

## 1950s 以来洪湖主要优势沉水植物群落变化\*

宋辛辛<sup>1,2</sup>, 蔡晓斌<sup>1</sup>, 王 智<sup>1</sup>, 厉恩华<sup>1\*\*</sup>, 王学雷<sup>1</sup>

(1: 中国科学院测量与地球物理研究所, 环境与灾害监测评估湖北省重点实验室, 武汉 430077)

(2: 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 通过野外调查并结合历史数据对洪湖沉水植被进行长时间序列变化研究, 构建自 1950s 以来洪湖主要优势沉水植物群落穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)和轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)的群落分布图并计算其面积。结果表明: 穗状狐尾藻群落面积从 1950s 占全湖的 6% 增加至 1990s 的 65%, 而后急剧下降至 2010 年的 2%, 然后又恢复至 2014 年的 15%; 微齿眼子菜群落面积从 1950s 的 10% 增至 1990s 的 65%, 然后下降至 2014 年的 38%; 金鱼藻群落面积从 1980s 的 6% 增至 1990s 的 39%, 2010 年以后则稳定在 25%; 轮叶黑藻群落面积 1950s 占全湖的 32%, 随后急剧下降至 1980s 的 6%, 2000 年以后逐步增加, 至 2014 年为 15%。1950s—1990s, 穗状狐尾藻、微齿眼子菜和金鱼藻群落分布范围从周边向湖心扩展, 而轮叶黑藻群落从湖中心消失; 2000 年以后洪湖沉水植物群落分布破碎化明显。分析认为, 1950s—1990s 的围垦和水文过程变化, 1990s—2005 年的围网养殖、水生植物过度利用以及由此导致的水质恶化等, 以及 2006 年至今开展的拆围和生态修复是导致这些变化的主要因素。建议取缔围网, 控制入湖水质, 提高水体透明度, 促进水生植被恢复, 但同时增加水位变幅, 促进植物资源合理利用, 避免沼泽化重演。

**关键词:** 洪湖; 沉水植物; 穗状狐尾藻; 微齿眼子菜; 金鱼藻; 轮叶黑藻

## Community change of dominant submerged macrophyte in Lake Honghu since 1950s

SONG Xinxin<sup>1,2</sup>, CAI Xiaobin<sup>1</sup>, WANG Zhi<sup>1</sup>, LI Enhua<sup>1\*\*</sup> & WANG Xuele<sup>1</sup>

(1: Key Laboratory for Environment and Disaster Monitoring and Evaluation of Hubei Province, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, P.R.China)

(2: University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R.China)

**Abstract:** Through field surveys and historical data, the distribution and coverage of the four dominant submerged macrophytes communities (*Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton maackianus*, *Ceratophyllum demersum* and *Hydrilla verticillata*) since the 1950s were studied in the Lake Honghu, China. The results showed that: the area of *M. spicatum* community increased from 6% of the whole lake area in 1950s to 65% in 1990s, with a sharp decline to 2% in 2010, and then returned to 15% in 2014. The area of *P. maackianus* community increased from 10% in 1950s to 65% in 1990s and then dropped to 38% in 2014. The area of *C. demersum* community increased from 6% in 1980s to 39% in 1990s, and then stabilized at 25% in 2010 and 2014. While the area of *H. verticillata* community had a sharp decline from 32% in 1950s to 6% in 1980s, and then gradually increased to 15% in 2014. From 1950s to 1990s, the distribution areas of *M. spicatum*, *P. maackianus* and *C. demersum* communities extended from the shallow water areas to the central areas of the lake, while *H. verticillata* community disappeared from the center of the lake. After 2000, the community distribution showed a character of fragmentation. We believed that the reclamation and hydrological process changes from 1950s to 1990s, the water quality deterioration which resulted from enclosure culture and excessive use of aquatic plants from 1990s to 2005, and the enclosure culture demolition and ecological restoration since 2006 were the main factors which led to these dominant submerged macrophyte communities changes. In order to protect the lake, it was suggested that the managers should ban the enclosure culture, control the quality of lake inflow and increase the transparency of the water body to restore aquatic vegetation. Meanwhile, increase in water level amplitude and the rational use of plant resources has to be promoted in order to avoid lake swamp-

\* 国家自然科学基金项目(41371513)和中国科学院测量与地球物理研究所重要方向项目联合资助。2015-05-14 收稿; 2015-10-26 收修改稿。宋辛辛(1989~), 女, 硕士研究生; E-mail: sxxwhigg@163.com.

\*\* 通信作者; E-mail: lieh@whigg.ac.cn.

ping again.

