

· 专题:双清论坛“湿地保护和修复的基础理论及关键技术问题” ·

长江中游通江湖泊洪泛湿地生态环境 问题与研究展望*

徐力刚^{1**} 谢永宏² 王晓龙¹

1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210018

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所,长沙 410125

[摘要] 以鄱阳湖和洞庭湖为代表的长江中游通江湖泊是我国最重要的洪泛湿地湖群,其独特的水文条件繁衍了极其丰富的生物多样性。受气候变化和人类活动的双重影响,通江湖泊与洪泛湿地生态系统正面临着一系列的生态环境问题和研究挑战。本文首先论述了通江湖泊与洪泛湿地系统的开放性与复杂性特征,其次系统梳理了长江中游通江湖泊洪泛湿地面临的水资源、水环境和生态问题,最后针对性地提出了未来通江湖泊洪泛湿地生态—水安全需要重点关注生态水文相互作用机理及耦合机制、生物多样性保护、湖泊湿地碳源汇格局及其气候效应、江湖关系连通格局的优化调控以及湖泊湿地保护管理与流域绿色发展 5 个方面的重点领域和方向。论文对于揭示通江湖泊洪泛湿地生态系统功能演变过程及其驱动机制、维持湿地生态功能与生态安全具有一定的理论意义,也对我国正在积极推动“一带一路”和“长江经济带”等国家重大战略实施具有实践指导价值。

[关键词] 通江湖泊;洪泛湿地;江湖关系;生态水文;长江流域

1 通江湖泊与洪泛湿地生态系统特征

1.1 通江湖泊与洪泛湿地生态系统

我国幅员辽阔、湖泊众多,在各个自然地理带不同的气候区内,都有天然湖泊的分布。长江流域是我国湖泊的集中分布区之一,它涵盖了我国两大稠密湖群区的主体部分,即青藏高原湖群区和长江中下游东部平原湖泊群^[1, 2]。其中,长江中下游平原区又是我国淡水湖泊分布最为密集的核心区,沿江湖泊星罗棋布,平均湖泊率约为 9.6%。通江湖泊指与河流相通,有江河水自由入湖或湖水自由入江河的湖泊。在长江主要指那些湖水自由排入长江或自由接受长江来水的湖泊。鄱阳湖和洞庭湖是我国长江中游地区最大的两大淡水湖泊,也是我国目前长江中游地区仅存的两个通江大湖,其他湖泊均已在江湖之间实施建闸控制,从而失去了江湖之间的水力联系和生态联系(图 1)。



徐力刚 中国科学院南京地理与湖泊研究所研究员,博士生导师。现任中国科学院鄱阳湖湿地观测研究站/江西鄱阳湖湖泊湿地生态系统国家野外科学观测研究站站站长。长期从事湖泊湿地生态水文过程方面的研究工作,主持国家重点研发计划项目 1 项、专题 1 项,国家自然科学基金项目 3 项、中国科学院仪器设备研制项目 1 项。在国内外期刊上以第一作者和通讯作者发表学术论文近 80 篇,以第一申请人获得国家软件著作权 3 项,已获得国家发明专利授权 2 项。

洪泛湿地是季节性或临时性的河湖湿地的一种,对河湖与陆地之间的水文、水力和生态联系起着过渡和纽带作用^[3]。全球湿地面积约有 $5.7 \times 10^6 \text{ km}^2$,据估计洪泛湿地所占比重达 15%,成为全球重要的湿地类型之一^[4]。洪泛湿地在洪水季节除直接拦蓄降水外,可承纳滞留溢出河道或者湖泊洪水,而在枯水季节则补给河湖生态用水,缩短河湖干枯时间,实

收稿日期:2022-02-14;修回日期:2022-05-08

* 本文根据第 289 期“双清论坛”讨论的内容整理。

** 通信作者,Email:lgxu@niglas.ac.cn

本文受到国家重点研发计划项目(2018YFE0206400)和国家自然科学基金项目(41971137, U21A2009)的资助。

现对河湖径流和蓄量的调节^[5]。通江湖泊洪泛湿地具有结构整体性、时空异质性、系统开放性、作用复杂性和生态脆弱性等多重特点,通江湖泊洪泛湿地植被物种类型通常要比其他湿地类型更加丰富,植被生长、分布与群落演替等高度依赖于洪泛作用下江、河、湖水位、地下水水位波动以及敏感的土壤水分变化,使得植被生态效应成为洪泛湿地生态系统过程的重要表征与指示^[6-8]。以鄱阳湖和洞庭湖为代表的长江中游通江湖泊是我国最重要的洪泛湿地湖群,是国际最具代表性大型通江淡水湖泊,也是具有重要全球性国际保护意义的湖泊湿地^[9]。通江湖泊洪泛湿地独特的水情动态和环境条件,繁衍了极其丰富的生物多样性,不仅是长江中下游通江湖泊湿地典范,在全球范围内也极具代表性^[10]。

