

近百余年(1900—2020年)洞庭湖湿地演化驱动因素分析*

张英豪^{1,2}, 王殿常³, 吴兴华³, 赖锡军^{2**}

(1: 聊城大学地理与环境学院, 聊城 252059)

(2: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

(3: 中国长江三峡集团有限公司, 北京 100038)

摘要: 自20世纪以来,在自然以及人类活动共同作用下,洞庭湖湿地面积与格局发生显著变化。本文在综合大量历史资料、相关文献以及数据的基础上,采用分段线性回归方法将近百余年(1900—2020年)洞庭湖湿地面积与格局变化划分为4个阶段,并重点分析了各阶段影响湿地演化的驱动因子及相互作用关系。1900年以来,洞庭湖湿地面积变化可分为1900—1949年的明显下降期、1950—1978年的快速萎缩期、1979—1998年的稳定期以及1999年至今的略微回升期,湿地景观格局变化经历了新中国成立前的相对稳定阶段、1950s—1990s的水域向洲滩转化阶段以及21世纪以来的洲滩向水域转化阶段。不同时期,由于社会经济与生产力水平的差异,湿地演变的驱动因素存在差异,导致湿地演变的速率与方向有所不同。围湖垦殖与退田还湖是导致湿地面积发生改变的主要因素,气象波动、水库建设、湖区采砂以及河道整治等则通过改变入湖水文泥沙情势影响湿地格局变化,并影响围湖垦殖与退田还湖等活动。为满足经济发展要求,政府在湿地演变中的参与度逐渐增加,对围湖垦殖的态度发生了“鼓励—参与—禁止—还湖”的转变,为近百余年洞庭湖湿地演化的核心驱动要素。近百余年洞庭湖湿地的演化过程是区域社会经济发展过程的综合呈现,是人力与自然力的角力过程,也是人地关系矛盾协调演化并趋向缓和的过程。

关键词: 洞庭湖; 湿地演变; 围湖垦殖; 退田还湖; 水库建设

Driving factors of wetland evolution in Lake Dongting during 1900–2020*

Zhang Yinghao^{1,2}, Wang Dianchang³, Wu Xinghua³ & Lai Xijun^{2**}

(1: *School of Geography & Environment, Liaocheng University, Liaocheng 252059, P.R.China*)

(2: *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China*)

(3: *China Three Gorges Corporation, Beijing 100038, P.R.China*)

Abstract: Since the 20th century, the area and pattern of Lake Dongting wetland have changed significantly under the combined effect of natural and human activities. Based on a lot of historical materials, related literatures and data, this paper identified 4 evolutionary regimes of Lake Dongting wetland area and landscape pattern in the past 120 years (1900–2020) using the piecewise linear regression method, and analysed the driving factors and their interactions of each regime. The evolution of Lake Dongting wetland area could be divided into the obvious decline period (1900–1949), the rapid decline period (1950–1978), the stable period (1979–1998), and the slight recovery period (1999–present). The evolution of the landscape pattern experienced the relatively stable period (before 1949), water transformation to floodplain stage (1960s–1990s) and floodplain transformation to water stage (2000s–present). Due to differences in socio-economic and productivity levels, the drivers of wetland evolution were different between regimes, resulting in different rates and directions of wetland evolution. Lake reclamation and the return of agricultural land to the lake were the main drivers of wetland change. Meteorological fluctuations, reservoir construction, sand mining and channel regulation affected the wetland pattern by changing the water-sediment situation in the lake. They had also influenced the

* 2022-12-20 收稿; 2023-02-20 收修改稿。

国家自然科学基金项目(42171012, 41901120)、中国长江三峡集团项目(201903144)、中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA230402)、湖泊与环境国家重点实验室开放基金项目(2022SKL006)和山东省高等学校青年创新团队发展计划(2022KJ110)联合资助。

** 通信作者; E-mail: xjlai@niglas.ac.cn。

reclamation of lake embankments and the return of farmland to the lake. In order to meet the demands of economic development, the government's participation in wetland development had gradually increased, and the government's attitude towards lake reclamation had gone through stages, including "encourage-participate-prohibit-return lakes", which was the core driving factor for the development of Lake Dongting Wetland over the past 120 years. The development process of Lake Dongting Wetland over the past one hundred years is the comprehensive representation of regional socio-economic development, the wrestling process of human and natural forces, and the harmonious development and tendency to gradually reduce the contradiction between man and land.

Keywords: Lake Dongting; wetland evolution; reclamation of lake enclosure; return of farmland to lake; reservoir construction

湿地是陆生生态系统与水生生态系统的过渡地带,特殊的环境提供了复杂且完备的动植物群落,它对于保护物种、维持生物多样性具有难以替代的生态价值^[1]。同时,湿地生态系统非常脆弱,很容易受自然和人为因素干扰而发生变化。作为自然综合体,湿地是在地球内力(新构造运动)与外力(地形、气候、水文、植物和动物以及时间等)因素相互联系、相互作用和相互制约条件下而发生发展和形成的^[2]。进入人类世以来,围湖垦殖等人类活动成为影响湿地环境演化的重要因素^[3]。识别长时间尺度下湿地的演化阶段及其驱动因素对湿地生态系统管理至关重要^[4-5]。

