

DOI: 10.5846/stxb201503300611

黄维, 王为东. 三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响. 生态学报, 2016, 36(20): - .

Huang W, Wang W D. Effects of three gorges dam project on dongting lake wetlands. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(20): - .

三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响

黄 维^{1,2}, 王为东^{1,*}

1 中国科学院生态环境研究中心, 中国科学院饮用水科学与技术重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 长江三峡工程建成运行后, 其下游第一个大型通江湖泊——洞庭湖的水文、水质以及湿地环境等均发生了很大变化。三峡工程已经开始影响到洞庭湖的泥沙淤积、水位波动、水质以及植被演替等。以三峡水库调度运行方案、河湖交互作用和洞庭湖湿地植被分布格局为基础, 从长江三峡工程对洞庭湖水文、水质以及湿地植被演替等方面综述了三峡工程对洞庭湖湿地的综合影响。三峡工程减缓了长江输入洞庭湖泥沙的淤积速率, 对短期内增加洞庭湖区调蓄空间、延长洞庭湖寿命有利。总体上减少了洞庭湖上游的来水量, 改变了洞庭湖原来的水位/量变化规律。给洞庭湖水环境质量造成了直接或间接的影响, 对其水质改变尚存一定争议, 但至少在局部地区加剧了污染。水位变化和泥沙淤积趋缓协同改变了洞庭湖湿地原有植被演替方式, 改以慢速方式演替, 即群落演替的主要模式为: 水生植物—藓草或苔草—芦苇—木本植物。展望了今后的研究趋势与方向, 为三峡工程与洞庭湖关系的进一步研究提供参考。

关键词: 长江; 三峡工程; 洞庭湖; 江湖关系; 泥沙淤积; 水位波动; 水质; 植被演替

Effects of three gorges dam project on dongting lake wetlands

HUANG Wei^{1,2}, WANG Weidong^{1,*}

1 Key Laboratory of Drinking Water Science and Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The Three Gorges Dam Project (TGP) on the Yangtze River is the world's largest hydropower complex project. Dongting Lake is the first large lake downstream of the TGP, and substantial changes have been noted in the hydrological regimes, water quality, and wetland environments since the TGP began operation. This review summarizes the influence of the TGP on Dongting Lake based on the reservoir dispatch scheme, interaction between the river and lake, and vegetation distribution patterns of lake wetlands. The TGP reduced the sediment discharge from the Yangtze River to Dongting Lake and slowed the sediment deposition rate. This was beneficial for the lake in the short term because it increased water regulation space and extended the life of Dongting Lake. The TGP reduced water inflow from upstream and changed the variation pattern in water level. The TGP exerted direct and indirect effects on water quality of Dongting Lake. There are still controversies regarding water quality impacts of the TGP operation on Dongting Lake, and the TGP has exacerbated pollution in some regions. Reduced water level variation and sedimentation have jointly changed the process of vegetation succession in Dongting Lake. The succession rate becomes slow, and the vegetation succession sequence is aquatic plants, *Phalaris arundinacea* or *Carex* sp., *Phragmites australis*, and ligneous plants. Trends and directions of future research on these subjects are discussed. This study will provide a reference for further studies on the relationships between Dongting Lake and the TGP.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB421103); 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2014ZX07405-003)

收稿日期: 2015-03-30; **网络出版日期:** 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wdwangh@yahoo.com

Key Words: Yangtze River; Three Gorges Dam Project; Dongting Lake; relationship of river and lake; sedimentation; water level fluctuation; water quality; vegetation succession

洞庭湖位于湖南省北部、长江荆江河段南岸,其地理坐标为 $111^{\circ}53' - 113^{\circ}05' \text{E}$, $28^{\circ}44' - 29^{\circ}35' \text{N}$, 东南汇集湘水、资水、沅水、澧水四水及环湖中小河流,北接松滋口、太平口、藕池口、调弦口(1958 年冬封堵)四口分泄的长江来流,经洞庭湖调蓄后又于岳阳市城陵矶注入长江。洞庭湖现为我国第二大淡水湖,湖泊总面积 2625 km^2 、总容积 167 亿 m^3 ,丰水期为每年 6 月至 8 月,枯水期为 12 月至翌年 3 月,水深 $4 - 22 \text{ m}$,最大水位差为 $17.17 \text{ m}^{[1]}$,为长江流域重要的调蓄湖泊和水源地,其分流和调蓄作用,对整个长江中游的防洪和水资源利用举足轻重^[2]。洞庭湖湿地是与长江相连通的大型内陆淡水湿地,是我国最重要的淡水湿地之一,具有重要的生态功能和经济价值等。1994 年,洞庭湖被国务院列为国家级自然保护区,1992 年和 2001 年东洞庭湖湿地与西、南洞庭湖湿地被联合国教科文组织列入《国际重要湿地名录》。湿地是极其敏感的生态系统,自然和人类的干扰活动对其影响极其迅速^[3],因此长江三峡工程建成运行后,对洞庭湖的水位、水情会产生影响,亦必然对其生态环境产生影响^[4]。研究三峡工程的建成运行对洞庭湖湿地水文、水质以及植被演替等的影响,为该区植物多样性及退化生态系统的恢复提供科学依据,同时对于调整其作物种植布局 and 产业结构等具有十分重要的意义。