1.2 开放性与复杂性特征

长江中游的大型江—河—湖系统是一个开放的复杂系统,长期演变形成的江湖关系错综复杂。鄱阳湖承接上游赣、抚、信、饶、修五河来水,由湖口北注长江,与长江相互顶托(长江间或倒灌入湖),长江水情变化直接影响鄱阳湖的水量变化。长江和鄱阳湖以湖口为汇合口,构成湖水下泄入江或江水倒灌入湖的错综复杂的江湖关系,江湖交换水量受到鄱阳湖上游五河来水和长江水量的双重影响,江湖关系不仅包括鄱阳湖调蓄长江洪水的能力,还包括长江和鄱阳湖因水量、物质能量交换而导致的江、湖冲淤演变与水文情势变化及引起的水资源、水环境和水生生态效应。洞庭湖接纳长江、荆江三口分流及湘、

资、沅、澧四水来水,调蓄后在城陵矶与长江汇流,形成吞吐长江之势^[11]。长江与洞庭湖的江湖关系不仅包括传统防洪意义上的蓄泄关系,还包括荆江与洞庭湖因水量、物质能量交换而导致的江、湖冲淤演变与水文情势变化及引起的水资源、水环境和水生生态效应。通江湖泊也是一种过水型的湖泊,长江和鄱阳湖、洞庭湖出湖口还有流域来水作为纽带,构成江湖分合、相互影响、相互制约的错综复杂的江湖关系。长江与鄱阳湖、洞庭湖之间不同的水沙交换特性,形成了各具特色的江湖关系,其复杂性与重要性在世界上是独一无二的^[12-14]。通江湖泊因其特殊的地理位置、独特的水系结构、季节性的河湖相交替,形成了极其复杂和有代表性的江河湖泊复合开放型湿地生态系统。

通江湖泊洪泛湿地不同季节经历着“干—湿—干”季节性交替过程,形成了“洪水一片,枯水一线”的大面积湿地,具有呈现“高水是湖,低水似河”的独特自然地理景观。通江湖泊湿地通常包含碟形湖湿地、冲积三角洲湿地、河流湿地和沼泽湿地等多种类型,随着水位的涨落形成了以碟形湖湿地、三角洲滩湿地与河口尾间湿地为核心的多类型复杂的洪泛湿地生态系统。洪泛湿地兼有水体和陆地的双重特征,集中体现了以湿地为主要特征的环境多样性和生物多样性的统一,在调蓄洪水、调节气候、固碳增汇、生物多样性保育等方面发挥着举足轻重的作用。长江与其通江湖泊洪泛湿地之间相互作用、互为制约,长期演变形成的江湖物质交换关系错综复杂,特别是随着三峡工程建设等强人工胁迫影响下江湖关系的剧烈调整,长江中游通江湖泊与湿地的生态环境问题的互馈作用倍受关注。江—河—湖强相互作用下的复杂大型通江湖泊洪泛湿地系统在全球也具有鲜明的特色,是世界上独特的大型洪泛湿地生态系统之一。国际上对于如此典型、独特的人地互动态湖泊湿地系统也极为少见,通江湖泊洪泛湿地是极为珍贵和难得的天然环境实验室。