洞庭湖是长江中下游的大型通江湖泊,也是我国第二大淡水湖泊,在调节江河径流、沟通航运、繁衍水产以及改善生态环境方面具有重要作用^[6]。近 100 多年来,在自然和人类活动的双重作用下,洞庭湖湿地面积以及景观格局发生剧烈变化。目前,相关研究主要通过历史资料以及遥感影像分析洞庭湖湿地面积及景观格局变化,且围湖垦殖与退田还湖被认为是导致洞庭湖面积变化的重要因素,气候波动、河道整治、上游水库建设等影响下的入湖水文泥沙情势变化改变了其湿地景观格局。余姝辰等^[7]研究了清末以来洞庭湖区通江湖泊面积的时空演变特征,指出清末以来洞庭湖区通江湖泊的演变主要表现为大通湖的封闭析出、整修南洞庭湖的湖垵置换与南迁、围垦西洞庭湖的局部残存、东洞庭湖的三面合围以及 1998 年特大洪灾后有限的“退田还湖”。卞鸿翔和龚循礼^[8]回顾了洞庭湖区的垦殖历史,指出了湖区围垦带来的生态环境问题,并提出了洞庭湖区整治应采取的具体措施。姜加虎和黄群^[9]应用数值模拟技术对 1952 年以来洞庭湖淤积、围垦对江湖洪水的影响进行了定量评估,结果显示 1952—1998 年的 47 年间,湖泊围垦对江湖洪水位升高影响的相对量是湖泊淤积对江湖洪水位升高影响值的 2~10 倍。此外,余姝辰^[10]还分析了民国中期以来洞庭湖洲滩的时空演变特征,并指出洲滩围垦、出入泥沙变化以及湖砂开采是引起洲滩变化的主要原因。然而,上述研究忽略了各因素间的相互作用关系,较少考虑到影响湿地演化背后的社会、经济、政策方面的深层原因。

本文在结合大量历史资料、相关文献以及数据的基础上,采用分段线性回归法将 1900—2020 年洞庭湖湿地演变过程划分为不同阶段,重点分析各演化阶段的主要驱动因素以及各驱动因素间的相互作用关系,深入剖析湿地演变背后的经济、政策影响。本研究可为洞庭湖湿地的保护与管理提供理论支撑,服务以长江大保护为指导方针的长江经济带发展战略。

1 研究区概况

洞庭湖位于长江中游荆江段南岸,湖南省北部。湖体呈近似“U”形,由东洞庭、南洞庭与西洞庭组成。洞庭湖为吞吐型湖泊,其北面通过松滋、太平、藕池和调弦四口分泄长江中游水沙入湖,这些入湖河流统称为长江四口分流河道,调弦口于 1958 年冬建闸封堵,故又常称三口水系;南、西面有湘水、资水、沅水、澧水四水入湖,即四水水系;入湖水沙经湖泊调蓄后,于城陵矶汇入长江,构成复杂的江湖关系(图 1)。由于荆江分流入洞庭湖等因素,使得洞庭湖泥沙淤积严重。据统计,每年约有 $1.14 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的泥沙淤积于洞庭湖湖盆,其中 81.2% 来自于荆江三口分流^[11]。泥沙的大量淤积,使得洞庭湖湖盆抬高,洲滩发育迅速。

2 数据与分析方法

本文述及的洞庭湖湿地演变主要体现在湖泊的面积变化以及湿地景观格局变化。相关数据取自已有文献资料。其中,湖泊面积是指直接连通外部江河、具有调蓄功能的外湖面积,且 1896 年以来洞庭湖外湖面积数据来自文献[7,12];湿地景观格局采用枯水期(城陵矶水位 20~21 m)水域与洲滩面积占湖泊总面积

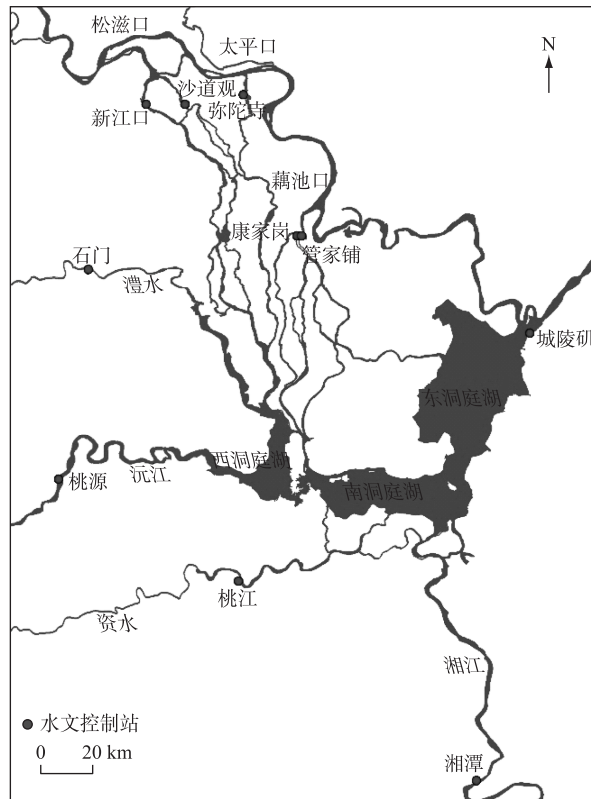


图1 洞庭湖水系及主要水文控制站位置

Fig.1 Hydrological system of Lake Dongting and location of main hydrological stations

的比值进行表征,相关数据来自文献[10]。

本文采用分段线性回归(piecewise linear regression, PLR)方法对1900—2020年洞庭湖湿地演化阶段进行划分。作为一种统计方法,PLR通过变换回归可为一个自变量的不同部分给出单独回归结果^[13]。例如,若自变量的时间序列可分为两个部分,PLR可对各部分进行线性回归,即:

$$Y = \begin{cases} a_1 X + b_1 & (X \leq X^*) \\ a_2 X + b_2 & (X > X^*) \end{cases}$$