三峡工程于 2003 年开始蓄水,三峡水库总体运行水位在 $145 - 175 \text{ m}$ 之间。每年 6 月,要求水位降低到 145 m ,以腾出防洪库容 220 亿 m^3 防汛。在夏季主要汛期(7—9 月)保持出库流量一定,可以将夏季大于此流量的洪峰削减在库区内,当来水小于此流量时,水位又开始下降,一直使水位降到 145 m 。等到汛期末期,即 9 月中下旬到 10 月中旬,调节使入库流量大于出库流量,开始蓄水,大约一个月蓄满至 175 m 左右,之后保持出库水量和入库水量平衡,翌年从 2 月开始调节使出库水量大于入库水量,加大向下游的补水,直到 6 月水位降到 145 m 。以上就是三峡水库一整年的调度方案,每年的调度方案会根据三峡库区的水文气象预报、库区中小洪水的发生、发电、航运效益、水库排沙以及长江下游地区经济社会和生态环境需要适时综合调整^[5]。

近年来,随着生态环境保护意识的提高,三峡工程运行对江湖关系的影响成为众多学者关注的热点,国内外许多学者针对三峡水库蓄水运用前后对洞庭湖区的影响从不同角度做了较多研究。

1 三峡工程对洞庭湖水文的影响

1.1 对洞庭湖泥沙的影响

洪林等^[6]研究表明,三峡建坝后,由长江三口注入洞庭湖的泥沙将大幅减少。主要原因是挟沙能力最强的特大洪水被三峡水库大幅削峰,荆江由于冲刷作用加强而导致江流加速和淘深下切,结果使松滋、太平、藕池三口口门相对抬升。三峡水库运用后的百年内其下游径流的含沙量均会较之前降低,因此可以认为洞庭湖三口来水含沙量的减少将成为趋势^[7]。Xu 等^[8]根据三峡水库的调度运行方案估计从 2003 年到 2006 年有 60% 的泥沙被大坝拦截,导致大坝下游泥沙量的减少,长此以往会造成下游河道侵蚀,发生形态学的改变,而且下游河道的侵蚀产生的泥沙并不能抵消三峡水库截留的泥沙量,造成输入下游泥沙量降低。配合三峡水库,从 1985 年起在长江上游营造了大面积的水土保持林亦会有效地阻止水土流失。原先经三口进入洞庭湖的一部分泥沙将走荆江而径直下泄,使流入洞庭湖的泥沙大大减少。Yang 等^[9]研究了三峡大坝对河流泥沙的影响,分析得出在三峡大坝实际运行之后,泥沙量减少了 31%,将导致河床的侵蚀和长江三角洲扩展速度的降低。因为河流流量影响河湖响应,三峡大坝对长江流量的降低的影响,影响长江和下游湖泊如洞庭湖、鄱阳湖等的河湖响应。张细兵等^[10]以圣维南方程组为基本方程组建立了长江宜昌至大通河段(含洞庭湖区)一维非恒定流水沙数学模型。模型求解采用河网三级算法,泥沙计算采用非耦合求解模式。研究表明三峡水库运用 30 年后,荆江三口平均分流量和分沙量比多年平均值减少 43% 和 73%,三口分流道的河床相应发生冲淤变化;三峡工程运用后,受荆江三口分流比减少影响,洞庭湖区泥沙淤积显著减少。秦文凯等^[11]通过模

型计算也得出了类似的结果。郭小虎等^[12]研究表明,三峡工程蓄水后预计荆江三口分流能力将基本维持目前的格局,则三口分沙比也基本变化不大。总的来说,由于三峡工程截留使上游来沙减少,且三口分沙比不变或减少,使洞庭湖泥沙淤积速度放缓,对短期内增强洞庭湖区调蓄空间、延长洞庭湖寿命有利。

