

# 鄱阳湖主湖区与碟形湖水位变化及其对水质的影响<sup>\*1</sup>

李海辉

(江西省鄱阳湖水利枢纽建设办公室, 江西 南昌 330009)

**【摘要】**:水位作为鄱阳湖重要的水文因子,对鄱阳湖水动力过程和水质变化具有重要影响。根据2014~2015年鄱阳湖主湖区和碟形湖水位、水质监测数据,分析了主湖区和碟形湖水位及主要水质指标的年内变化特征,阐述了主湖区和碟形湖水质对水位的响应特征。结果表明:(1)丰水期碟形湖与主湖区联通,碟形湖水位与主湖区水位呈直线型相关,枯水期碟形湖水位高于主湖区,主湖区年内月平均水位变异系数为0.13,而碟形湖年内月平均水位变异系数为0.08;(2)丰水期,主湖区和碟形湖的氮磷比分别为19.29和46.27,枯水期主湖区和碟形湖水体的氮磷比分别为17.88和40.39;(3)鄱阳湖主湖区水质主要指标与水位的相关性显著强于碟形湖,主湖区总氮、氨氮、总磷和溶解氧均与水位呈负相关性,而碟形湖中只有pH与水位有相关性;(4)枯水季节,碟形湖水体具有较高的总氮,而鄱阳湖主湖区则具有较高的总磷和氨氮。总之,枯水期进行合理的水位调控能够有效降低富营养化风险。

**【关键词】**:水位;水质;碟形湖;鄱阳湖

**【中图分类号】**:X524 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2018)06-1298-09

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201806013

水位的变化一方面会改变湖泊的蓄水量和热容量,另一方面还会通过影响湖泊水动力过程进一步改变湖泊的水化学和水环境容量。水位作为重要的湖泊水文因子,从诸多方面调控着湖泊的生态过程。鄱阳湖是长江流域最大的通江湖泊,在洪水调蓄、水质净化和生物多样性维持等方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。作为典型的季节性湖泊,鄱阳湖具有“洪水一片,枯水一线”、“高水湖相,低水河相”的自然地理特征<sup>[2]</sup>。长期以来鄱阳湖水位和水质的变化一直是多方关注的热点问题<sup>[3~6]</sup>。鄱阳湖“一湖清水”面临区域社会经济发展等人为干扰和全球气候变化等自然因素带来的调整。鄱阳湖生态经济区建设的深入推进和鄱阳湖水利枢纽建设工程的论证,需要密切关注鄱阳湖水质变化及其与水位管理模式之间的关系。水位的波动是湖泊生态系统结构和功能的重要控制因素<sup>[7]</sup>,不仅会影响湖泊湿地生物的生长、分布<sup>[8]</sup>,还会改变湖泊水化学过程,对水体环境产生诸多方面的影响。研究表明,水体中悬浮物、溶解氧、高锰酸钾指数、氯化物和磷化物等浓度与湖口水位呈负相关性,星子水位每上升1m,鄱阳湖全湖I~III类水比例提高6.2%<sup>[9,10]</sup>。

碟形湖是鄱阳湖枯水期显露于洲滩之中的季节性湖泊,被称为“湖中之湖”。由于碟形湖在鄱阳湖湿地中植被生物量最大,物种多样性丰富,同时又是越冬候鸟优越的栖息地,一直因为其不可替代的生态价值受到普遍关注<sup>[11,12]</sup>。碟形湖的地形特征决定了其与鄱阳湖通江水体有着不一样的水位变化特征,而不同水文连通状态下,子湖与大湖水位-水质的响应关系是否一致,有待进一步探讨,本研究假设鄱阳湖碟形湖区与主湖区有着不同的水位-水质响应关系,为此,根据2014~2015年鄱阳湖3个典型监测站和2个典型碟形湖的水位水质实测数据,分析了鄱阳湖主湖区和碟形湖水位变化差异性特征及其与全氮、全磷、氨氮、高锰酸钾指数等主要水质参数的关系,探讨不同水文连通性下水位变化对水体环境因子的影响,以期对鄱阳湖水位的科学

<sup>1</sup> 收稿日期:2017-07-17; 修回日期:2017-11-13

基金项目:地方委托项目鄱阳湖水生态综合模型研究及开发(PJB201701)

作者简介:李海辉(1966~),高级工程师,主要从事水文与水资源管理方面研究. E-mail:hhli@jxsl.gov.cn

管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

鄱阳湖地处江西北部，长江中下游，地理坐标为东经  $115^{\circ} 49' \sim 116^{\circ} 46'$ ，北纬  $28^{\circ} 24' \sim 29^{\circ} 46'$ ，南北相隔 170km，东西最大跨度 70km。鄱阳湖属东亚季风区，为典型亚热带季风气候，夏季炎热多雨，冬季低温少雨，年平均降水量为 1387~1795mm，年内、年际变化较大。年降水量最大 2452.8mm(1954 年)，最小 1082.6mm(1978 年)，最大 6 个月降水量(3~8 月)占全年降水量的 74.4%。年平均蒸发量 800~1200mm，约有一半集中在温度最高的 7~9 月。多年平均气温  $17.6^{\circ}\text{C}$ ，最冷月(1 月)平均气温  $5.1^{\circ}\text{C}$ ，最热月(7 月)平均气温  $29.5^{\circ}\text{C}$ 。受鄱阳湖水文节律季节性变化的影响，鄱阳湖湿地表现出典型的水陆相交错变化，在鄱阳湖丰水期，水位高，湿地处于湖相淹水状态，随着水位降低，处在不同高程的洲滩湿地相继出露，湿地植被开始发育，呈现出河、湖、滩交错的湿地景观格局。

### 1.2 样品采集及处理

选取鄱阳湖南部湖区典型监测站点(康山站、棠荫站、鄱阳站)为主湖区年内水质变化采样点，选取典型碟形湖沙湖和大湖池为碟形湖年内水质变化采样点(图 1)。水质采样时间为 2014 年 3 月~2015 年 11 月逐月采样，取样时间间隔为 2 个月(3 月 15 日、5 月 15 日、7 月 15 日、9 月 15 日、11 月 15 日)。水质采样方法:用 2L 有机玻璃采水器采取 0~0.5m 深水样，每个样地水平设立 3 个重复采样点，即湖中央一个点，从中央向两侧延伸 200~500m 各一个采样点。水样采集后分装在 500ml 的聚乙烯瓶中，运回实验室于  $4^{\circ}\text{C}$  保存，于 72h 内完成样品分析测定。监测指标主要有水体总氮(TN)、总磷(TP)、溶解氧(DO)、高锰酸钾指数( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )、氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )和 pH。采样方法按照《湖泊调查技术规程》<sup>[13]</sup>进行。各类水质因子分析方法均参见《水和废水监测分析方法》<sup>[14]</sup>。水位数据由江西省鄱阳湖水文局提供。