式中, Y 为因变量, X 为自变量, a_1 、 a_2 为各部分线性回归方程斜率, b_1 、 b_2 为线性回归方程截距。 X^* 为变点,其选取需满足变点前后两条回归直线的概率 P 值小于0.05。

此外,本文洞庭湖水沙数据均来源于《中国河流泥沙公报》与《长江泥沙公报》。数据内容为荆江三口五站(新江口、沙道观、弥陀寺、康家岗、管家铺)、四水四站(湘潭、桃江、桃源、石门)1955—2020年径流量以及年输沙量。采用非参数Mann-Kendall检验(M-K检验)法^[14]对水沙数据时间序列的趋势性进行分析,采用累积距平法^[15]以及双累计曲线法^[14]对水沙数据变点进行检测。

3 结果与讨论

3.1 洞庭湖湿地演化阶段

近百余年洞庭湖外湖面积与湿地格局(水域/洲滩面积占比)变化时间序列以及分段线性回归结果如图2与表1所示。从图表中可以看出,1900—2020年洞庭湖外湖面积变化可分为4个阶段:1900—1949年,洞庭湖面积明显下降,由1896年的5400 km²减少至1949年的4350 km²,减幅为1050 km²,平均每年萎缩19.10

km²;1949—1978年,湖泊面积萎缩剧烈,由1949年的4350 km²缩减至1978年的2708 km²,平均缩减速率为52.87 km²/a;1978年以后,分段线性回归结果 $P>0.05$,但由于1998年前后回归方程斜率由负转正,故可以1998年为界分为两个阶段,即1978—1998年,湖泊面积略微减少,减少幅度为15.6 km²,年均萎缩0.63 km²,1998年后,湖泊面积有所上升,但这种面积扩大极其有限,面积仅增加10.50 km²。1900—2020年洞庭湖外湖湿地格局变化可分为3个阶段:新中国成立之前,洞庭湖洲滩面积维持在湖区总面积的35%左右;1960s—1990s,洲滩比例显著上升,并在1990s达到峰值,1998年,洞庭湖洲滩面积占比77.2%,水域仅占比22.8%;进入21世纪,洲滩比例有所下降,基本维持在73%左右。

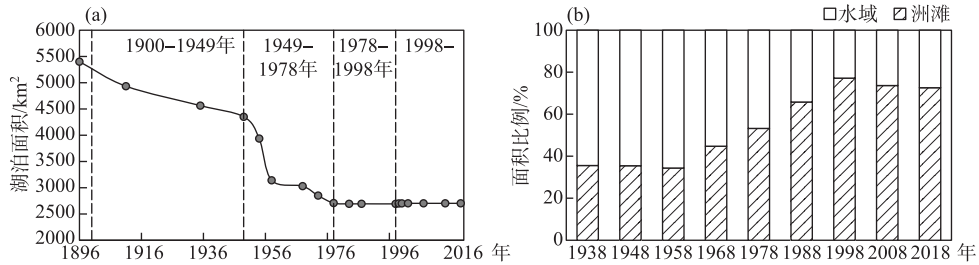


图2 1900—2020年洞庭湖湿地面积(数据摘自文献[7,12])及格局(水域/洲滩占比,数据取自文献[10])变化

Fig.2 Variation of Lake Dongting wetland area and landscape pattern from 1900 to 2020 with data from Yu et al.^[7], Yin et al.^[12] and Yu^[10]

表1 近120年洞庭湖外湖面积及湿地格局(水域/洲滩面积占比)分段线性回归结果

Tab.1 Results of PLR for Lake Dongting wetland area and landscape pattern, 1900—2020

	拟合时段	线性回归方程	R^2	P
外湖面积 ^a	186—1949年	$y = -19.096x + 41529.182$	0.971	0.015
	1949—1978年	$y = -52.865x + 107128.343$	0.846	0.009
	1978—1998年	$y = -0.627x + 3942.448$	0.515	0.283
	1998—2020年	$y = 0.259x + 2181.196$	0.300	0.203
湿地格局 ^b	1938—1948年	$y = 0.559$	—	—
	1948—1998年	$y = 0.009x - 17.037$	0.95	0.001
	1998—2018年	$y = -0.002x + 5.341$	0.91	0.019

a: x 表示时间(单位:年), y 表示外湖面积(单位:km²);b: x 表示时间(单位:年), y 表示水域/洲滩面积比(单位:%)。

3.2 洞庭湖湿地演变驱动因素

据上所述,本文将近百余年来洞庭湖湿地演变分为4个阶段。在不同时期,湿地演变驱动因素及各因素间的互馈关系存在差异,湿地演变的速率与方向有所不同(图3)。

3.2.1 1900—1949年 受19世纪中叶江湖关系巨变(荆江“四口分流”(调弦口于1958年封堵而变为“三口分流”,下同)局面形成)影响,这一时期长江入洞庭湖水沙量大幅增加,大量泥沙充填于洞庭湖内,洲滩迅速淤涨。洲滩的迅速发育为大规模围湖垦殖提供前提条件。同时,明清时期的洪武大移民(“江西填湖广”)为该时期洞庭湖平原筑堤建垸提供了有利人力资源支撑。洲滩的迅速淤涨以及人口的增加,使得洞庭湖围湖垦殖呈现恶性膨胀。这一时期,政府对湖区垦殖持鼓励态度。例如,1917年湖南督军谭延恺颁布《滨湖淤洲垦务简章》,规定纳费给照开垦;次年,湖南省长张敬尧下令,尚未开垦的新淤,允准“缴纳领照,筑堤围垸”;此外,政府拨款修筑沅江、澧县官垸,以作示范^[16-17]。该时期,洞庭湖新增围垦面积1400 km²(包括垸内湖泊如大通湖等的围垦,下同)^[12],湿地面积明显下降。泥沙的大量淤积使得湖区部分水域向洲滩进行转化,但人们对滩地的围垦同时减小了洲滩以及湖泊面积,水域与洲滩占比相对稳定。

