共减少30.05 km<sup>2</sup>,年变化率为-2.42%,变化强度为-2.06;(3)2015—2020年,自然水域部分恢复,面积增加了14.13 km<sup>2</sup>。总体看来,从1974—2020年,骆马湖自然水域面积经历了1974—1989年的相对稳定期、1989—2015年的持续萎缩期到2015—2020

年的部分恢复期。

基于ArcGIS平台对9期矢量数据进行叠加分析,分别得到1974—1989年、1989—1999年、1994—2005年、2005—2015年、2015—2020年骆马湖自然水域时空叠加变化图(图2)。从图2可以看出:(1)1974—1989年,骆马湖面积变化较小,通过3期面积对比分析,仅在湖泊北部存在小部分萎缩,基本处于重合状态;(2)1989—2005年,自然水域有明显萎缩趋势,从1994年开始湖泊西部的自然水域面积持续减少,与此同时湖泊北部的自然水域面积也明显减少;(3)2005—2015年,自然水域进一步萎缩,其中2010年湖泊北部、西部自然水域持续减少的同时,东部自然水域面积也开始减少,到2015年湖泊东北部和西部明显萎缩,自然水域变化已经扩大至湖泊内部,自然水域面积缩减至最小状态,相对而言,湖泊南部变化较小;(4)2015—2020年,湖泊西部和东北部的自然水域部分得到了恢复,骆马湖自然水域面积有了小幅增加。

### 4.2 变化成因及驱动力分析

#### 4.2.1 气象因素

区域的自然条件因素会对水循环造成一定的作用,其中降水量和蒸散发量更是湖泊变化的潜在影响因素。本文统计研究区所处的宿迁市近50年来的年平均温度和年平均降水量。如图3所示,1970—2020年研究区多年平均气温为15℃,其中2017年最高为16.1℃,2011年最低为13.8℃,总体呈现上升趋势并且高于全国平均水平。受季风气候的影响,宿迁市降水丰富但不均匀,是骆马湖最直接的补给来源。如图3所示,近50年来研究区内年均降水量波动明显,多年平均降水量为70 mm,其中1970—2000年研究区年平均降水趋势较为平稳,呈较小波动变化态势;2000—2020年间研究区年平均降水波动增大,其中2001年达到140.09 mm,2004年仅为44.82 mm。然而如图4所示,根据Pearson相关性分析表明,年均降水量和年均气温与骆马湖自然水域面积无明显相关性。

#### 4.2.2 人类活动因素

人类活动亦是影响湖泊演变节点的重要因素,而研究区域处于南水北调的关键地段,使其拥有较大的社会价值。骆马湖的开发利用形式主要有围垦种植、渔业养殖等,而其中又以渔业资源开发最为广泛,因此选择养殖区变化作为人类活动的主要因素进行分析。对9期遥感影像进行解译可以发现,1974—1989年研究区未见明显的围养区,而从

表1 1974—2020年研究区自然水域变化情况

年份	面积/km <sup>2</sup>	变化量/km <sup>2</sup>	年变化率/%	$\mu$ 值
1974	292.21			
1985	290.43	-1.78	-0.06	-0.06
1989	290.30	-0.13	-0.01	-0.01
1994	272.94	-17.49	-1.20	-1.20
1999	259.31	-13.63	-1.00	-0.93
2005	248.58	-10.73	0.69	-0.61
2010	218.53	-30.05	-2.42	-2.06
2015	207.47	-11.06	-1.01	-0.76
2020	221.60	14.13	1.36	0.97