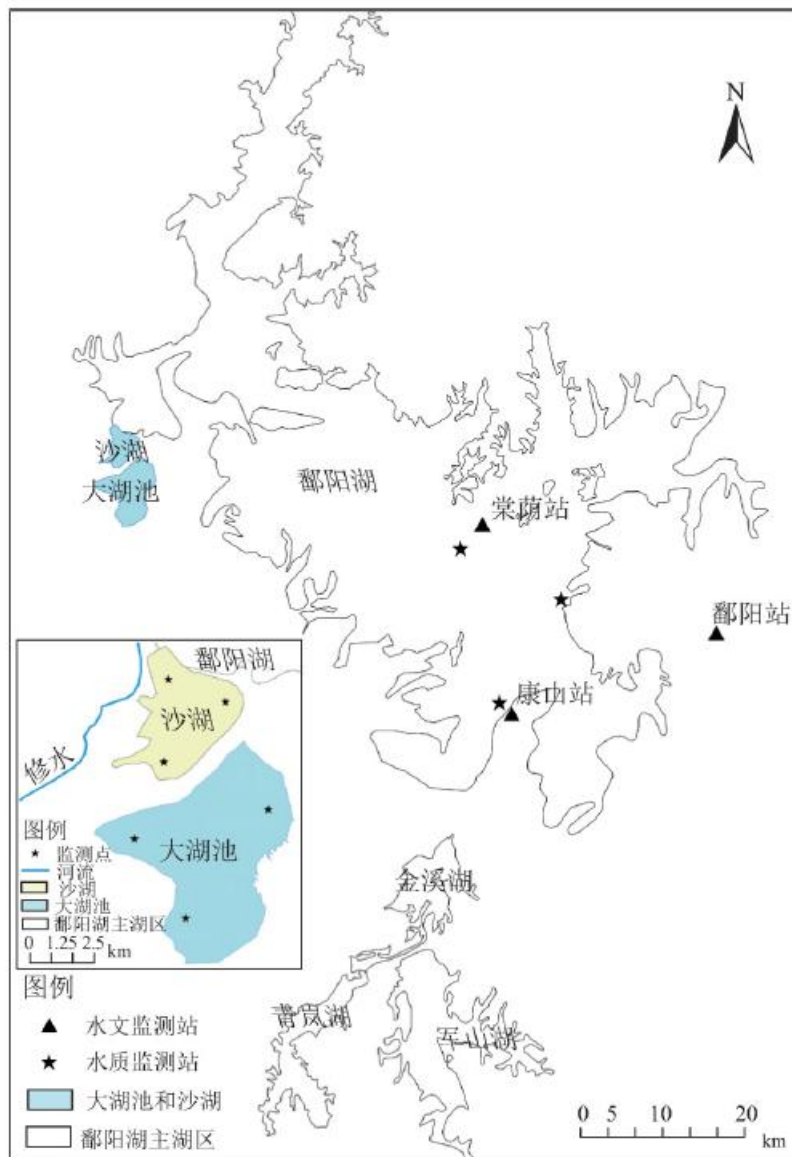


图 1 研究区布局

Fig. 1 Location of sampling sites

### 1.3 统计与分析

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理, 采用 Origin lab 8.0 进行作图, 采用 R studio 3.4 进行水位和水质参数的单因素方差分析、回归分析、皮尔逊相关分析和主成分分析 (PCA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 鄱阳湖主湖区与碟形湖水位变化特征

对 2014~2015 年鄱阳、柴湖和康山 3 个水文监测站点的水位数据进行统计分析 (图 2), 可知 3 个站点的水位年内变化趋势

一致，季节变化明显，总体呈年内先升高后降低的趋势。年内最低水位出现在1月份前后，最高水位出现在7月份左右。2014年月平均水位在16m(吴淞高程，下同)以上的月份有6、7、8、9月，而2015年仅有6月和7月的平均水位在16m以上。2014年月平均水位在14m以下的月份有1、2、11、12月，而2015年仅有1月和2月。主湖区水位年内变化波动显著，3个水文监测站2014年月平均水位变异系数分别为0.1、0.16和0.12，2015年变异系数分别为0.11、0.15和0.12。大湖池和沙湖2个碟形湖的水位变化(图2)显示，水位年内变化规律总体上呈现先升高后降低的季节性变化，但是全年平均水位基本维持在14m以上，年内月平均水位的变率较小，2014年大湖池和沙湖的月平均水位变异系数分别为0.08和0.07，2015年变异系数分别为0.07和0.08。