该时期,降水波动引起的洪水事件改变了入湖水沙情势,进而对洞庭湖湿地面积产生重要影响。由于

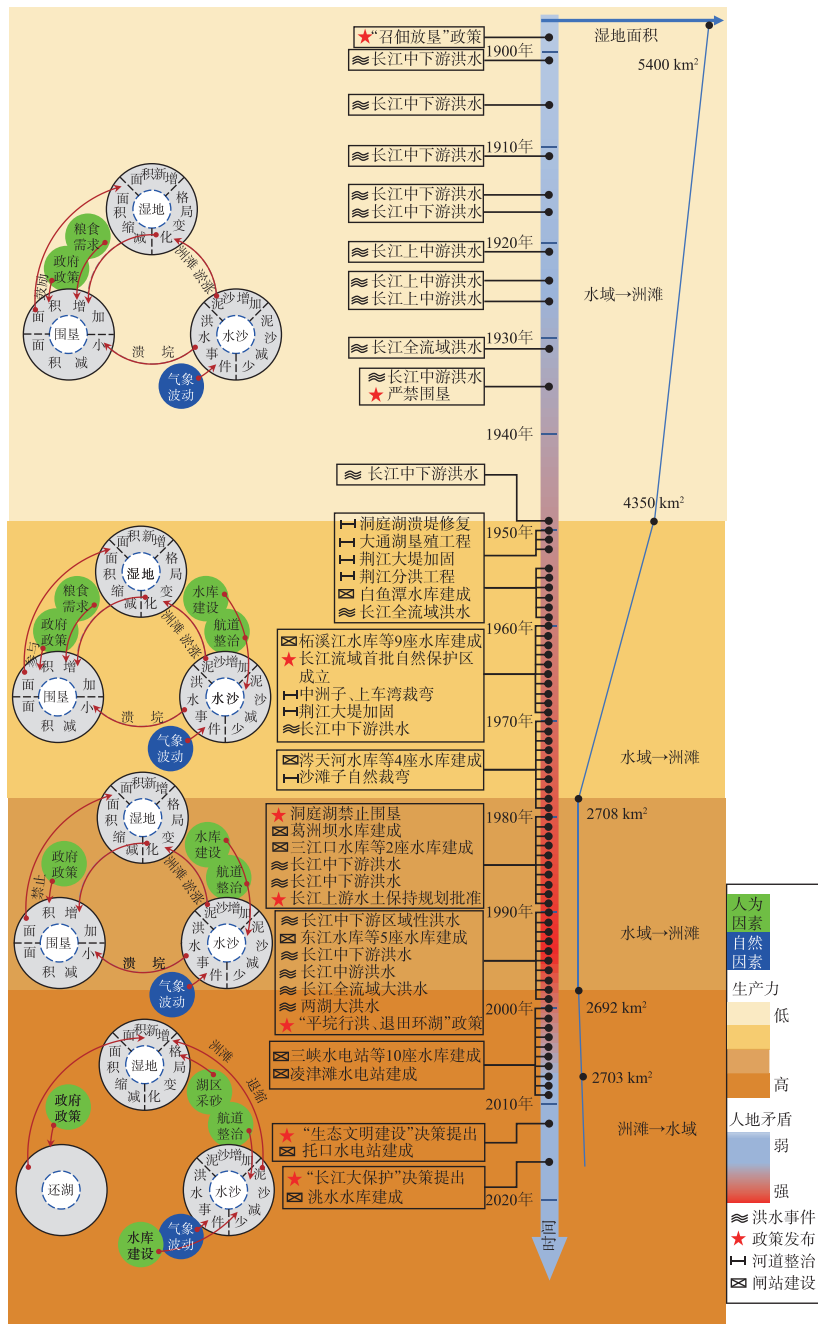


图 3 近百余年洞庭湖湿地演变驱动过程

Fig.3 Processes of wetland evolution in Lake Dongting, 1900–2020

当时生产力低下,提防单薄低矮,圩区规模较小,堤线长而零乱,在大洪水的作用下经常发生溃决。尤其是1931与1935年的长江流域特大洪水,使得湖区堤垸倒溃三分之二以上,湿地面积也相应增加。然而,由于圩田的经济效益在当时仍大于水灾的损失及筑圩的耗费,洪水过后人们对堤垸进行并垸合修。该时期政府也因洪水溃垸而明令禁围。1931年洪水后,当时的内政、实业、交通三部于当年11月召开“废田还湖及导淮

入海会议”,会议公决了“以后河湖沙洲滩地,非经水利主管机关之研究证明其确不妨害水流及停蓄者,不得围垦”^[18]。湖南省府据此颁发了“严禁盗修淤洲堤垸”的命令,1935年大水后再次颁令“禁止围垦新垸,凡违令挽修者即为盗修,除处以妨害水利之罪外,并捣毁其堤垸”。但禁围并无实效,实际能遵令捣毁的堤垸百无一^[19]。据滨洲土视察团民国35年(1946年)冬统计,当时有未经批准的“盗挽”堤垸55个,耕地面积49.3万亩(328.6 km²),且这些是已挽成垸的,正在挽修的尚未计算在内。