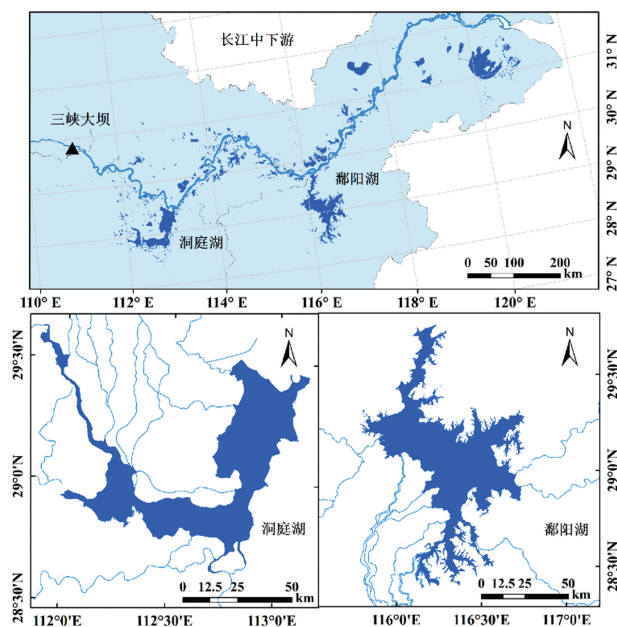


图 1 长江中下游湖泊分布图及典型通江湖泊(2010年)

2 长江通江湖泊湿地生态环境关键问题诊断

在过去 60 年里,受气候变化与人类活动的双重影响,长江中游通江湖泊水文情势已发生了不同程度的变化,江湖关系的变化使得通江湖泊及其洪泛湿地水资源、水环境、水生态及社会发展等面临一系列问题。而近年来,随着三峡工程等控制性水利枢纽相继建成并投入运行,长江上游来水来沙条件随之变化,又强力驱动长江中游江湖关系进入新一轮

的调整。由此带来了通江湖泊洪泛湿地一系列水资源、水环境和水生态问题,这些变化使通江湖泊湿地面临着前所未有的水安全和生态安全压力,也引起了国内外科学界和社会舆论的广泛关注。通江湖泊洪泛湿地面临的生态环境问题主要表现在以下几方面。

2.1 通江湖泊呈现面积萎缩、湖泊调蓄能力下降、洪涝灾害威胁增加趋势

长江中游通江湖泊主要受泥沙淤积、围湖造田、水利工程建设等影响,如长江中下游平原的鄱阳湖和洞庭湖,由于长期泥沙淤积和20世纪50—70年代大规模围湖造田,从20世纪50年代至今,鄱阳湖面积从5190 km²减小至3750 km²,洞庭湖面积从4350 km²减小至2625 km²。围垦不仅使湖泊面积锐减,同时也使湖泊蓄水容积减少。据初步调查表明,中华人民共和国成立以来长江中下游地区因围垦减少湖泊容积约达5×10¹⁰ m³以上,这一数字相当于淮河年径流量的1.1倍,五大淡水湖泊蓄水总量的1.3倍,在建三峡水利工程设计调蓄库容的5.8倍(运行前期)^[15]。一方面,湖泊调蓄容积的减少直接导致湖泊洪水调蓄功能下降,在相当程度上引发了江湖洪水位的不断升高,最高洪水位被不断突破;另一方面,2000年以后受流域及湖区强人类活动的干扰和长江上游大型水利工程的影响,江湖关系变化,水量平衡关系改变,导致湖泊退水期提前,湖区干旱事件更为频繁,枯水位屡创新低^[16,17],泥沙淤积大幅下降等生态问题突出。如由于江湖关系的调整,洞庭湖平均水位由三峡前的25.3 m下降到24.9 m,泥沙淤积量减小幅度达96.6%,并引发了一系列其他生态环境问题^[18]。受气候变化与人类活动的双重影响,使鄱阳湖季节性水资源紧张、汛后水位消退加速、湖泊萎缩等干旱化问题日益严重。由于湖泊调蓄功能的减退,削弱了长江洪水径流的功能,减少了长江水系泥沙的沉淤空间,从而加剧了长江干流变迁和通江湖泊及其流域的洪旱灾害威胁。

2.2 通江湖泊湿地水环境恶化和水生态系统退化的风险加大

长江通江大湖的围垦和大规模人类活动以及水利工程的大量建设割裂了江湖天然的水力和生态联系,导致了湖泊湿地的大规模丧失,引起了江湖水沙交换过程与通量的调整,改变了江湖水文水动力特征,进而影响通江湖泊良好水环境质量和湖泊水生态系统完整性,削弱了长江洪泛过程中营养物质输入被吸收和转化的能力,不但直接导致生物多样性下降,还在一定程度上加剧了通江湖泊水体的富营