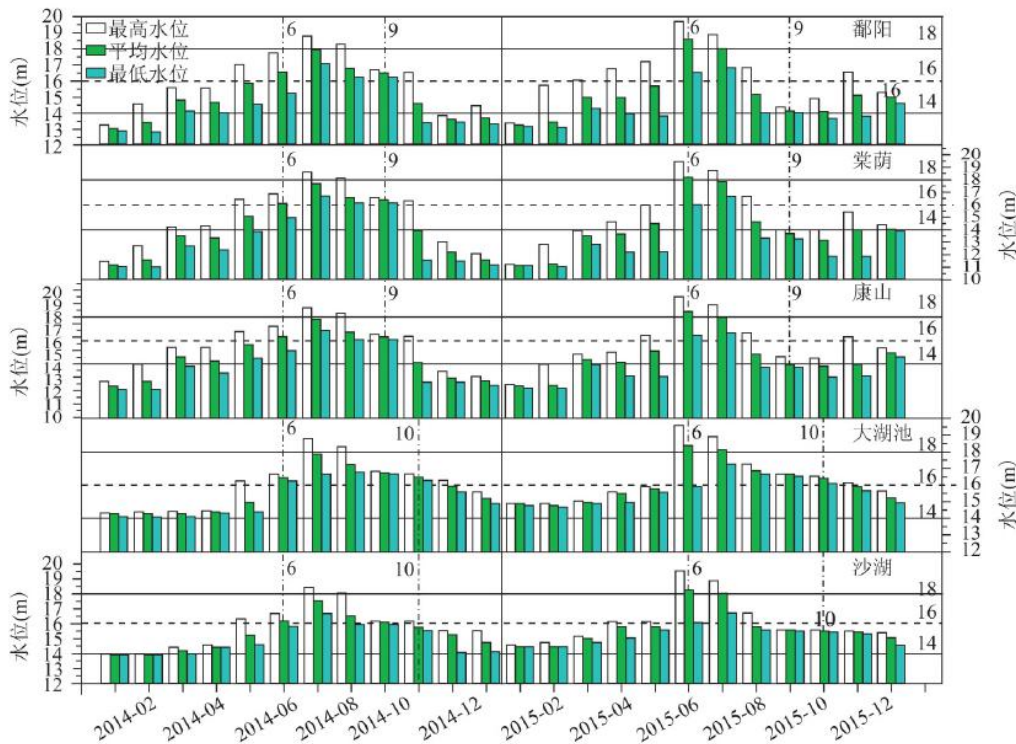


图2 鄱阳湖主湖区(鄱阳、棠荫、康山)和碟形湖(大湖池、沙湖)2014年、2015年水位变化

Fig. 2 Monthly variation of water level for main lake area and dish-shaped sub-lake of Poyang Lake in 2014 and 2015

图3和图4可知，1~6月份鄱阳湖主湖区和碟形湖的月平均水位均随着降雨量的增多而逐渐升高，6~7月份降雨量下降而水位仍然保持升高态势，原因主要是由于长江水的倒灌现象。比较不同时间段主湖区水位和碟形湖水位的差异，5月份之前和7月份以后碟形湖水位均高于主湖区，而5~7月碟形湖与主湖区连通，水位保持一致。

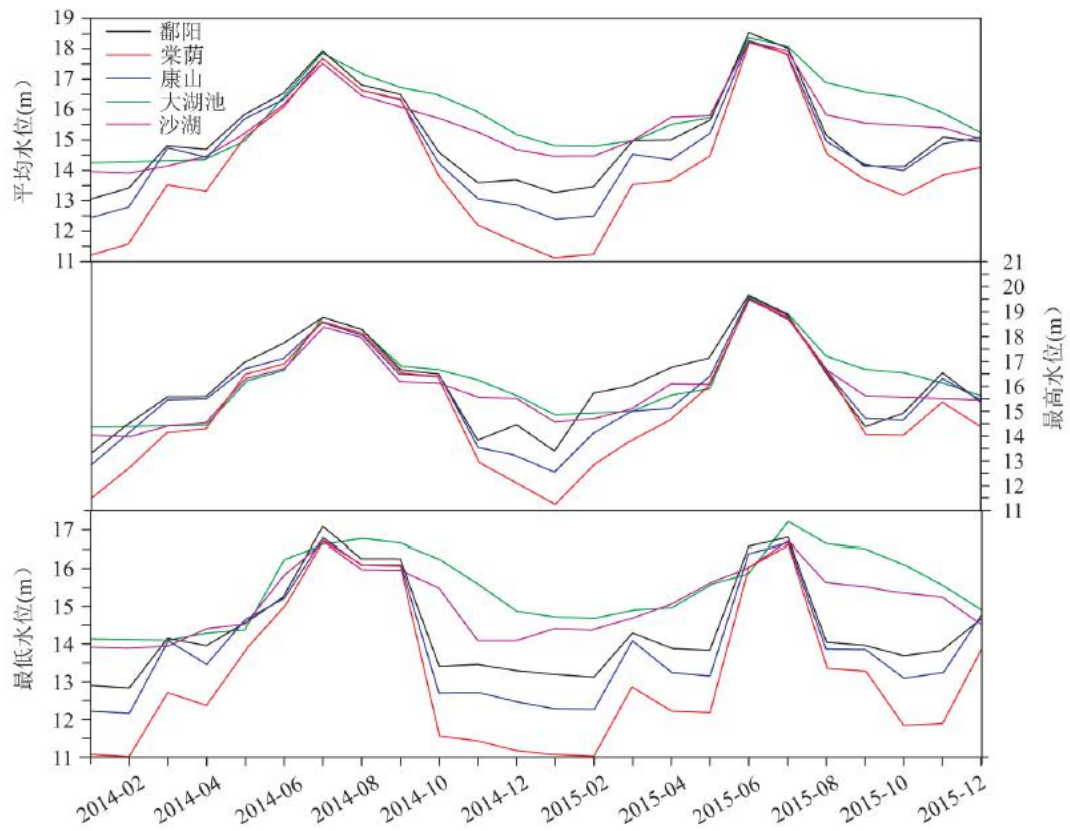


图3 鄱阳湖主湖区(鄱阳、棠荫、康山)和碟形湖(大湖池、沙湖)2014年、2015年水位折线图

Fig. 3 Line graph of water level for main lake area and dish-shaped Sub-lake of Poyang Lake in 2014 and 2015

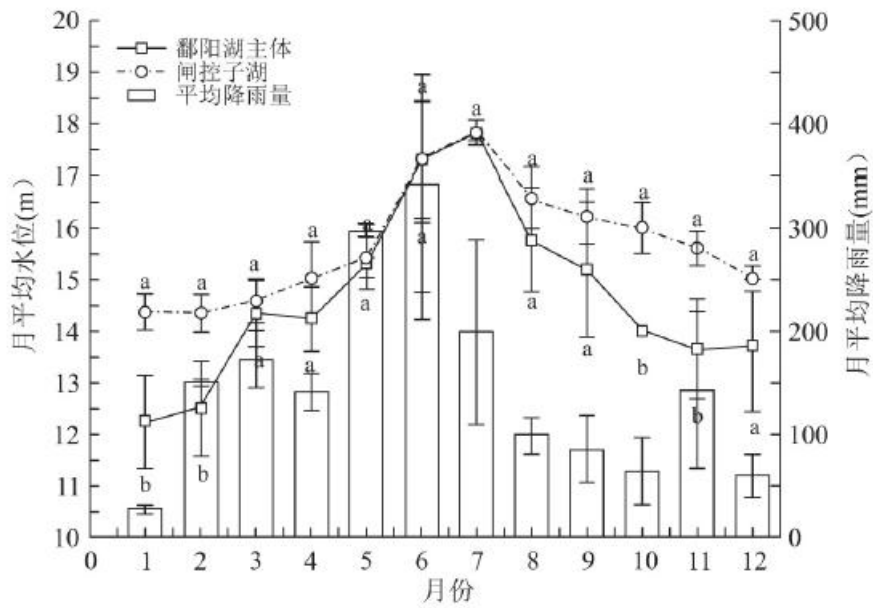


图4 鄱阳湖月平均降雨量与月平均水位逐月变化

Fig. 4 Monthly average precipitation and water level in Poyang Lake

## 2.2 鄱阳湖主湖区与碟形湖水位的关系

对鄱阳湖主湖区月平均水位与碟形湖月平均水位进行回归分析(图5),可见当水位上升至16m以后,碟形湖水位与主湖区水位呈直线型正相关,相关系数为1( $R^2=0.99$ ,  $p<0.001$ ),此时碟形湖与大湖连通,碟形湖水位与主湖区水位保持同步变化。水位降至16m以下后,碟形湖与主湖区脱离,碟形湖水位与主湖区水位相关性明显减弱,相关系数变为0.51( $R^2=0.21$ ,  $p=0.03$ )。16m为判断碟形湖和主湖区是否连通的临界水位。