因此,1949年以前,由于生产力水平较低,湖区堤垸常因洪水而溃决,但为满足经济发展与粮食需求,洪水后人们不顾禁围政策又会对湖区进行复垦,围垦主要以“水退人进、水进人退”模式为主。这一时期,湖区主要人地关系矛盾具体表现为由洲滩淤涨与粮食需求引发的围湖造田与围湖造田带来的湖区水情恶化(与洪水溃垸)之间的矛盾。政府对围湖垦殖多持鼓励态度,围垦活动也仅仅为民间个体行为,湖泊湿地面积呈明显下降趋势。随着老的高位滩地因围垦而消失,新的滩地在原湖泊水域不断延伸并抬升,水域与洲滩面积比例保持稳定。

3.2.2 1950—1978年 1949年以后,随着社会逐步安定,人口快速增加。20世纪50年代,为实现国家快速工业化目标,国家确立“以粮为纲”政策。由于当时农业技术水平有限,为增加粮食产量,只能加大对土地要素的投入,增加围垦面积。该时期,湖区围垦的背后显现了越来越多的政府因素,政府对围垦的态度也由上一时期的鼓励转变为参与其中。例如,1950s湖区先后遇到1949、1954年2次特大洪水,使得滨湖堤垸几乎全部溃决,而政府组织的培修大堤、洪道并流堵口、合修大圈等,增加围垦面积894 km²^[20];1955—1959年,在开展农业集体化合作时,有关部门相继批准围垦了建新(1955年)、洋淘湖(1958年)、钱粮湖(1958年)、屈原(1958年)、千山红(1958年)、茶盘洲(1958年)等以蓄洪垦殖为目的的国营农(垦殖)场,总面积达640 km²^[21]。此外,1960s,湖区又相继围垦了钱粮湖、贺家山、屈原、君山、茶盘洲、北洲子等农场及沅南大垸,各县又进行了为数众多的小围小垦及内湖围垦,围垦面积达188 km²^[20]。1970s湖区围垦以结合血防灭螺的矮围为主,围垦面积182.6 km²^[20]。因此,1950—1978年的近30年间,围湖总面积达1904.6 km²,为围垦最快、外湖面积萎缩最严重的时期。

这一时期,洞庭湖水沙情势变化持续受到降水波动及荆江“四口分流”的影响。此外,1967—1972年长江中游下荆江河道三次裁弯取直工程(即1967年的中洲子和1969年上车湾人工裁弯以及1972年的沙滩子自然裁弯)对水沙情势变化产生重要影响。图4给出了1955—2020年三口与四水年径流量与输沙量时间序列变化及变点检验结果。根据M-K趋势性分析及变点分析,下荆江裁弯期三口入洞庭湖水沙量出现拐点,且呈显著下降趋势(图4a~b)。通过计算,三口入洞庭湖径流量与输沙量平均每年分别减小 144.4×10^8 m³与 0.25×10^8 t,且裁弯后的1973—1980年,三口平均年径流量(834.3×10^8 m³/a)与输沙量(1.12×10^8 t/a)分别较裁弯前(1955—1966年)的平均年径流量(1349.4×10^8 m³/a)与输沙量(1.91×10^8 t/a)减小38.2%与41.4%。虽然荆江的裁弯取直使得入湖泥沙量下降,但该时期湖区的大量围垦使得湖泊萎缩剧烈,泥沙淤积空间受限,反而加速了洲滩的发育,使得洲滩面积占外湖总面积的比例增加(图2b)。

因此,该时期洞庭湖湿地演变仍受围湖垦殖以及水沙情势变化影响。其中,围湖垦殖减小了湿地面积,降水波动、航道整治影响下的入湖水沙情势变化改变了湿地景观格局。随着生产力水平的提高,这一时期湖区堤垸开始固化,防洪标准提升,洪水对围湖垦殖的影响减弱,围垦模式也转变为“人进水退、与水争地”。为满足社会经济发展,实现国家快速工业化目标,政府的参与加大了湖区垦殖的强度,使得围湖面积在这一时期增速最快,湿地面积快速萎缩。该时期,受下荆江裁弯取直影响,入洞庭湖泥沙有所减少,但大量的围垦使得泥沙淤积空间受限,湖内水域向洲滩进行转化,洲滩所占比例增加。

3.2.3 1979—1998年 在上一时期(1950—1978年)“以粮为纲”政策的推动下,全国农业的大发展使得其产生的边际效益被大量转移至工业部门,以促进工业的发展。至1970s,随着我国初期工业化的完成,农业部门价值在国民经济中的地位逐渐缩减。此时,社会经济发展对通过湖区围垦以发展种植业不再具有强烈需求。此外,随着前期的大量围垦,洞庭湖的外湖围垦在1970s末已发展到最大极限。例如,1976年沅江县围漉湖以及1978年湘阴县围垦横岭湖,两者均在围成后的第一个汛期溃废。盲目的围湖垦殖使得湖区水情显著恶化,生态环境问题突出^[6,22-23]。于是,1980年5月,水利部召开长江中下游防洪座谈会,会上作出停止围垦的决定,自此洞庭湖区的围垦得到有效控制。1979—1998年,湿地面积维持稳定,面积仅减