养化和水质恶化过程。如有研究表明,三峡运行后洞庭湖水水质恶化趋势更加明显,这主要是流域污染物输入量变化、江湖关系调整多方面因素共同作用的结果^[19]。此外,围湖围垦、水产养殖以及无序的旅游开发等大量侵占了通江湖泊湖滨区域和湖泊流域缓冲区,水源涵养林遭到破坏,河岸生境受到影响,湖荡湿地面积萎缩、湖滨缓冲带生境破碎,导致湖泊清水补给能力下降;部分湖泊湿地水生态系统退化严重,水位下降、水面缩小、洲滩出露面积增加等,湖内水生动植物种类和规模显著减小,经济鱼类种群呈现低龄化、小型化趋势,影响湖泊水生态系统的稳定性,加剧了通江湖泊湿地水生态系统退化的风险^[20]。

2.3 通江湖泊洪泛湿地生态系统结构稳定性降低、生态服务功能下降

近年来,受江湖格局变化、气候变化以及人类活动的共同影响,长江中游洪泛湖泊湿地生态系统和生物地球化学循环过程都发生了显著变化^[21],表现为低水位出现时间提前和持续时间延长,极端水文事件发生频率加快,由此给长江中游通江湖泊湿地生态系统结构和生物地球化学循环过程带来一系列不利的影响,进而影响整个湿地生态系统的完整性和稳定性,并最终导致了湖泊服务功能的下降。如对植被的影响表现在高滩湿地植被退化,水陆过渡带植物生物多样性减少,新出露区域水生植被退化以及局部沉水植被类型发生大面积的丧失等^[22]。近20年来,洞庭湖湿地植被正向演替趋势明显,高位滩地植物挤占低位滩地植物的生长空间明显^[23]。鄱阳湖洪泛湿地植被则突出表现在低滩植物下延趋势明显,藨草带扩张显著,使得水陆过渡带的湿地植物物种多样性显著下降^[24]。这导致洪水期水生植物空间分布面积萎缩,物种数量下降,水生植物优势种也由原先的马来眼子菜群落转变为苦草群落、菱群落和荇菜群落。通江湖泊湿地通常是一个开放、连续的生态系统,受自然过程和人类活动的干扰与干预,通江湖泊湿地生态系统服务呈现高度复杂性、高频时空变化和高耦合关联等特征,而水情是气候变化与人类活动影响通江湖泊湿地生态系统结构稳定性和脆弱性最为重要的过程变量,由于近期通江湖泊极端水文情势的频繁出现,通江湖泊湿地生态系统结构稳定性和生态服务功能已呈现显著的变化^[25]。

3 长江中游通江湖泊洪泛湿地重点研究展望

根据长江中游典型湖泊湿地特征,未来的研究重点将是加强通江湖泊湿地生态水文相互作用机理

及耦合机制,强化湖泊湿地生态自我修复能力与生物多样性保护的技术研发,关注通江湖泊洪泛湿地碳源汇格局及其气候效应,提升江湖关系连通格局的优化调控手段和方法,拓展通江湖泊湿地多要素耦合的系统集成与综合管理。构建江湖和谐、生态流量充足、生物种类多样化的通江湖泊洪泛湿地生态—水安全格局是当前和未来一段时间内面临的重点研究方向与重要研究挑战。

3.1 通江湖泊湿地生态水文相互作用机理及耦合机制

由于通江湖泊洪泛湿地生态系统是一个复杂的非线性系统,水文过程与水循环是物质迁移转化的基础,决定了湖泊湿地生态系统的类型、结构与功能^[26]。“多要素”是指湿地水文水动力、水质和生态三大要素,其中水文水动力要素包括水位、流速、流量和水文周期等;“多过程”是指湿地水文过程、水动力过程、生物地球化学过程和生态过程等;“多尺度”是指湿地生态系统的个体、种群、群落、生态系统、景观、流域乃至全球尺度,湿地的水文响应单元、集水区、流域乃至全球尺度^[27]。尽管当前关于通江湖泊水文过程间耦合机制的研究已得到大量开展^[28],但由于通江湖泊水系结构的复杂性、多水生态过程间的易变性及高度耦合性等特点,当前洪泛湿地水文水动力过程、水化学过程与生态过程的相互作用机理,湿地生态水文过程多尺度转化与耦合机制,以及基于“多要素—多过程—多尺度”的湿地生态水文相互作用机制研究仍是未来通江湖泊洪泛湿地生态水文研究的主攻方向。