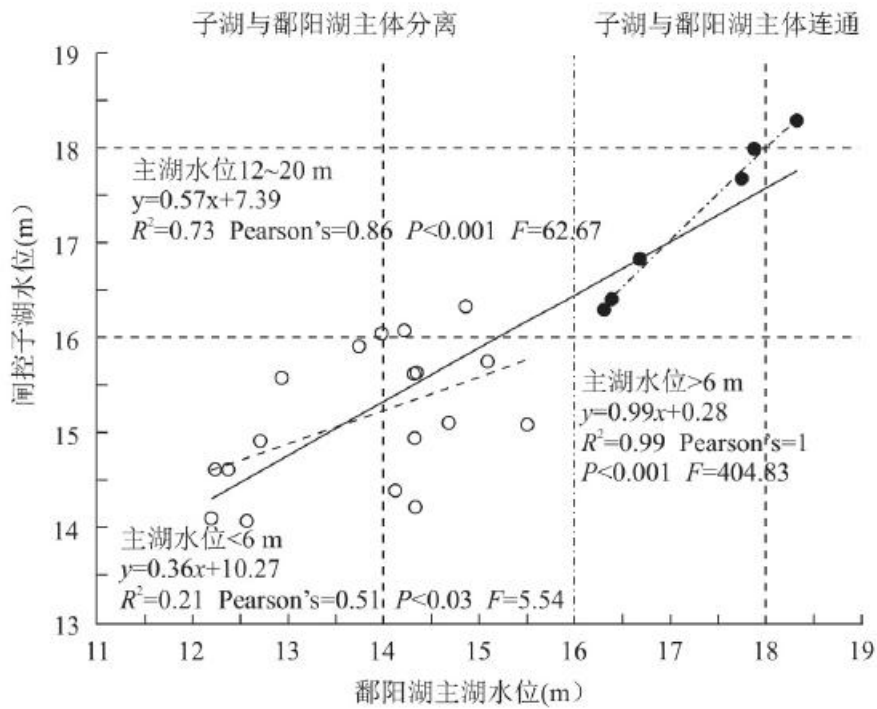


图 5 鄱阳湖主湖水位与碟形湖水位的关系

Fig. 5 Regression of water level between main lake area and dish-shaped sub-lake of Poyang Lake

### 2.3 鄱阳湖主湖区与碟形湖水质—水位关联性特征

比较不同时段主湖区和碟形湖营养盐浓度(图 6)可知,总体上主湖区和碟形湖营养盐浓度枯水期差异显著,丰水期基本一致。TN、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 具体表现为 11 月份和 3 月份浓度主湖区高于碟形湖,而高锰酸钾指数则表现为 9 月和 11 月碟形湖高于主湖区。主湖区 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 和高锰酸钾的年内变异系数分别为 0.43、0.76、0.35 和 0.22;碟形湖 N、NH<sub>3</sub>-N、TP 和高锰酸钾的年内变异系数分别为 0.46、0.38、0.68、0.15。图 6 中可以看出无论是鄱阳湖主湖区还是碟形湖,水体中具有较大的氮负荷,丰水季节主湖区和碟形湖的氮磷比分别为 19.29 和 46.27,枯水季节主湖区和碟形湖水体的氮磷比分别为 17.88 和 40.39。