1.2 对洞庭湖水位、水量的影响

洞庭湖水位受到长江和流域内四水的共同影响,在江湖关系上既有长江分流入湖的作用,又有出口江湖相互顶托的作用。长江与洞庭湖以荆江三口分流和江湖汇流口(城陵矶)为纽带形成一个庞大复杂的江湖关系系统。系统任何一个要素发生变化,其他子系统均会做出相应的调整 and 变化。由于江湖具有自动调节作用,三峡水库蓄水前,长江中下游江湖水沙关系基本上处于相对平衡阶段^[13]。三峡工程建成后,水库调节改变下泄流量,直接影响着洞庭湖水系相互作用的水文过程。

长江水位的变化取决于大坝截留、释放的水量和水流的季节性变化。水位受影响最大的是靠近三峡的河段,最大影响是下游河段的 5 倍。在下游河段,由于支流流入的混合作用,三峡对水位影响逐渐降低,而洞庭湖是长江三峡下游的第一个吞吐型湖泊,对于调节和缓冲长江上游水量和水位起着重要的作用,必然对自身有着不可忽视的影响^[14]。自 2003 年三峡工程开始实验性蓄水以来,洞庭湖发生了秋季枯水提前、持续时间增长的现象,多次出现接近历史同期最低水位^[15]。

黄群等^[16]通过 BP 神经网络对城陵矶水位进行了模拟,还原了在没有三峡工程情况下 2006 年和 2009 年洞庭湖水位,并和 1990s 年代的对比,发现城陵矶水位有一定波动,但差别不大。而 2006 年三峡蓄水使城陵矶水位平均下降 2.03 m,最大降幅 3.30 m,2009 年蓄水使城陵矶水位平均下降 2.11 m,最大降幅 3.12 m。史璇等^[17]研究得出,2003 年三峡工程蓄水运行后,洞庭湖水位的主要变化趋势有:水位年内变化趋缓,枯水期水位明显提升,丰水期水位有所下降,9—10 月水位消落速度加快等,径流年内分配区域均匀化。而李景保^[18]等运用洞庭湖区与长江干流相关控制站 1951—2010 年实测水文数据,在分析江湖水力关系的基础上,从不同时间尺度分析江湖水体交换能力的演变特征及其对三峡水库运行的响应,江湖水体交换能力在时间尺度上的演变规律表现为:7—9 月长江三口对洞庭湖补给能力较强,1—3 月洞庭湖对长江的补给能力较强;1951—1958 年、1959—1968 年长江三口对洞庭湖的补给能力较强,而 2003—2010 年洞庭湖对长江的补给能力增强;三峡水库运行后无论是典型年还是水库不同调度方式运行期,都表现为三口分流量减少,长江三口对洞庭湖的补给能力减弱,而因四水入湖水量占绝对优势,湖泊对长江的补给能力明显增强。

Zhang 等^[19]收集了大量三峡和湖区的水文和水力数据,根据实测数据分析和采用 GAMs (generalized additive models) 模型模拟均证实了三峡工程蓄水运行造成平均 5% 的长江来水量损失,可能是由于地下的渗漏或者是其它未知的过程造成的。长江流量和水位的变化能改变洞庭湖湖水流入长江的阻滞力,从而影响湖水水位、储存水量和湖水季节性波动。当 6—9 月湖区效应较强(即洞庭湖区域降雨较多,四水来水较多),湖水水位较高,根据三峡水库调度运行方案,6—9 月保持一定的出库流量,水库蓄水较少,阻滞系数较大,对洞庭湖水位影响降低。9 月下旬到 11 月,三峡开始蓄水,长江水位降低,阻滞系数变小,洞庭湖向长江补水,以平衡长江水位与洞庭湖之间水位差,水位显著下降^[20]。10 月,三峡蓄水使东洞庭湖水位下降 2 m 左右,进入枯水期时间提前了约 1 个月,这种影响随着洞庭湖入江口下切,将进一步深化^[21]。Dai 等^[22]用 2007 年的数据研究三峡水库在洪水季节减少了长江流量,而在干旱的季节增加了流量。三峡工程蓄水导致下泄流量在枯水期发生较大幅度的调整,据实测资料表明:10 月、11 月城陵矶水位呈明显的递减趋势,主要是因为三峡水库 10 月、11 月汛后蓄水引起,12 月—翌年 3 月无明显变化,4 月、5 月呈减小趋势^[23]。总之,三峡在枯水期增加下泄流量,洪水期减少下泄流量。枯水期,由于三峡增泄流量,洞庭湖的水位将比三峡运行前抬升;丰水期,由于三峡减泄流量,洞庭湖的水位将比三峡运行前降低,对洞庭湖水位变化的影响不容忽视。