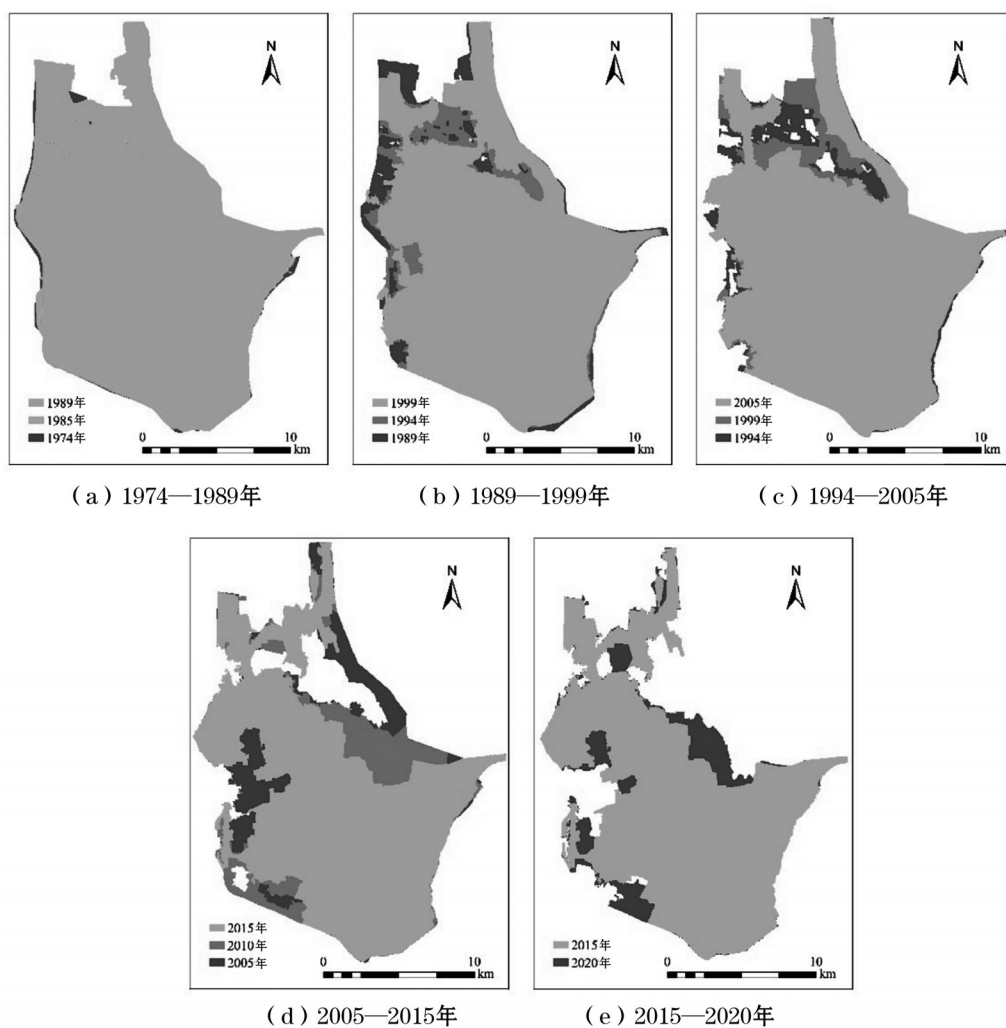


图2 1974—2020年研究区自然水域面积叠加变化情况

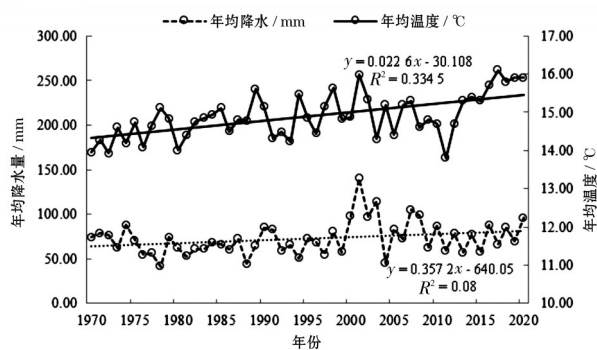


图3 1970—2020年研究区年均气温和降水量变化

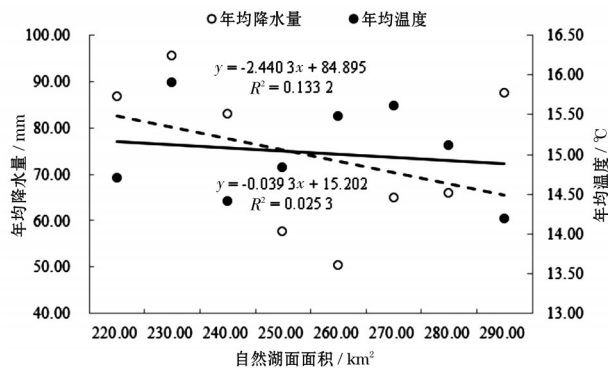


图4 自然水域面积与年均气温和降水量的相关性

1994年开始,湖泊西部出现明显的养殖区,并由湖区西部、东北部向湖泊中心不断扩张,养殖面积逐年递增,直至2015年以后才有所下降。如图5所示,其中以1994—1999年、2005—2010年2个阶段的增长速率最快,分别达到了3.658和6.288 km<sup>2</sup>/a。如图6所示,经Pearson相关系数分析,研究区内围湖养殖面积与自然水域面积呈显著的负相关关系。

#### 4.3 讨论

根据以上分析,与气温变化和降水所带来的影响相比,人类活动是其自然水域面积减少的主要驱动因素,与高邮湖、洪泽湖类似。究其原因,主要是经过湖泊治理和水利建设,骆马湖已为受人工控制的大型平原水库型湖泊,而且本文研究对象为自然