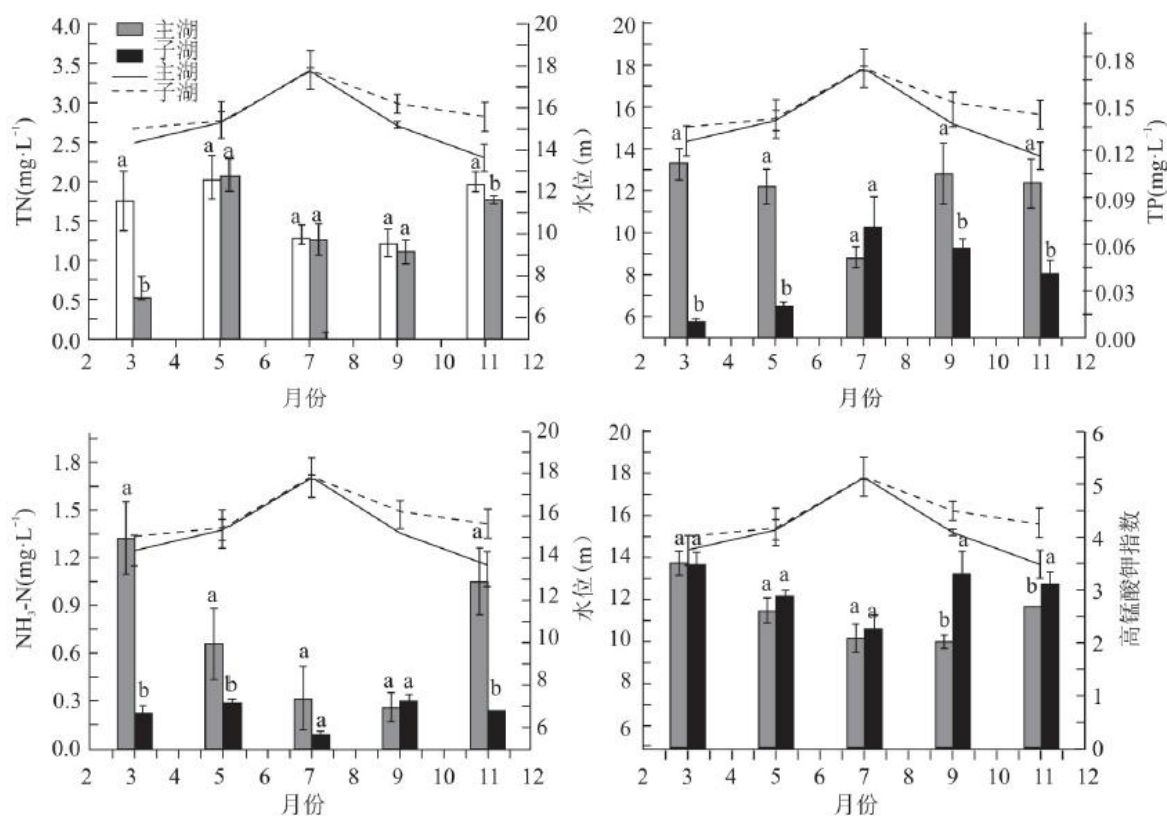
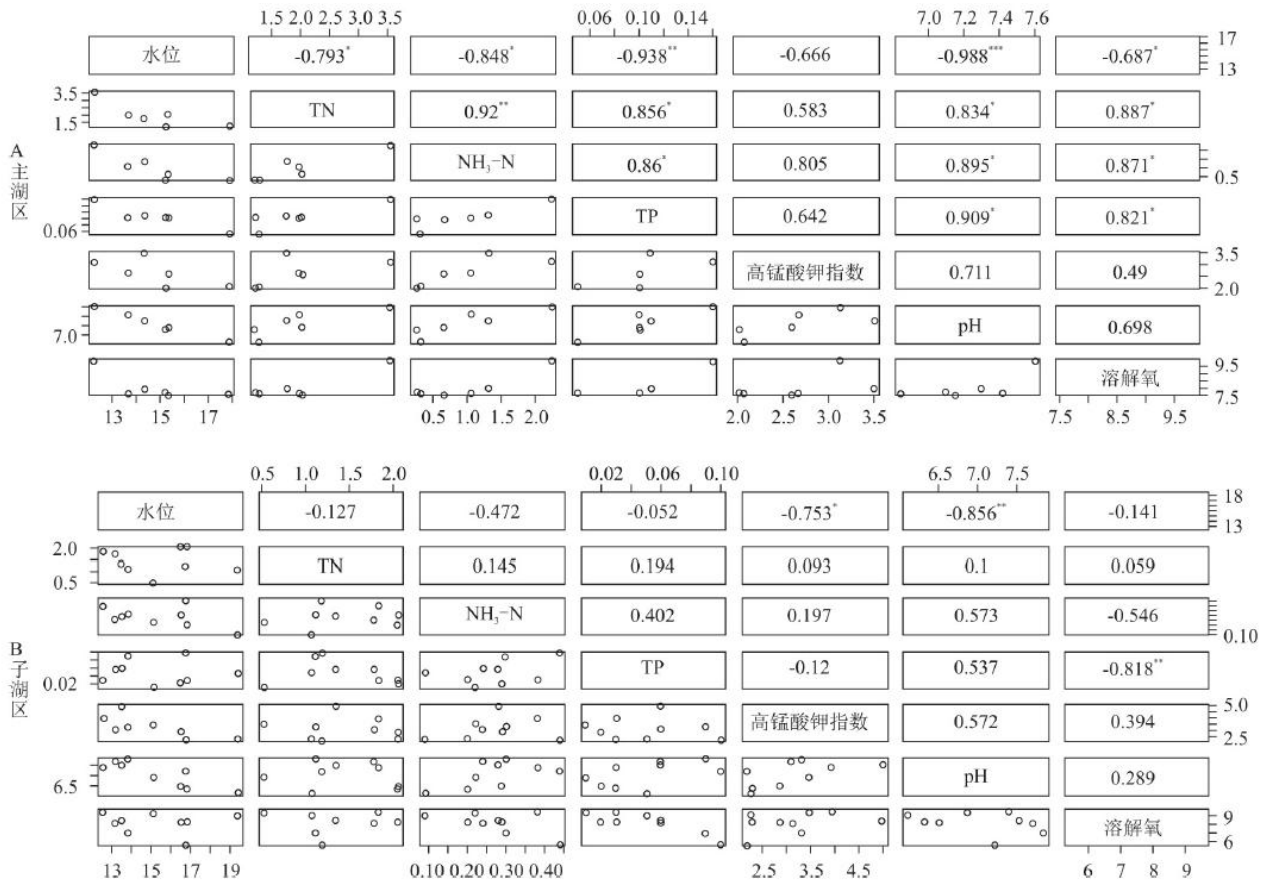


图6 鄱阳湖主湖区与碟形湖水水质变化

Fig. 6 Variation of water quality for both main lake area and dish-shaped sub-lake of Poyang Lake

Pearson 相关分析表明(图 7)总体上鄱阳湖主湖区水质参数与水位以及水质参数之间的关联性显著高于碟形湖。具体表现为,对主湖区而言,水体 pH 与水位具有极显著负相关性( $p=0.0002$ ), TP 含量与水位具有显著负相关性( $p=0.006$ ), 而 TN、NH<sub>3</sub>-N 和溶解氧与水位具有负相关性( $p<0.05$ )。水质参数之间溶解氧和 pH 均与 TN、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 具有正相关性( $p<0.05$ )。但是对于碟形湖,只有水体的 pH 与水位表现出显著相关性( $p=0.003$ ), 其它水质参数与水位的关联性均不显著( $p>0.05$ )。水质参数之间只有 TP 和溶解氧表现出显著负相关性( $p=0.007$ )。



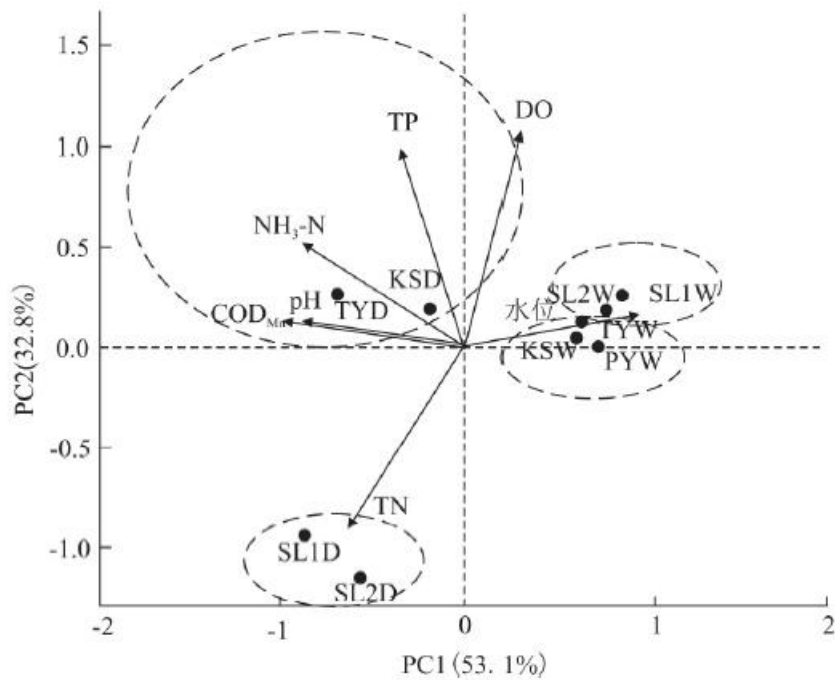


注：\*\*\* 表示在 0.001 水平上极显著相关，\*\* 表示在 0.01 水平上显著相关，\* 表示在 0.05 水平上相关。

图 7 鄱阳湖主湖区与碟形湖水位-水质相关分析

Fig. 7 Relationship between water level and water quality for both main lake area and dish-shaped Sub-lake of Poyang Lake