少 15.6 km^2 。

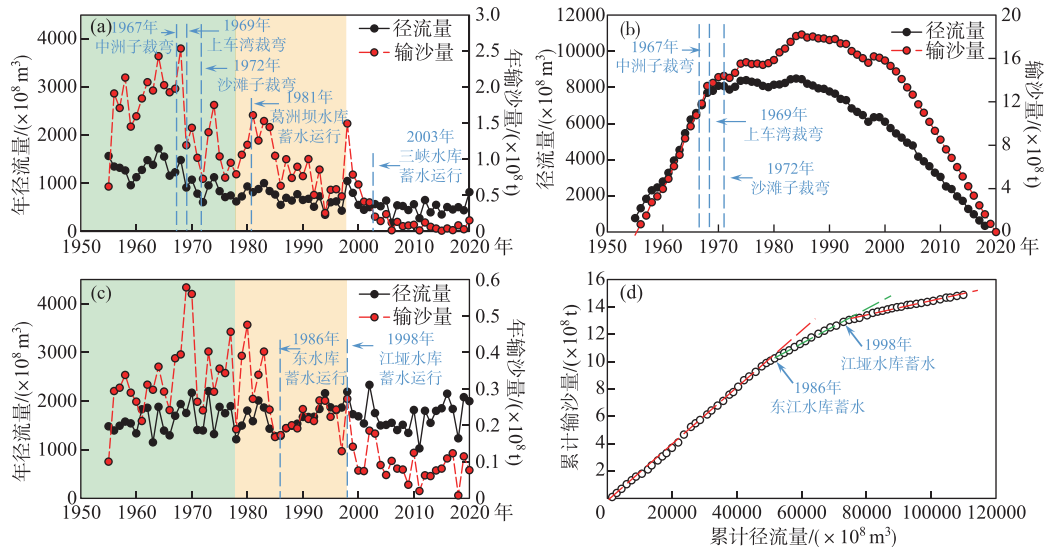


图4 1955—2020年三口年径流量与输沙量时间序列(a)及累积距平值(b), 洞庭湖四水1955—2020年年径流量与输沙量时间序列(c)以及累计径流量与累计输沙量关系(d)

Fig.4 Time series (a) and cumulative anomaly curves (b) of the annual run-off and sediment discharge of Sankou (1955–2020), and time series of the annual run-off and sediment discharge (c) and runoff-sediment discharge double cumulative curve (d) of Sishui (1955–2020)

该时期,入洞庭湖水沙除受上一时期荆江裁弯的持续影响外,还受到上游水库建设影响而持续减少。其中,1981年位于长江干流的葛洲坝工程的蓄水运行,使得1981—2002年三口平均年输沙量($0.86 \times 10^8 \text{ t/a}$)较1973—1980年减小23.2%,较1955—1966年减小55.0%(图4a);四水入湖输沙量在该阶段也明显下降(图4c),且累计径流-累计输沙关系图显示,输沙量下降突变点主要发生于1986年与1998年,即四水流域东江水库与江垅水库蓄水运行年份(图4d)。由于前期围垦土地仍在,泥沙淤积于受限的水域与洲滩上,使得该时期在入湖泥沙量持续减少的情况下洲滩仍快速发育,洲滩占外湖面积的比例持续增加。

因此,随着生产力水平以及社会经济的发展,当围湖垦殖带来的经济效益不能满足经济发展需要时,围垦活动被禁止。由于前期围垦土地仍在,洲滩的持续发育使得该阶段湿地景观格局仍以水域向洲滩的转变为主。此外,该时期湖区水情持续恶化,1980s—1990s洞庭湖流域共发生大洪水事件7次^[24],平均出现频率3.5次/10 a,为近百余年频率最高,人地矛盾在这一时期达到峰值。

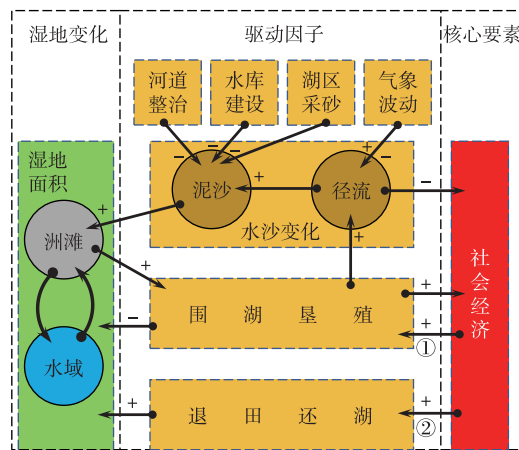
3.2.4 1999年至今 1998年,长江发生了自1954年以来最猛烈的全流域性大洪水。从水文学角度而言,1998年长江中下游总体洪水来量小于1954年,但大部分河段洪水水位却大大超过1954年实测洪水水位,其造成的损失也较1954年更为严重。研究成果一致指出其中的主要原因之一是湖区的大规模围垦^[25],围垦削弱了湖泊的调蓄能力,使洪水缺少了充足的蓄滞空间。因此,1998年大洪水后,国务院及时提出了“封山植树,退耕还林;平垸行洪,退田还湖;以工贷赈,移民建镇;加固干堤,疏浚河湖”32字方针政策,科学治理水患。“退田环湖”工程规划1998—2002年平退堤垸314处,平退总面积 1578.7 km^2 ,其中能真正扩大湖泊面积的“双退”(退人又退耕)堤垸210处,“双退”总面积 227.3 km^2 ^[26]。然而,受移民安置、搬迁经费等因素制约,在湖泊内实际实施的“双退”面积仅为 10.5 km^2 ,其中目平湖的青山湖垸“双退”面积 8.2 km^2 ,为最大的“双退”堤垸^[7]。此外,2012年以来,国家大力推进生态文明建设,在实施长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的攻坚行动中,洞庭湖湿地的生态保护和修复上升为国家战略。因此,该时期洞庭湖湿地面积有所回升。