2 三峡工程对洞庭湖水质的影响

20 世纪末开展的洞庭湖水质污染调查和监测评价成果表明,洞庭湖水域本底总体水质尚好,水质多在 II

类和Ⅲ类之间,基本处于清洁和轻度污染状态。但进入 21 世纪之后,湖区多数水域已受到氮、磷等污染,全湖基本处于中度富营养化,且水质呈恶化的趋势^[24]。随着人类活动影响的深入,尤其是三峡等重大水利工程的影响,对长江中下游水环境问题产生的影响不容小觑。

洞庭湖环境问题主要是由于氮、磷导致的湖泊水域局部污染及生态系统破坏^[25]。李忠武等^[26]采用主成分分析法和基于超标权重的综合水质标识指数评价方法,发现三峡工程的运行对洞庭湖水环境质量变化有一定影响,在小河嘴、万子湖及东洞庭湖三个典型断面多年综合污染指数高于三峡工程建设前,表现为 2003 年前水质多以Ⅲ类为主,2003 年以后以Ⅳ类为主;ArcGIS 支持下的洞庭湖水环境质量时空分析表明,三峡工程运行后,洞庭湖水环境污染格局发生变化,表现为局部污染区域发生转移,东洞庭湖及洞庭湖出口污染最重,对洞庭湖总体水质情况表现出负面效应。王旭等^[27]结合洞庭湖区水文水质(1995—2010 年)观测资料,通过绘制洞庭湖水位-水质变化曲线及从相关性分析入手,结果表明洞庭湖水位变化与水质具有较好的相关性,三峡运行后洞庭湖总体水位呈下降趋势,水质指标 TN 和 COD_{Mn} 随水位下降而呈现升高的趋势。且三峡工程建设后,洞庭湖蓄水量会减少,水流速度减慢,湖泊换水周期就相应延长,致使洞庭湖水体交换能力与自净能力减弱,水环境质量下降,严重会出现富营养化,影响鱼类资源的生产;特别是非汛期对洞庭湖水体环境有较大影响,使洞庭湖提前退出汛期,由于目平湖和南洞庭湖湖底高程超 26 m,长江来水在枯水期将无法进入该湖区,水量的减少将对这一水域的污染形势变得更加严峻,水质也将呈恶化趋势^[28]。由于换水周期长,加上西洞庭湖、南洞庭湖水量减少,对局部水域,特别是西洞庭湖水域的污染形势将更加严峻,水质恶化的进程相对于整体水域将大大加快^[29]。但有些学者持有不同的看法,卢宏伟等^[30]运用模型对三峡工程运行前后洞庭湖的水环境容量进行预测表明,三峡运行对洞庭湖水环境容量产生了一定程度的影响,主要体现在对洞庭湖枯水期的 COD、TN、TP 环境容量均有一定程度的抬升,而丰水期的 COD、TN、TP 环境容量有小范围的下降。水环境容量在 11 月减少,12 月变化较小,而 1—5 月有所增加,综合来看,在全年的大部分月份中,三峡工程的运行在一定程度上提高了洞庭湖的水环境容量,对洞庭湖水体状况的改善起到了积极作用。总体来说,三口来水对于洞庭湖水质变化贡献率最高为 52.73%,湖体本身产生污染负荷的贡献率为 29.26%,四水贡献率为 18.01%^[31]。田泽斌^[32]通过与 1999—2002 年(三峡工程运行前)相比,2010 年洞庭湖三口来水量减少了约 1/3,经由三口输入的 COD_{Mn} 、 NH_4^+ 、TP 入湖通量分别减少了 53.19%、49.27%、52.63%,但认为该变化特征仍需进一步论证。陈绍金^[33]则从利弊两个方面分析了三峡蓄水对洞庭湖水环境的影响,认为当三峡水库增泄流量时,对洞庭湖的水质改善整体是有利的,可以稀释湖水的污染浓度,但是对农田的排渍、土壤潜育化及湖区动植物的生存有一定的不利影响。

3 三峡工程对洞庭湖湿地的影响

洞庭湖具有独特的地理环境,每年洪水季节大量泥沙入湖淤积,形成了我国以敞水带、季节性淹水带、滞水低地为主的最大湖泊湿地景观,共有面积约 85.78 万 hm^2 ^[34-35]。洞庭湖主要植被类型包括水生植被、草甸、沼泽植被和常绿阔叶林植被,面积较大的湿生群落类型有藨草(*Phalaris arundinacea*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、辣蓼(*Polygonum hydropiper*)、萎蒿(*Artemisia selengensis*)、苔草(*Carex* sp.)、荻(*Miscanthus sacchariflorus*)、芦苇(*Phragmites australis*)、旱柳(*Salix matsudana*)、美洲黑杨(*Populus deltoides*)等,其分布规律为由岸边向湖心逐渐倾斜,植物随湖水深度形成不同的植物群落。植被从空间格局上呈现明显的带状分布特点,由水及陆的总趋势为:沉水植物群落—藨草群落—苔草群落—辣蓼群落+萎蒿+苔草群落—芦苇群落—美洲黑杨或旱柳群落^[36]。