对丰水期(7月)和枯水期(3月)鄱阳湖各监测点的水位、水质参数进行PCA分析(图8)表明,第一排序轴(PC1)解释了监测点分异的53.1%,第二排序轴(PC2)解释了监测点分异的32.8%,前2个轴累积贡献率为85.9%。沿PC1,主成分得分最高的为水位和高锰酸钾指数,沿PC2,得分最高的是溶解氧、TP和TN。PCA排序图中,枯水期和丰水期各监测点主要沿PC1分成2部分,即水位是主导因子,丰水季节主湖区监测点和碟形湖监测点分布集中,差异不明显,表明碟形湖与大湖连通阶段,主湖区与碟形湖水质参数变化相同。而枯水期碟形湖与主湖区沿PC2分异明显,碟形湖TN含量高,而主湖区则具有较高的TP和NH<sub>3</sub>-N。



注：丰水期（7月）主湖区监测点：KSW、TYW、PYW；丰水期碟形湖监测点：SL1W、SL2W；枯水期（3月）主湖区监测点：KSD、TYD、PYD；丰水期碟形湖监测点：SL1D、SL2D；溶解氧：DO；高锰酸钾指数： $COD_{Mn}$ 。

图8 鄱阳湖水文监测点 PCA 排序图

Fig. 8 PCA scatter plots of sampling sites for both main lake area and dish-shaped Sub-lake of Poyang Lake

### 3 讨论

#### 3.1 鄱阳湖主湖区和碟形湖的水位变化特征

鄱阳湖水位变化受五河来水和长江倒灌的双重影响。每年4~6月份进入汛期，水位开始逐渐上涨，7月份以后，由于长江涨水的倒灌顶托效应，水位维持较高水平，鄱阳湖的丰水期一般为6~9月<sup>[13]</sup>。10月份开始水位下降，12月~翌年3月为枯水期，水位一般在14.00m以下。枯水期碟形子湖泊水位比较稳定，处于14.00~15.00m之间，平均水位14.59m，无频繁的水位变化或频繁的水位升降。而相对于碟形子湖，鄱阳湖主湖区水位变化比较大，最低水位可降至11.50m左右，平均枯水期水位13.27m。枯水期主湖区水位变化幅度在整个水位过程来看最小，这一阶段碟形子湖泊与主湖区水位没有明显的水位关联性。3月底至4月初鄱阳湖开始涨水，4月碟形子湖泊平均水位升至15.02m，并保持总体水位升高的趋势，在涨水过程中，鄱阳湖主湖区和碟形湖泊的水位差逐渐缩小，直到4月底，主湖区和碟形湖水位趋于一致达15m左右。在涨水期，主湖区和碟形湖泊水位变化范围均逐渐增大，主湖区的水位变动比碟形湖更剧烈。在丰水期（5月~8月），鄱阳湖主湖区与碟形湖水位以相同的速率涨落，这一时期主湖区和碟形湖水位均达到水文过程的最大值，且最高水位基本一致，主湖区最高水位为17.80m，碟形湖最高水位为17.84m。8月份之后进入退水期，在退水初始阶段（8~9月），主湖区和碟形湖几乎保持相同的退水速率，当水位退至16.00m后，主湖区和碟形湖不再以相同的速率退水，主湖区退水速率大于碟形湖。本研究主湖区和碟形湖之间的水位变化过程与冯文娟等<sup>[15]</sup>（2015）

的研究结果一致。

碟形湖泊的形成主要是由于在河口三角洲的形成过程中, 进入主湖区的河流流速降低, 泥沙在水动力作用下产生不均匀沉积, 远离湖区主流的水域封闭成浅碟形的洼地<sup>[11]</sup>。而当地居民为了渔业捕捞, 进一步在洼地周边建立堤坝一边拦蓄捕鱼, 并在湖内开挖水渠增设闸口, 用来排水抓鱼<sup>[14]</sup>。在周围土埂堤坝的拦挡作用下, 鄱阳湖碟形湖与主湖区表现出“低水位分离”(水位低于 14m), “中水位相关”(水位在 14~16m 之间)和高水位联通(水位高于 16m)的特点。碟形子湖涨水前期和退水后期, 当鄱阳湖水位低于 16m 时, 碟形湖泊是相对封闭的洼地, 与主湖彻底脱离变成不受主湖区控制的独立水域, 不与鄱阳湖直接发生地表水量的交换, 此时碟形湖的水位变化主要受到水面蒸发、土壤渗透和降水的影响, 变化缓慢<sup>[11]</sup>。碟形子湖与鄱阳湖水体只有通过地下水位运动来发生联系<sup>[15]</sup>, 涨水时, 碟形子湖水位高于鄱阳湖水位, 碟形子湖补给鄱阳湖, 地下水的水量交换由碟形子湖流向鄱阳湖, 退水时, 两者水体完全隔离后, 碟形湖泊由于相对封闭, 其水位下降速度小于鄱阳湖主湖水位下降的速度, 地下水水量仍由碟形子湖向主湖流动。但是由于碟形子湖一般面积较小, 枯水期洲滩面积较大, 地下水补给速度缓慢, 所以碟形子湖对主湖的地下水补给量非常小, 对两者水位的关系影响微弱。枯水期, 碟形子湖与主湖没有地表水交换, 且地下水位交换不明显, 所以水位变化主要受降雨影响, 碟形湖泊水位高于主湖, 但两者的涨落趋势一致。退水后主湖区水位由于继续受到通江水体的影响, 水位降幅高于碟形湖, 所以碟形湖与主湖区的水位落差越来越大, 且主湖水位的年内变异系数高于碟形湖。