3.2 通江湖泊湿地生态自我修复能力与生物多样性的保护

通江湖泊洪泛湿地水文过程独特,生境结构复杂,退化成因多样,其保护与修复工作面临极大挑战。“长江大保护”中提出的江湖关系系统治理等理念,为开展江湖泊洪泛湿地的生态保护与修复提供了根本的遵循原则和科学启示。湖泊湿地生态系统的保护和管理,需要根据生物群落和自然条件变化和人类活动影响不断调整管理的方法,采取适应性的管理模式。依据长江中游典型湖泊湿地特征,建立湿地生物多样性评价指标体系,研究典型湖泊湿地生物多样性现状及其总体特征,明确其主要影响因素,创新并集成通江湖泊洪泛湿地“水文过程驱动—水资源调配与优化—湿地生态修复—洪泛湿地多目标调控”一体的湿地水生态安全保障技术和调控技术,并通过在典型洪泛湿地开展集成示范,为构

建江湖和谐、生态流量充足、生物种类多样的生态安全格局提供有力技术支撑是面临的重要研究挑战^[29]。

3.3 通江湖泊湿地碳源汇格局及其气候效应

内陆湖泊水体是陆地生态系统重要的碳源,水文因素控制着湿地的生物地球化学过程,影响湿地植被的碳吸收与碳排放,因而湖泊湿地的碳循环也会随之改变。洪泛湿地的碳循环过程受水文节律、长江中游剧烈的人类活动影响,使其碳源汇格局更加复杂。由于年内和年际的高变幅水位而呈现出与其他湖泊明显不同的特征—洪水期水面扩大,枯平水期洲滩湿地广泛发育,从而使得通江湖泊洪泛湿地在枯平水期表现为碳汇,淹没后则成为潜在的碳源。正因如此,长江中游通江湖泊湿地已成为我国“双碳”目标中湿地固碳监测的重要组成部分,厘清其碳源汇格局具有重要的实践意义和理论价值,也是未来准确评估通江湖泊碳汇功能,为国内和全球湿地碳源汇清单提供数据支撑的基础和关键。此外,由于湿地也是最大的 CH_4 自然排放源,约占所有自然排放源的70%。但受制于观测条件的限制和 CH_4 产生/吸收过程的复杂性,当前全球湿地 CH_4 收支数据仍然存在较大的不确定性,洪泛湿地的 CH_4 收支过程及其水文环境调控亦是当前的热点和难点。

3.4 江湖关系连通格局的生态响应机理和优化调控方案

通江湖泊流域系统水文、水动力、水环境和水生态过程定量模拟手段已较为成熟。随着湖泊湿地模块的不断开发和改进以及水循环模拟技术和生态模拟技术的进一步耦合,通江湖泊洪泛湿地生态水文模型已从描述单一过程关系经验模型发展到精细刻画物理过程的分布式综合模型。在全面、深入理解和刻画洪泛湿地水文特性及其与周围环境的水文联系的基础上,构建通江湖泊流域湿地的生态水文模型,提高水文和生态过程的模拟精度,并为湖泊流域湿地恢复保护与重建和湿地景观格局优化提供依据,定量辨析全球气候变化的自然驱动因素以及重大人类活动影响,进而基于耦合模型开发多目标、多情景的联合优化调控方案,实现江湖两利的新型江湖关系亦是未来面临的重大研究挑战。

3.5 通江湖泊湿地多要素耦合的系统集成与综合管理

按照流域生态的整体性、系统性及其内在规律,坚持以通江湖泊流域(水系)为纽带和视角,对湖泊流域山水林田湖草生态系统要素的开发和保护、区域发展等重大问题进行统筹规划和一体化系统治

理,加强洪泛湿地生态水文模型与生态经济模型耦合和应用研究,从生态水文学和生态经济学研究的理论入手,拓展通江湖泊洪泛湿地水资源综合管理的理念和方法,构建湿地“水—生态—社会经济”协调发展耦合模型,开展通江湖泊湿地多要素耦合的系统集成与综合管理,指导洪泛湿地水资源管理与生态恢复保护,更好地服务于生态文明建设推动通江湖泊湿地保护与流域绿色发展。兼顾自然和人类的相互依存关系,以流域综合管理与水岸协同共治为基础,以动态适应性的智慧管理为依托,以水生态功能恢复为目标,统筹构建和谐健康的通江湖泊流域(水系)网络,调整湖泊运行模式,清理湖泊内部废堤残坝,恢复江湖、河湖的生命网络系统。