三峡工程运行后对洞庭湖区湿地生态的影响有两种情况,一种是由于年内水库下泄量变化导致洞庭湖水位和地下水位变化对湿地生态系统的影响;另一种情况是洞庭湖泥沙变化引起湿地生态系统的演替^[37]。

3.1 水位波动对湿地的影响

水位是湖泊储水量变化的量度,是控制湖泊生态环境系统的重要因素^[38],水位改变将影响湿地植被覆盖

度和物种组成,最终产生群落演替^[39]。长期的高水位和低水位以及非周期性的水位季节变动会破坏水生植被长期以来对水位周期性变化所产生的适应性,从而影响植被的正常生长、繁衍和演替^[40]。影响机理主要表现为两方面:(1)直接影响,表现在对水生生物生长及对种群间竞争关系的影响;(2)间接影响,由于水位变化导致了水体中的理化条件,如透明度、浊度、盐度、pH、悬浮与沉降以及溶解氧(DO)等发生变化。Keddy 等^[41]提出了物种分布的离心组织模型,认为当植物种对于水位的选择趋势一致时,最具竞争力的物种处于最佳水位范围,其他物种按照竞争力大小,以此水位为中心呈梯度分布。对那些以水生植被为食的生物产生了影响,进而间接地减小或增大了水生植被啃食的压力,改变了水生植被的时空分布^[42]。

三峡工程的调蓄作用使洞庭湖年内水位波动幅度减小,主要有利于较低高程的芦苇生长,生物量增大,而在较高高程的芦苇由于得不到充足的水分,生物量相对减少,逐渐被防护林代替。2011 年 5 月湖泊水面积不足同期的 45%,东洞庭湖超过 1000 hm²的湿地全部干旱^[43]。三峡工程的运行不同程度上降低了洞庭湖的水力梯度,尤其是 4—5 月对分布于东洞庭湖的苔草草甸和西洞庭湖的芦苇产生了不利影响^[4]。从长远来看,三峡工程的运行改变了原来自然状态下的水沙条件,使对坝下游河床的冲刷加重,降低了下游河道的水位,洞庭湖的面积、水量及平均水深都相应地发生了改变,再加上不同高层区植物群落对水位变化的敏感程度不同,将使优势品种——芦苇和湖草群落生物量不断增加,抢占沉水植物的生存空间,有利于杨树等高程区耐水能力较差植物生长繁殖,入侵新生境,打破原有植物群落演替模式,从而打破现有植被格局发生正向演替^[44]。由于河道沉积物降低,持续的河道侵蚀和三峡流量的调节,反过来降低长江的水位,进一步影响周围岸边带环境和生态系统的完整性^[45]。湿地生态系统的稳定性很大程度上取决于其水源的稳定性。静水湿地或连续深水湿地的生产力很低,流动条件可以提高湿地初级生产力,很大程度影响着养分循环和养分的有效性^[46]。洞庭湖为吞吐型湖泊,湖面存在较大的坡降^[47]。周期性水位波动以高水位和低水位的反复交替出现为特征对整个湿地的植被组成及分布有决定性作用,高水位的淹没使湿地原有优势物种大量死亡,当水位消退后,多种物种得到了萌发、生长的空间,对于木本植物而言,因为其生命周期较长,在短暂的退水期间不易重新建群,容易为短生命史的草本植物取代,所以水位的周期波动形成了大面积的草本湿地群落,维持了湿地丰富的物种多样性^[48]。

3.2 泥沙淤积对湿地生态演化的影响

所谓湿地演替是指同一地段上一种湿地类型被另一种不同湿地类型替换的过程^[49]。泥沙淤积是导致植被演替的重要原因之一^[50],泥沙淤积常造成土壤容重、含水量和金属元素含量的增加,而使有机质、通气性及温度降低等^[51],深刻影响湿地植物生存的土壤环境而影响植物的萌发、出生和生长,并最终影响植被更替。同时,泥沙淤积的速度和方式决定了通江湖泊湿地演替的趋势和方向。当洞庭湖泥沙淤积慢时,模式是水生植物—苔草—芦苇—木本植物;淤积较快的模式为水生植物—藦草—芦苇—木本植物;淤积快的模式为水生植物—鸡婆柳—芦苇—木本植物。谢永宏等^[36]研究表明,洞庭湖在今后相当长的一段时间里,尽管入湖泥沙量在减少,但输出的泥沙仍将小于入湖来沙,全湖仍处于淤积状态,但速度趋缓。来红州等^[52]研究发现洞庭湖盆地自身的构造沉降在一定程度抵消了湖盆的泥沙淤积,但仍小于淤积速率。三峡工程建设后,淤积速度减缓,洞庭湖湿地植物群落将主要以慢速方式演替,即群落演替的主要模式为:水生植物—藦草或苔草—芦苇—木本植物。