### 3.2 鄱阳湖主湖区和碟形湖水质变化及其与水位的关联性

鄱阳湖主湖区 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 和溶解氧均与水位呈负相关, 与前人研究结果一致<sup>[16, 17]</sup>。湖泊的水质变化除了与入湖污染物有关, 而且还受水位影响很大。随着水位升高, 湖泊流速减缓, 悬浮物沉降, 湖泊水质变清, 湖泊的水环境容纳量增大<sup>[18]</sup>。五河来水和长江倒灌的过程中, 外源物质输入到鄱阳湖中, 溶解氧消耗增大, 进而使溶解氧与 TN 和 TP 含量表现出正相关性<sup>[19]</sup>, 主湖区中溶解氧对 NH<sub>3</sub>-N 的正向影响主要是由于溶解氧越高, 越有利于有机物矿化<sup>[20]</sup>。与主湖区不同, 碟形湖水体对水位变化的响应并不明显, 主要是因为对于碟形湖枯水期水位变化缓慢, 由于枯水期与主湖区脱离, 影响水体营养盐浓度的主要为内源释放, 研究表明, 厌氧条件有利于内源磷的释放<sup>[21]</sup>, 所以在碟形湖溶解氧和 TP 表现出显著的负相关性。由于内源磷释放对于湖泊水体磷含量的影响显著低于外源磷输入带来的影响, 所以碟形湖全磷含量在枯水季节低于丰水季节, 表现出与主湖区相反的变化趋势。研究表明, 当外源磷对浮游生物供给不足时, 沉积物磷可通过沉积物-水界面释放到上覆水, 被微生物和浮游植物直接或间接吸收利用, 促进浮游植物生长繁殖, 从而加速湖泊水质恶化, 随着水位降低, 沉积物出露时间延长, 溶解性总磷更容易通过沉积物-水界面释放到上覆水体中, 因此枯水期主湖区水体 TP 显著高于碟形子湖<sup>[22]</sup>不同季节碟形湖的 NH<sub>3</sub>-N 浓度变化较主湖区变化不明显, 季节差异不显著, 而主湖区 NH<sub>3</sub>-N 浓度表现出枯水季节高于丰水季节, 这可能是由于枯水期, 主湖区水位偏低, 使得湖泊底泥上涌, 释放营养盐进入水体, 导致 NH<sub>3</sub>-N 浓度变大、水质变差<sup>[23]</sup>。本研究发现鄱阳湖主湖区和碟形湖氮磷比均表现为丰水期大于枯水期, 且碟形湖大于主湖, 主湖区氮磷比年平均值为 18.59, 碟形湖氮磷比年平均值为 43.33, 均远高于浮游植物最适宜生长的氮磷比 7:1, 说明磷是鄱阳湖富营养化的限制因子<sup>[24]</sup>。主成分分析(PCA)直观的展示了枯水季节和丰水季节鄱阳湖主湖区和碟形湖的水文分异特征, 具体表现为丰水季节, 碟形湖与主湖区连通, 水位和水质变化趋于一致; 枯水季节, 碟形湖与主湖区脱离, 碟形湖水体表现出与主湖区不同的水质特征, TP、TN 及高锰酸钾指数含量是造成主湖区和碟形湖分异的最关键因子。枯水期各监测站点均位于指示 TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 及高锰酸钾指数含量箭头的正方向, 说明枯水期蓄水减少, 湖泊水位降低, 稀释降解污染物能力减弱, 由于鄱阳湖主湖水位相对碟形子湖更低, 所以其具有更高的 TP、NH<sub>3</sub>-N 及高锰酸钾指数负荷, 富营养化风险更高。因此在枯水期进行合理的水位调控, 增加鄱阳湖水体的环境容量和自净能力, 能够有效降低富营养化风险, 维持鄱阳湖的“一湖清水”。

## 4 结论

鄱阳湖主湖区枯水期最低水位可降至 14m 以下, 年内月平均水位变异系数为 0.13; 碟形湖枯水期最低水位维持在 14m 左右, 年内月平均水位变异系数为 0.08。丰水季节 5~7 月碟形湖与主湖区联通水位一致, 而其余时间, 碟形湖水位均高于主湖区。碟

形湖与主湖区联通的临界水位为 16m 左右。鄱阳湖主湖区和碟形湖水体中均具有较大的氮负荷，丰水期，主湖区和碟形湖的氮磷比分别为 19.29 和 46.27，枯水期主湖区和碟形湖水体的氮磷比分别为 17.88 和 40.39。鄱阳湖主湖区水质参数与水位的相关性显著强于碟形湖。主湖区水体全磷(TP)、全氮(TN、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、溶解氧和 pH 均与水位表现出不同程度的相关性，而碟形湖中只有 pH 与水位有相关性。枯水期主湖区和碟形湖水体均具有较高的 TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 含量及高锰酸钾指数，且水位相对较低的主湖区 TP 和 NH<sub>3</sub>-N 负荷更高丰水期水位联通，碟形湖与主湖区水质变化趋于一致。研究表明，枯水期进行合理的水位调控能够增加鄱阳湖水体的环境容量，有效降低富营养化风险。

#### 参考文献:

[1] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展 [J]. 土壤学报, 2007, 44(2) : 318—326.

ZHAO Q G, HUANG G Q, QIAN H Y. Ecological environment and sustainable development of poyang lake [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(2) : 318—326.

[2] 《鄱阳湖研究》编委会. 鄱阳湖研究 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.

[3] 李冰, 杨桂山, 万荣荣, 等. 鄱阳湖出流水质 2004 ~ 2014 年变化及其对水位变化的响应: 对水质监测频率的启示 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(2) : 289—296.

LI B, YANG G S, WAN R R, et al. Temporal variability of water quality in poyang lake outlet and the associated water level fluctuations: a water quality sampling revelation [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(2) : 289 —296.

[4] 杜彦良, 周怀东, 彭文启, 等. 近 10 年流域江湖关系变化作用下鄱阳湖水动力及水质特征模拟 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(5) : 1274—1284.

DU Y L, ZHOU H D, PENG W Q, et al. Modeling the impacts of the impacts of the change of river-lake relationship on the hydrodynamic and water quality revolution in Poyang Lake [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(5) : 1274—1284.

[5] 张范平, 方少文, 周祖昊, 等. 鄱阳湖水位多时间尺度动态变化特性分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1) : 126—133.

ZHANG F P, FANG S W, ZHOU Z H, et al. Research on multi-time-scale dynamic characteristics of water-level fluctuation of the poyang lake in China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(1) : 126—133.