该时期,水库建设对入洞庭湖水沙情势变化产生较大影响。尤其是2003年位于长江干流三峡水库的蓄水运行,使得2003—2020年三口平均年输沙量降至 0.09×10^8 t/a,较1955—1966年平均年输沙量减少95.3%(图4a),且随着入湖泥沙的持续降低,2006年以后洞庭湖湖区泥沙淤积量呈现负值,湖盆处于冲刷状态^[14]。同时,进入21世纪后的洞庭湖大规模采砂活动以“挖洲”为主,导致洲滩后退萎缩。湖盆的冲刷以及湖区挖沙活动使得洲滩面积所占比重下降,洞庭湖出现由洲滩向水域转化的格局变化。此外,三峡蓄水还可通过改变洞庭湖与长江的水力交互作用影响湖泊水位,进而对湿地面积与格局变化产生影响^[27]。

这一时期,人们主张与自然和谐相处,湖区退田还湖,人地关系矛盾得到缓和,灾情得到有效缓解,洪水事件鲜有发生。

3.3 驱动因素互馈关系

近百余年来洞庭湖湿地演变的主要驱动因素为围湖垦殖、退田还湖、气象波动、河道整治、水库建设以及湖区采砂等,且各驱动因子并非孤立存在,各因子间相互作用,构成复杂的巨系统(图5)。首先,水沙情势变化对湿地格局产生影响。其中,河道整治、水库建设等人为因素可减少入湖泥沙量,不利于洲滩的形成与淤涨,而由气象波动引起的径流增加可增大水体含沙量,有利于洲滩发育,促进湖内水域向洲滩转化。江湖关系变化(如荆江“四口分流”局面的形成)亦可改变入湖水沙情势,进而影响湿地格局演变。其次,洲土的增加,为湖泊围垦提供了有利条件,而围湖垦殖直接减小了湖泊面积。围垦活动对社会经济发展具有双刃性,其可增加粮食产量,有利于社会经济的发展,但又降低了湖泊的调蓄能力,从而增加流域内洪水发生的频率,带来经济损失。当生产力水平较低,围垦活动能够满足社会经济发展需要时,其产生的经济负面问题就会退居次要,湖区围垦持续进行;随着生产技术的提高,当围湖垦殖的经济效益不能满足经济发展需要时,其所带来的负面问题便日益突出,围垦活动便会被退田还湖取代,湿地面积得以增加。因此,社会经济通过控制围湖垦殖与退田还湖活动,是湖泊湿地演变的核心要素。



①: 围垦满足经济发展需求; ②: 围垦不能满足经济发展需求; +: 正效应; -: 负效应

图5 近百余年来洞庭湖湿地演变驱动因子及相互作用关系

Fig.5 Interaction among the driving factors of wetland evolution in Lake Dongting, 1900–2020

4 结论

本文在结合大量历史资料及数据的基础上,采用分段线性回归方法将近百余年来洞庭湖湿地演变过程分为4个阶段。其中,1900—1949年,湿地面积明显下降,洲滩/水域比例相对稳定;1950—1978年,湿地面积快速萎缩,水域向洲滩进行转化;1979—1998年,面积变化相对稳定,水域持续向洲滩进行转化;1999年至今,湖泊面积略微回升,洲滩比例有所下降,洞庭湖洲滩向水域进行转化。不同阶段,影响湿地演变的驱动因素有所差异。湿地面积变化的核心驱动因素为经济与政策共同驱动下的围湖垦殖与退田还湖活动,且

经济发展是推动政策变化的根本动力。气象波动、航道整治、水库建设以及湖区采砂活动等可通过改变入湖水沙情势,对湿地景观格局产生影响,并影响围湖垦殖与退田还湖等活动。1900—1978年,随着社会经济的发展,由于受生产技术限制,经济发展对土地的需求愈加强烈,为增加垦殖面积,政府对围湖垦殖的态度也发生了由“鼓励”到“参与”的演变,且随着生产力水平的提高,人类对自然的改造能力逐渐增强,人地关系矛盾日益突出。1979年以后,国家经济以发展工业化为核心,靠增加土地面积带来的经济效益已不能满足经济增长的需要,且持续围垦带来的社会经济和生态环境负面效益已经不利于区域可持续发展,于是国家相继提出了“禁围”以及“退田还湖”政策,人地矛盾得到缓解。然而,本文仅考虑了湖泊面积以及洲滩与水域间相互转化的湿地格局的演变过程,作为湿地生态系统中最为活跃的组成部分,洞庭湖植物、动物以及微生物群落的演化过程、驱动因素及其回馈关系有待进行系统研究。