4 结论与展望

目前国内外关于三峡工程对洞庭湖影响的研究很多,取得了一定的成果。主要集中在三峡工程对洞庭湖水文、水质、泥沙淤积以及生态环境影响等方面。但是由于三峡工程运行时间短、研究方法还不够成熟等,不同学者得出了不同的结论,甚至相反的结论。因此,随着三峡水库的持续运行,对下游河湖交互作用的研究需要进一步深入下去。展望未来,三峡工程运行与洞庭湖的关系研究主要应集中在以下几个方面:

表 1 三峡工程对洞庭湖水文、水质及湿地植被的时间段影响

Table 1 Temporal effects of the Three Gorges Dam project on the hydrology, water quality, and wetland vegetation of Dongting Lake

时间段 Time period	对水文影响 Impact on hydrology	对水质影响 Impact on water quality	有利影响的植物 Plants subjected to beneficial effects	不利影响的植物 Plants subjected to adverse effects	参考文献 References
12 月至翌年 3 月 December to March of next year	三峡水库增加下泄 流量,提前淹没已干 涸的滩地,水位适当 提高	总体水环境容量增 加,污染物浓度降 低,但对局部地区污 染加重	苔草草甸;地势较高 植被群落	水生和沼生植物	[30,33,36]
4 月 April	三峡减泄流量,水位 降低	污染物浓度升高	苔草的生长和生物 量积累生命史较短 的植物,群落的生物 多样性提高	沉水植物群落	[36]
5 月 May	三峡水库增大下泄 流量,洞庭湖水位变 化幅度增大	污染物浓度降低	沉水植物,地势较高 区域芦苇快速生长 而增加生物量累积	地势较低区域的湿 地植物(如苔草)和 一年生植物	[4,36]
6 月至 9 月 June to September	洞庭湖的水位随三 峡工程减泄流量引 起的水位波动减小, 水量基本不变	水质变化不明显	绝大部分湿地植物 均处于完全淹水状 态,水位波动对群落 产生明显影响较小	[1]	
10 月至 11 月 October to November	三峡水库蓄水,减少 下泄流量,洞庭湖水 位降低,洲滩提前露 出水面	污染物浓度升高	有利低位洲滩的杂 草和苔草植物群落 向湖心侵移	部分沉水植物死亡	[33,53]

(1)受三峡工程截留泥沙的影响,流入洞庭湖的泥沙比建坝之前大大减少。但三峡水库的运行并不是长江下游泥沙减少的唯一原因,其他因素还包括其它水库的修建、上游水土保持工程等。由于长江流域面积巨大、流域地貌过程复杂,以及对洞庭湖与长江水沙交互关系上认识还不够成熟,泥沙淤积机理等研究理论还未形成科学理论。因此,长江-洞庭湖泥沙交互关系还需进一步深入研究。

(2)三峡工程的建设大大地改变了长江与洞庭湖的江湖关系,使洞庭湖的水位变化趋势更加复杂,但还有其他因素也会对洞庭湖水位造成影响,如湘、资、沅、澧四水入湖量,全球与区域气候变化等。因此,如何耦合河流水沙变化、气候变化和其他人类活动驱动因素等对江湖关系的影响是今后研究的一个重点与难点。

(3)三峡工程运行后,洞庭湖湿地的土壤、水文、动植物等生态过程发生了改变,但由于洞庭湖空间尺度的巨大,目前仍处于本底不清、过程不明。而且湿地演变是一个相对缓慢的过程,对外界条件变化的响应也有一个长期的过程,虽然三峡工程蓄水运行后洞庭湖湿地演化进程改变明显,但影响湿地演变因素复杂,譬如湿地围垦、荆江裁弯等,某些结论与影响还存在不少争议,确定其影响还需要开展更长时期的观测与更为系统的研究。

(4)考虑到关于三峡工程对洞庭湖影响的理论与实际情况存在较大误差以及世界河流筑坝的经验,加强三峡工程运用后对下游河流、湖泊的及时监测和研究非常必要,这样方能尽可能为决策提供理论支撑,加强改进措施,减少三峡工程对洞庭湖及其它下游湖泊带来的不利影响。

参考文献 (References):

[1] 曾光明, 赖旭, 梁婕, 黄璐, 李晓东, 龙勇, 武海鹏, 袁玉洁. 2001—2010 年东洞庭湖湿地 NDVI 指数的水位响应. 湖南大学学报: 自然科学版, 2014, 41(1): 45-52.