4 结 语

以鄱阳湖和洞庭湖为代表的长江中游地区由于受气候变化、重大水利工程建设与湖区联圩并垸、围垦、湖盆淤积、退田还湖等人类活动的影响,加上长江中游通江湖泊所在地区正处于快速发展的机遇期,因此通江湖泊与洪泛湿地生态系统正面临着水资源、水环境、水生态方面的突出生态环境问题和研究挑战。长江中游的通江湖泊蕴含着独特的洪泛湿地生态系统,具有极其丰富的生物多样性保护价值。鄱阳湖和洞庭湖是长江流域维持中游地区生态安全的关键通江湖泊湿地,在长江大保护格局中具有十分重要的地位。随着长江经济带绿色发展和长江大保护等国家战略的逐步实施,长江中游通江湖泊洪泛湿地的水生态环境问题已提升到一个新高度,亟需全新而系统的认识与理解。未来长江中游通江湖泊洪泛湿地生态—水安全亟需重点关注生态水文相互作用机理及耦合机制、生物多样性保护、湖泊湿地碳源汇格局及其气候效应、江湖关系连通格局的优化调控以及湖泊湿地保护管理与流域绿色发展 5 个方面的重点领域和方向。

致谢 成文过程中得到姜加虎研究员、李峰研究员、万荣荣研究员、赖锡军研究员和李相虎副研究员的指导和帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 799—810.
- [2] Ivanov VY, Bras RL, Vivoni ER. Vegetation-hydrology dynamics in complex terrain of semiarid areas: 1. A mechanistic approach to modeling dynamic feedbacks. *Water Resources Research*, 2008, 44(3): 1—34.
- [3] Chaparro G, Horváth Z, O'Farrell I, et al. Plankton metacommunities in floodplain wetlands under contrasting hydrological conditions. *Freshwater Biology*, 2018, 63(4): 380—391.
- [4] 陈静, 李云良, 周俊锋, 等. 鄱阳湖洪泛区碟形湖湿地系统地表地下水交互作用. *湖泊科学*, 2021, 33(3): 842—853.
- [5] Junk WJ, Wantzen KM. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications—an update. *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the Mekong River Commission (MRC)*, 2004. 58—66.
- [6] Sadat-Noori M, Anibas C, Andersen MS, et al. A comparison of radon, heat tracer and head gradient methods to quantify surface water-groundwater exchange in a tidal wetland (Kooragang Island, Newcastle, Australia). *Journal of Hydrology*, 2021, 598: 126281.
- [7] Cooper DJ, Sanderson JS, Stannard DI, et al. Effects of long-term water table drawdown on evapotranspiration and vegetation in an arid region phreatophyte community. *Journal of Hydrology*, 2006, 325(1—4): 21—34.
- [8] Fan HX, Xu LG, Tao H, et al. Accessing the difference in the climate elasticity of runoff across the Poyang Lake Basin, China. *Water*, 2017, 9(2): 135.
- [9] 陈宜瑜, 吕宪国. 湿地功能与湿地科学的研究方向. *湿地科学*, 2003, 1(1): 7—11.
- [10] Xie YH, Tang Y, Chen XS, et al. The impact of Three Gorges Dam on the downstream eco-hydrological environment and vegetation distribution of East Dongting Lake. *Ecohydrology*, 2015, 8(4): 738—746.
- [11] Geng MM, Wang KL, Yang N, et al. Is water quality better in wet years or dry years in river-connected lakes? A case study from Dongting Lake, China. *Environmental Pollution*, 2021, 290: 118115.
- [12] 万荣荣, 杨桂山, 王晓龙, 等. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展. *湖泊科学*, 2014, 26(1): 1—8.
- [13] Wang CL, Jiang WG, Deng Y, et al. Long time series water extent analysis for SDG 6. 6. 1 based on the GEE platform: a case study of Dongting Lake. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2021, 15: 490—503.
- [14] Xia Y, Fang CY, Lin H, et al. Spatiotemporal evolution of wetland eco-hydrological connectivity in the Poyang Lake area based on long time-series remote sensing images. *Remote Sensing*, 2021, 13(23): 4812.
- [15] 姜加虎, 黄群, 孙占东. 长江流域湖泊湿地生态环境状况分析. *生态环境*, 2006, 15(2): 424—429.
- [16] 曹宇贤, 徐力刚, 范宏翔, 等. 1960年以来气候变化与人类活动对鄱阳湖流域生态径流改变的影响. *湖泊科学*, 2022, 34(1): 232—246.
- [17] Deng Y, Jiang WG, Tang ZH, et al. Long-term changes of open-surface water bodies in the Yangtze River Basin based on the google earth engine cloud platform. *Remote Sensing*, 2019, 11(19): 2213.
- [18] 李峰, 谢永宏, 陈心胜, 等. 三峡工程运行对洞庭湖湿地植被格局的影响及调控机制. *农业现代化研究*, 2018, 39(6): 937—944.