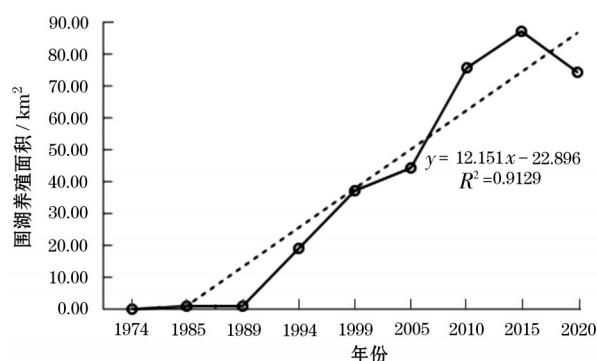


图5 1974—2020年研究区内养殖面积变化

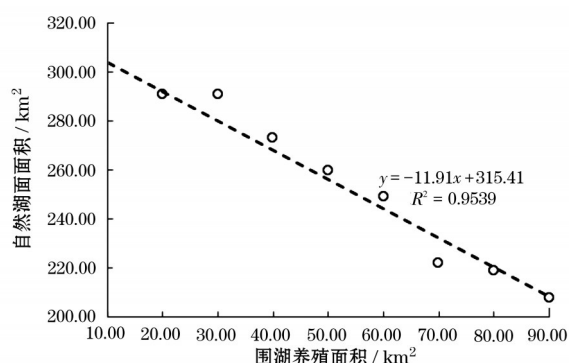


图6 自然水域面积与养殖面积的相关性

湖面而不是整体水域,因此,自然水域面积变化趋势与气象因子变化趋势的相关性并不明显。而除了防洪、灌溉等功能外,骆马湖另外一大功能是渔业资源开发。在骆马湖建成蓄水库以后至20世纪80年代中期,骆马湖主要采用天然捕获方式获取渔业资源,渔业产量全部由捕捞产量构成;80年代后期开始,各地大力推广人工养殖,在经济利益的驱动下,渔业养殖在骆马湖兴起并迅猛发展,形成了以围网、网箱、圈圩为主的湖泊渔业养殖模式。因此,自1989年开始骆马湖自然水域持续萎缩。江苏省自2017年以来先后出台了《江苏省“两减六治三提升”专项行动实施方案》《江苏省生态河湖行动计划》等一系列政策文件,并针对骆马湖开展了养殖专项整治工作,这应该也是2020年自然水域面积较2015年有所增加的原因。

## 5 结 论

本文选用骆马湖时间跨度47年的9期多源遥感影像为主要信息源,综合利用RS和GIS技术,监

测并分析了近50年骆马湖自然水域面积的时空变化及驱动因素,得出以下结论:

(1)近50年来研究区自然水域面积发生了前期基本稳定、中期持续缩小、近期部分恢复的阶段性变化趋势。1974—1989年,湖面变化较小,面积相对稳定;1989—2015年自然水域持续萎缩,其中2005—2010年间自然水域面积的年变化率最大;2015—2020年,自然水域部分恢复。

(2)与气温和降水量变化所带来的影响相比,人类活动特别是围湖养殖是骆马湖自然水域变化的主要原因,1989—2015年围湖养殖面积持续增加,特别是湖区西部和东北部养殖集中,占用自然湖面,使得自然水域持续萎缩。

(3)随着养殖专项整治工作的开展,近年来骆马湖的湖面部分恢复,与2015年相比,2020年自然水域面积有所增加。

### 参考文献:

- [1] RONGHUA M, JINGLU W, SHIJIE L, et al. China's lakes at present: number, area and spatial distribution[J]. Science China, 2011, 54(2): 283-289.
- [2] 万玮,肖鹏峰,冯学智. 基于遥感技术的太湖近15年面积动态变化[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 974-981.
- [3] 高士佩,梁文广,王冬梅,等. 遥感技术在江苏省水域面积监测中的应用[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(7): 132-135.
- [4] 管玉莹,虞功亮,韩睿明,等. 近30年来高邮湖(含邵伯湖)自然水域面积变化及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2019, 32(12): 2057-2064.
- [5] 徐娜,贾建华,罗菊花,等. 江苏省湖泊遥感监测及10年动态变化分析[J]. 长江资源与环境, 2014, 23(4): 468-474.
- [6] 王俊,王轶虹,高士佩,等. 新沂市骆马湖退圩还湖的关键问题探讨[J]. 江苏水利, 2020(1): 1-5.
- [7] 马健,赵立涛,周冬梅. 从水资源综合利用看骆马湖退圩还湖的必要性[J]. 治淮, 2020(9): 9-11.
- [8] 岳金隆,邢小燕,夏成亮. 宿迁市骆马湖岸线利用情况调查与思考[J]. 治淮, 2016(3): 25-26.
- [9] 王媛,吴立宗,许君利,等. 1964—2010年青藏高原长江源各拉丹冬地区冰川变化及其不确定性分析[J]. 冰川冻土, 2013, 35(2): 255-262.