[2] 孟熊, 廖小红, 黎昔春. 洞庭湖水位变化特性及影响研究. 人民长江, 2014, 45(13): 17-21.

[3] 徐治国, 何岩, 闫百兴, 任慧敏. 营养物及水位变化对湿地植物的影响. 生态学杂志, 2006, 25(1): 87-92.

[4] 李倩, 曾光明, 黄国和, 张硕辅, 焦胜, 曾涛, 王玲玲, 熊樱, 何静. 三峡工程对洞庭湖水力梯度及其湿地植物生长的影响. 安全与环境学报, 2005, 5(1): 12-15.

- [5] 陈桂亚. 三峡水库运行调度技术研究与实践[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- [6] 洪林, 董磊华, 李文哲. 三峡工程建库后对洞庭湖水位、泥沙和水质的影响分析. 中国水利, 2007, (6): 13-14.
- [7] Yang S L, Zhao Q Y, Belkin I M. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze River and the influences of human activities. *Journal of Hydrology*, 2002, 263(1/4): 56-71.
- [8] Xu K H, Milliman J D. Seasonal variations of sediment discharge from the Yangtze River before and after impoundment of the Three Gorges Dam. *Geomorphology*, 2009, 104(3/4): 276-283.
- [9] Yang S L, Zhang J, Xu X J. Influence of the Three Gorges Dam on downstream delivery of sediment and its environmental implications, Yangtze River. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(10): L10401.
- [10] 张细兵, 卢金友, 王敏, 黄悦, 许全喜. 三峡工程运用后洞庭湖水沙情势变化及其影响初步分析. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 640-643.
- [11] 秦文凯, 府仁寿, 王崇浩, 韩其为. 三峡建坝前后洞庭湖的淤积. 清华大学学报: 自然科学版, 1998, 38(1): 84-87.
- [12] 郭小虎, 李义天, 刘亚. 近期荆江三口分流分沙比变化特性分析. 泥沙研究, 2014, (1): 53-60.
- [13] 李景保, 常疆, 吕殿青, 朱翔, 卢承志, 周跃云, 邓楚雄. 三峡水库调度运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应. 地理学报, 2009, 64(11): 1342-1352.
- [14] Guo H, Hu Q, Zhang Q, Feng S. Effects of the Three Gorges Dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China; 2003-2008. *Journal of Hydrology*, 2012, 416-417: 19-27.
- [15] 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.
- [16] 黄群, 孙占东, 姜加虎. 三峡水库运行对洞庭湖水位影响分析. 湖泊科学, 2011, 23(3): 424-428.
- [17] 史璇, 肖伟华, 王勇, 王旭. 近 50 年洞庭湖水位总体变化特征及成因分析. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 18-22.
- [18] 李景保, 周永强, 欧朝敏, 程伟艳, 杨燕, 赵中花. 洞庭湖与长江水体交换能力演变及对三峡水库运行的响应. 地理学报, 2013, 68(1): 108-117.
- [19] Zhang Q, Li L, Wang Y G, Werner A D, Xin P, Jiang T, Barry D A. Has the Three-Gorges Dam made the Poyang Lake wetlands wetter and drier?. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(20): L20402.
- [20] Hu Q, Feng S, Guo H, Chen G Y, Jiang T. Interactions of the Yangtze river flow and hydrologic processes of the Poyang Lake, China. *Journal of Hydrology*, 2007, 347(1/2): 90-100.
- [21] 周慧, 毛德华, 刘培亮. 三峡运行对东洞庭湖水位影响分析. 海洋湖沼通报, 2014, (4): 180-186.
- [22] Dai Z J, Du J Z, Li J F, Li W H, Chen J Y. Runoff characteristics of the Changjiang River during 2006: Effect of extreme drought and the impounding of the Three Gorges Dam. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(7): L07406.
- [23] 郭小虎, 姚仕明, 晏黎明. 荆江三口分流分沙及洞庭湖出口水沙输移的变化规律. 长江科学院院报, 2011, 28(8): 80-86.
- [24] 申锐莉, 鲍征宇, 周旻, 乔胜英, 谢淑云. 洞庭湖湖区水质时空演化(1983-2004 年). 湖泊科学, 2007, 19(6): 677-682.
- [25] 钟振宇, 陈灿. 洞庭湖水质及富营养状态评价. 环境科学与管理, 2011, 36(7): 169-173.
- [26] 李忠武, 赵新娜, 谢更新, 袁敏, 姜燕松. 三峡工程蓄水对洞庭湖水环境质量特征的影响. 地理研究, 2013, 32(11): 2021-2030.
- [27] 王旭, 肖伟华, 朱维耀, 史璇. 洞庭湖水位变化对水质影响分析. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 59-62.
- [28] 邝凡荣. 浅析长江三峡工程对洞庭湖区生态环境的影响. 湖南农业科学, 2001, (1): 11-12.
- [29] 申锐莉, 张建新, 鲍征宇, 周旻, 乔胜英, 谢淑云. 洞庭湖水质评价(2002-2004 年). 湖泊科学, 2006, 18(3): 243-249.
- [30] 卢宏伟, 曾光明, 张硕辅. 三峡工程的运行对洞庭湖水环境容量的影响. 环境工程, 2004, 22(1): 61-63.
- [31] 王旭, 孙长虹, 杨龙, 王永刚, 张楠, 肖伟华. 江湖关系演变对洞庭湖水质变化影响研究. 环境保护科学, 2014, 40(6): 7-13.
- [32] 田泽斌, 王丽婧, 李小宝, 郑丙辉, 李利强, 金菊香. 洞庭湖出入湖污染物通量特征. 环境科学研究, 2014, 27(9): 1008-1015.
- [33] 陈绍金. 浅析三峡工程建成后对洞庭湖水环境的影响. 水资源保护, 2004, (5): 33-37.
- [34] 彭佩钦. 洞庭湖湿地形成演替与湿地生态研究建议. 科学新闻, 2007, (17): 7-8.
- [35] 庄大昌. 洞庭湖区湿地生物资源特征及生态系统评价. 热带地理, 2000, 20(4): 261-264.
- [36] 谢永宏, 陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 684-687.
- [37] 童潜明. 洞庭湖近现代的演化与湿地生态系统演替. 国土资源导刊, 2004, (1): 38-44.
- [38] Poff N L, Allan J D, Bain M B, Karr J R, Prestegard K L, Richter B D, Sparks R E, Stromberg J C. The natural flow regime. *BioScience*, 1997, 47(11): 769-784.
- [39] 姚鑫, 杨桂山, 万荣荣, 王晓龙. 水位变化对河流、湖泊湿地植被的影响. 湖泊科学, 2014, 26(6): 813-821.
- [40] 刘永, 郭怀成, 周丰, 王真, 黄凯. 湖泊水位变动对水生植被的影响机理及其调控方法. 生态学报, 2006, 26(9): 3117-3126.
- [41] Keddy P, Fraser L H. Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: The role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organization. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 2000, 5(3): 177-185.