- [19] Geng MM, Wang KL, Yang N, et al. Spatiotemporal water quality variations and their relationship with hydrological conditions in Dongting Lake after the operation of the Three Gorges Dam, China. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 283: 124644.
- [20] 张广帅, 于秀波, 刘宇, 等. 鄱阳湖碟形湖泊植物分解和水位变化对水体碳、氮浓度的叠加效应. *湖泊科学*, 2018, 30(3): 668—679.
- [21] 郑利林, 徐金英, 王晓龙, 等. 基于随机森林方法研究鄱阳湖典型洲滩植被群落分布与表层土壤因子耦合关系. *土壤*, 2020, 52(2): 378—385.
- [22] Hu JY, Xie YH, Tang Y, et al. Changes of vegetation distribution in the east Dongting Lake after the operation of the Three Gorges Dam, China. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 582.
- [23] 吴燕锋, 章光新. 湿地生态水文模型研究综述. *生态学报*, 2018, 38(7): 2588—2598.
- [24] 王若男, 刘晓波, 韩祯, 等. 鄱阳湖湿地典型植被对关键水文要素的响应规律研究. *中国水利水电科学研究院学报*, 2021, 19(5): 482—489.
- [25] 徐昔保, 杨桂山, 江波. 湖泊湿地生态系统服务研究进展. *生态学报*, 2018, 38(20): 7149—7158.
- [26] 刘晓波, 韩祯, 王世岩, 等. 长江大保护视角下鄱阳湖湿地保护的研究思考. *中国水利水电科学研究院学报*, 2021, 19(2): 201—209.
- [27] 章光新, 武瑶, 吴燕锋, 等. 湿地生态水文学研究综述. *水科学进展*, 2018, 29(5): 737—749.
- [28] 谭志强, 李云良, 张奇, 等. 湖泊湿地水文过程研究进展. *湖泊科学*, 2022, 34(1): 18—37.
- [29] 邓正苗, 谢永宏, 陈心胜, 等. 洞庭湖流域湿地生态修复技术与模式. *农业现代化研究*, 2018, 39(6): 994—1008.

Ecological Environment Problems and Research Prospect of Flood Wetlands of Yangtze River-connected Lake in the Middle Reaches of Yangtze River

Xu Ligang^{1*} Xie Yonghong² Wang Xiaolong¹

1. *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210018*
2. *Institute of Subtropical Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125*

Abstract The Yangtze river-connected lakes in the middle reaches of the Yangtze River, represented by Poyang Lake and Dongting Lake, are the most important flood wetland lakes in China, and their unique conditions breed extremely rich biodiversity. Affected by climate change and human activities, lakes and flood wetland ecosystems are facing a series of ecological environment problems and research challenges. In this paper, the characteristics of openness and complexity of Yangtze river-connected lake and flood wetland system are discussed firstly. Secondly, the problems of water resources, water environment and water ecology faced by flood wetland in Yangtze river-connected lake and flood wetland in the middle reaches of Yangtze River are systematically summarized. Finally, the most important research points of the Yangtze river-connected lakes flooding wetland ecology will be focused on eco-hydrological interaction mechanism and coupling mechanism, biodiversity protection, lake wetland carbon source and sink pattern and its climate effect, optimization and regulation of river-lake connection pattern, lake wetland protection management. This paper has certain theoretical significance for revealing the evolution process and driving mechanism of wetland ecosystem function in Yangtze river-connected lake flooding, maintaining wetland ecological function and ecological security, and has practical guiding value for China to actively promote the implementation of national major strategies such as “One Belt, One Road” and “Yangtze River Economic Belt”.

Keywords Yangtze river-connected lakes; floodplain wetlands; relationship between rivers and lakes; eco hydrology; Yangtze River basin

(责任编辑 张强)

* Corresponding Author, Email: lgxu@niglas.ac.cn