5 参考文献

- [1] Stout JP. All about wetlands. *BioScience*, 1987, **37**(10): 735-736. DOI: 10.2307/1310476.
- [2] Lv XG, Huang XT. Progress in wetland research in China. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, **18**(4): 2-9. [吕宪国, 黄锡畴. 我国湿地研究进展——献给中国科学院长春地理研究所成立40周年. *地理科学*, 1998, **18**(4): 2-9.]
- [3] 姜加虎, 窦鸿身, 苏守德. 江淮中下游淡水湖群. 武汉: 长江出版社, 2009.
- [4] Reyers B, Folke C, Moore ML *et al.* Social-ecological systems insights for navigating the dynamics of the anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 2018, **43**: 267-289. DOI: 10.1146/annurev-environ-110615-085349.
- [5] Wu XT, Wei YP, Fu BJ *et al.* Evolution and effects of the social-ecological system over a millennium in China's Loess Plateau. *Science Advances*, 2020, **6**(41): eabc0276. DOI: 10.1126/sciadv.abc0276.
- [6] 窦鸿身, 姜加虎. 洞庭湖. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
- [7] Yu SC, Wang LC, Xia WP *et al.* Spatio-temporal evolution of riparian lakes in Dongting Lake area since the late Qing Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2020, **75**(11): 2346-2361. DOI: 10.11821/dlxb202011006. [余姝辰, 王伦澈, 夏卫平等. 清末以来洞庭湖区通江湖泊的时空演变. *地理学报*, 2020, **75**(11): 2346-2361.]
- [8] Bian HX, Gong XL. Preliminary study on the reclamation problems in the Dongting Lake area. *Acta Geographica Sinica*, 1985, **40**(2): 131-141. [卞鸿翔, 龚循礼. 洞庭湖区围垦问题的初步研究. *地理学报*, 1985, **40**(2): 131-141.]
- [9] Jiang JH, Huang Q. Imitative study on the effect of silts and cultivation on flooding in Dongting Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, **15**(5): 584-587. [姜加虎, 黄群. 洞庭湖淤积、围垦对湖区江湖洪水影响的模拟. *长江流域资源与环境*, 2006, **15**(5): 584-587.]
- [10] 余姝辰. 基于历史地图和多源遥感数据的近百年来洞庭湖区江湖格局演化[学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2021.
- [11] Li JB, Yin H, Lu CZ *et al.* Impact of sedimentation on Dongting Lake. *Acta Geographica Sinica*, 2008, **63**(5): 514-523. [李景保, 尹辉, 卢承志等. 洞庭湖区的泥沙淤积效应. *地理学报*, 2008, **63**(5): 514-523.]
- [12] Yin H, Yang B, Jiang ZC, *et al.* Mutual effects between morphological characteristics and variations of flow-sediment process of Dongting Lake during 1951-2009. *Geographical Research*, 2012, **31**(3): 471-483. [尹辉, 杨波, 蒋忠诚等. 近60年洞庭湖泊形态与水沙过程的互动响应. *地理研究*, 2012, **31**(3): 471-483.]
- [13] Malash G, El-Khaiary M. Piecewise linear regression: A statistical method for the analysis of experimental adsorption data by the intraparticle-diffusion models. *Chemical Engineering Journal*, 2010, **163**: 256-263.
- [14] Zhang L, Ma JX, Zhang Q *et al.* Characteristics of runoff-sediment variation of Dongting Lake in recent six decades and its relationship with human activities. *J Yangtze River Sci Res Inst*, 2021, **38**(9): 14-20. [张琳, 马敬旭, 张倩等. 近60多年洞庭湖水沙演变特征及其与人类活动的关系. *长江科学院院报*, 2021, **38**(9): 14-20.]
- [15] Jiang Y, Xu ZX, Wang J. Comparison among five methods of trend detection for annual runoff series. *J Hydraulic Engineering*, 2020, **51**(7): 845-857. [姜瑶, 徐宗学, 王静. 基于年径流序列的五种趋势检测方法性能对比. *水利学报*, 2020, **51**(7): 845-857.]
- [16] 王恢先. 湖南省水利建设. *水利月刊*, 1945.
- [17] 钟兴永. 洞庭湖堤垸的兴废及其历史作用. *云梦学刊*, 2005, **26**(6): 52-54.
- [18] 国民政府内政部编. 废田还湖及导淮入海会议汇刊, 1932.
- [19] 湖南省政府编. 湖南省滨洲土视察报告书, 1947.
- [20] 彭佩钦, 蔡长安, 赵青春. 洞庭湖区的湖垸农业、洪涝灾害与退田还湖. *国土与自然资源研究*, 2004, (2): 23-25.
- [21] 湖南省水利志编纂委员会编. 湖南省水利志·第一分册, 1985.
- [22] Li JB, Zhong SX, Yang Y *et al.* Effects on the functions of ecosystem services of Dongting Lake from silt deposit and land reclamation. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, **13**(2): 179-182. [李景保, 钟赛香, 杨燕等. 泥沙沉积与围垦对洞庭湖生态系统服务功能的影响. *中国生态农业学报*, 2005, **13**(2): 179-182.]

- [23] Li JB, Chen CM, Duan ZL. Study on the exploitation and utilization of land reclamation in the dongtinghu area. *Acta Scientiarum Naturalium Universtis Normalis Hunanensis*, 1995, **18**(1): 72-77. [李景保, 陈长明, 段正梁. 论洞庭湖区滩地围垦的利弊得失与开发利用. 湖南师范大学自然科学学报, 1995, **18**(1): 72-77.]
- [24] Shi YF, Jiang T, Su BD *et al.* Preliminary analysis on the relation between the evolution of heavy floods in the Yangtze River Catchment and the climate changes since 1840. *J Lake Sci*, 2004, **16**(4): 289-297. DOI: 10.18307/2004.0401. [施雅凤, 姜彤, 苏布达等. 1840年以来长江大洪水演变与气候变化关系初探. 湖泊科学, 2004, **16**(4): 289-297.]
- [25] 张光斗. 1998年长江大洪水. 人民长江, 1999, (7): 1-3.
- [26] Jiang JH, Zhang C, Huang Q *et al.* Analysis on the restoration and ecological recovery of Dongting Lake by stopping cultivation. *J Lake Sci*, 2004, **16**(4): 325-330. DOI: 10.18307/2004.0406. [姜加虎, 张琛, 黄群等. 洞庭湖退田还湖及其生态恢复过程分析. 湖泊科学, 2004, **16**(4): 325-330.]
- [27] Lai XJ, Jiang JH, Huang Q. Pattern of impoundment effects and influencing mechanism of Three Gorges Project on water regime of Lake Dongting. *J Lake Sci*, 2012, **24**(2): 178-184. DOI:10.18307/2012.0202. [赖锡军, 姜加虎, 黄群. 三峡工程蓄水对洞庭湖水情的影响格局及其作用机制. 湖泊科学, 2012, **24**(2): 178-184.]