- [42] García de Emiliani M O. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river-floodplain lake system (Paraná River, Argentina). *Hydrobiologia*, 1997, 357(1/3): 1-15.
- [43] Sun Z D, Huang Q, Opp C, Hennig T, Marold U. Impacts and implications of major changes caused by the Three Gorges Dam in the middle reaches of the Yangtze River, China. *Water Resource Management*, 2012, 26(12): 3367-3378.
- [44] 龙勇. 东洞庭湖湿地植被及其生物量研究与三峡工程影响分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [45] Wang J D, Sheng Y W, Gleason C J, Wada Y. Downstream Yangtze River levels impacted by Three Gorges Dam. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(4): 044012.
- [46] 赵建刚, 杨琼, 陈章和, 黄正光. 几种湿地植物根系生物量研究. *中国环境科学*, 2003, 23(3): 290-294.
- [47] 窦鸿身, 姜加虎. 洞庭湖. 合肥: 中国科技大学出版社, 2000: 102-103.
- [48] Keddy P A, Reznicek A A. Great lakes vegetation dynamics: The role of fluctuating water levels and buried seeds. *Journal of Great Lakes Research*, 1986, 12(1): 25-36.
- [49] 黄进良. 洞庭湖湿地的面积变化与演替. *地理研究*, 1999, 18(3): 297-304.
- [50] Maun M A, Perumal J. Zonation of vegetation on lacustrine coastal dunes: Effects of burial by sand. *Ecology Letters*, 1999, 2(1): 14-18.
- [51] 潘瑛, 谢永宏, 陈心胜, 李峰. 湿地植物对泥沙淤积的适应. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 155-161.
- [52] 来红州, 莫多闻. 构造沉降和泥沙淤积对洞庭湖区防洪的影响. *地理学报*, 2004, 59(4): 574-580.
- [53] 梁婕, 蔡青, 郭生练, 谢更新, 李晓东, 黄璐, 曾光明, 龙勇, 武海鹏. 基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应. *生态学报*, 2012, 32(21): 6628-6635.