[6] 刘霞, 刘宝贵, 陈宇炜, 等. 鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应 [J]. 环境科学, 2016, 37(6) : 2141—2148.

LIU X, LIU B G, CHEN Y W, et al. Responses of nutrients and chlorophyll a to water level fluctuations in Poyang Lake [J]. Environmental Science, 2016, 37(6) : 2141—2148.

- 
- [7] LEIRA M, CANTONATI M. Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography [J]. *Hydrobiologia*, 2008, 613: 171–184.
- [8] WANTZEN K M, ROTHHAUPT K O, MRTL M, et al. Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue [J]. *Hydrobiologia*, 2008, 613: 1–4.
- [9] 胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水位特性及其对水环境的影响 [J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(1) : 1–6.
- HU M L, WU Z Q, LIU Y L. Characteristic of water level and its effects on water environmental factors in Hukou Area of Poyang Lake [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(1) : 1–6.
- [10] 丁庆章, 刘学勤, 张晓可. 水位波动对长江中下游湖泊湖滨带底质环境的影响 [J]. *湖泊科学*, 2014, 26(3) : 340–348.
- DING Q Z, LIU X Q, ZHANG X K. Impacts of water level fluctuations on substrate environments of lakeshore zone of the lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2014, 26(3) : 340–348.
- [11] 胡振鹏, 张祖芳, 刘以珍, 等. 碟形湖在鄱阳湖湿地生态系统的作用和意义 [J]. *江西水利科技*, 2015, 41(5) : 317–323.
- HU Z P, ZHANG Z F, LIU Y Z, et al. The function and significance of the shallow-lakes in the Poyang Lake Wetland Ecosystem [J]. *Jiangxi Hydraulic Science and Technology*, 2015, 41(5) : 317–323.
- [12] 雷学明, 段洪浪, 刘文飞, 等. 鄱阳湖湿地碟形湖泊沿高程梯度土壤养分及化学计量研究 [J]. *土壤*, 2017, 49(1) : 40–48.
- LEI X M, DUAN H L, LIU W F, et al. Soil nutrients and stoichiometry along elevation gradients in Shallow-Lakes of Poyang Lake Wetland [J]. *Soils*, 2017, 49(1) : 40–48.
- [13] 史常乐, 唐立模, 肖洋. 鄱阳湖都昌水位站 50 年水位特征变化分析 [J]. *水资源与水工程学报*, 2016, 27(2) : 45–50.
- SHI C L, TANG L M, XIAO Y. Analysis of character variation of water level at duchang station of poyang lake for 50 years [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2016, 27(2) : 45–50.
- [14] 曾泽国, 张笑辰, 刘观华, 等. 鄱阳湖子湖“玺秋湖”渔业资源结构特征分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(6) : 1021–1029.
- ZENG Z G, ZHANG X C, LIU G H, et al. Structure and features of fishery resources of sub-lakes in Poyang Lake, Jiangxi, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(6) : 1024–1029.
- [15] 冯文娟, 徐力刚, 范宏翔, 等. 梅西湖与鄱阳湖水位变化关系及其水量交换过程分析 [J]. *陕西师范大学学报(自*

---

然科学版) , 2015, 43(4) : 83—88.

FENG W J, XU L G, FAN H X, et al. Analysis on relationship of water level and water exchange between meixi lake and poyang lake [J]. Journal of Shaanxi Normal University( Natural Science Edition) , 2015, 43(4) : 83—88.

[16] 黄维, 王为东. 三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36(20) : 6345—6352.

HUANG W, WANG W D. Effects of three gorges dam project on dongting lake wetlands [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36( 20) : 6345—6352.

[17] 金国花, 谢冬明, 邓红兵, 等. 鄱阳湖水文特征及湖泊纳污能力季节性变化分析 [J]. 江西农业大学学报, 2011, 33( 2) : 388—393.

JIN G H, XIE D M, DENG H B, et al. On Seasonal hydrographic variety and environmental capacity of poyang lake [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (Natural Sciences Edition) , 2011, 33(2) : 388—393.

[18] 刘倩纯, 余潮, 张杰, 等. 鄱阳湖水体水质变化特征分析 [J]. 农业环境科学学报, 2013(6) : 1232—1237.

LIU Q C, YU C, ZHANG J, et al. Water quality variations in Poyang Lake [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2013(6) : 1232—1237.

[19] 陈永灿, 付健, 刘昭伟, 等. 三峡大坝下游溶解氧变化特性及影响因素分析 [J]. 水科学进展, 2009, 20(4) : 526—530.

CHEN Y C, FU J, LIU Z W, et al. Analysis of the variety and impact factors of dissolved oxygen downstream of three gorges dam after the impoundment [J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4) : 526—530.

[20] 李艳红, 成静清, 夏丽丽, 等. 鄱阳湖区水体溶解氧现状及环境影响因素分析[J]. 中国农村水利水电, 2013(10) : 122—125.

LI Y H, CHENG J Q, XIA L L, et al. An analysis of dissolved oxygen in Water and Influencing Factors of Poyang Lake [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013(10) : 122—125.

[21] 钱宝, 刘凌, 潘畅. 湖泊水体溶解氧水平对内源磷释放的影响 [J]. 人民长江, 2015(5) : 93—96.

QIAN B, LIU L, PAN C. Influence of dissolved oxygen levels in Lakes on Endogenous Phosphorus Rrelease [J]. Yangtze River, 2015(5) : 93—96.

[22] 王悦敏, 倪兆奎, 冯明雷. 等. 鄱阳湖枯水期沉积物磷释放特征及对水位变化响应 [J]. 环境科学学报, 2017, 37(10) : 3804—3812.

WANG Y M, NI Z K, FENG M L, et al. , Characteristics of phosphorus release in sediment and its response to the

---

change of water level in poyang lake in Dry Season [J] Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(10) : 3804—3812.

[23] 莫浩明, 方少文, 宋月君, 等. 鄱阳湖湖区三站点水质评价及其变化特征研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(4) : 91—94.

MO H M, FANG S W, SONG Y J, et al. Water quality assessment and its changing characteristics research for the three stations in Poyang Lake [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2012, 23(4) : 91—94.

[24] 刘倩纯, 胡维, 葛刚, 等. 鄱阳湖枯水期水体营养浓度及重金属含量分布研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(10) : 1230—1235.

LIU Q C, HU W, GE G, et al. Contents of nutrients and heavy metals in the Poyang Lake During Dry Season [J]. Resources and Environment in the Yangtza Basin, 2012, 21(10) : 1230—1235.