**Keywords:** Lake Honghu; submerged macrophyte; *Myriophyllum spicatum*; *Potamogeton maackianus*; *Ceratophyllum demersum*; *Hydrilla verticillata*

水生植物作为水生生态系统的初级生产者<sup>[1]</sup>,不仅能为多种水生动物提供食物、栖息地与产卵场所,也拓宽了水生生态系统的空间生态位;同时,对改善水环境、维持生态系统正常功能具有不可替代的作用.然而,近一个世纪以来,许多浅水湖泊水生植物的分布和面积都发生巨大变化<sup>[2-9]</sup>,如老江河(长江故道牛轭湖)1991—1994年间苦草、黑藻、竹叶眼子菜和金鱼藻群落面积分别由12.88、12.00、11.00和9.75 km<sup>2</sup>缩小到10.50、10.00、10.50和9.00 km<sup>2</sup><sup>[5]</sup>,梁子湖1955—2001年45年间水生植被的覆盖率先上升至1990s初期的100%后下降到2001年的54.27%<sup>[9]</sup>.人类活动及其引起的水文过程和水质变化等被认为可能是导致这些变化的主要因素<sup>[2,10-12]</sup>.

1950s以来,长江中下游的许多浅水湖泊开始大规模的围湖垦殖,湖泊水域面积剧减.1950s—1989年,洞庭湖区水面面积由4350 km<sup>2</sup>缩减为1800 km<sup>2</sup>;鄱阳湖区水面面积由4221 km<sup>2</sup>缩减为3130 km<sup>2</sup>;江汉湖群面积由1989 km<sup>2</sup>缩减为236 km<sup>2</sup><sup>[13]</sup>.围垦和闸坝的建设改变了湖泊的水文过程,水深变浅.如1950s以后洪湖水位下降了3 m以上,沔阳湖的平均水深从1950s的2.03 m下降到1960s的1.43 m,1980s仅剩0.93 m<sup>[14]</sup>.水深是影响沉水植物分布的重要因素<sup>[15-20]</sup>,随着水深变浅,水体的透明度相对增加,促进水生植物的大量繁殖,使其分布范围和面积不断扩大,导致湖泊向沼泽化的方向发展<sup>[14]</sup>.

1990s以后,长江中下游地区湖泊开始大规模的围网养殖,水生植被的利用加强,导致许多湖泊的水体透明度降低(如斧头湖低至0.2 m),水下光线严重不足,其水生植被分布区严重缩小,覆盖率显著下降<sup>[21]</sup>.另外,随着经济社会的发展和人口增长,湖泊入湖水质变差,洞庭湖、鄱阳湖、巢湖、太湖等都由于入湖污水的排入造成不同程度的富营养化<sup>[22]</sup>.因此人类的直接利用和水体富营养化是近年来这些湖泊沉水植物分布面积变化的重要原因<sup>[23-25]</sup>,滇池的沉水植物覆盖度从1960年的88%下降到2010年的2%,物种的丰富度从1961年的17种减少到2010年的9种<sup>[24]</sup>;东湖水体透明度由1950s的2.37 m下降至1970s的0.78 m,植物种类减少,微齿眼子菜群落分布面积缩小甚至消失<sup>[12]</sup>.

洪湖作为长江中下游浅水湖泊变化的缩影,自1950s以来,由于水文、水环境变化以及人类干扰等原因,其群落分布范围和面积发生显著的变化,然而尚无对这种变化长时间序列的比较研究.本文在对近年来洪湖水生植被调查的基础上,结合历史文献数据<sup>[26-29]</sup>,分6个时间段(1950s、1980s、1990s、2000年、2010年和2014年)对洪湖主要优势沉水植物群落变化进行比较研究,探讨发生变化的原因,揭示其变化的趋势和规律,以为洪湖湿地保护和生态修复提供理论依据,也为长江中下游湖泊植被演变研究提供参考.

## 1 研究区概况

洪湖(29°38′~29°59′N,113°11′~113°28′E)系长江和汉水支流东荆河之间的大型浅水洼地壅塞湖,横跨洪湖、监利两个市县,湖面面积348.2 km<sup>2</sup>,是湖北省第一大湖<sup>[30]</sup>,2008年列入“国际重要湿地”,2014年晋升为国家级自然保护区;洪湖属北亚热带湿润季风气候,雨量充沛、温暖湿润、四季分明.常年年均气温16.6℃,年均降水量1321.3 mm,无霜期266.5 d<sup>[31]</sup>;洪湖兼具湿地生物栖息地以及供水、灌溉、养殖、航运和旅游等多种功能<sup>[32]</sup>.

洪湖原为通江浅水吞吐型湖泊,湖水随长江水位的消涨而起落,汛期江水倒灌、东荆河横流入湖;1955年修筑的洪湖隔堤,锁住了东荆河的洪水;1958年建成的新滩口大型节制闸,堵住长江洪水倒灌,从此江湖一体的格局不复存在.1975年洪湖北部的四湖总干渠、西部的螺山干渠的建成,辅以进出湖的福田寺闸、小港闸和洪湖围堤等的修建,这些水利工程隔断了洪湖与主要河流的自然联系,洪湖基本上变成了一个被人为控制的半封闭型的水体,虽然湖水也呈周期性涨落,但只有通过涵闸与四湖水系及长江相通<sup>[33]</sup>.

## 2 研究方法

### 2.1 沉水植物调查

根据从遥感影像上提取的洪湖边界,参考李伟等<sup>[30]</sup>采样点的选取,但对无法到达的采样点进行舍弃或

者就近调整,最终在洪湖水域选择 28 个采样点(图 1)。于 2010 和 2014 年的 4 月和 10 月进行沉水植物的调查。采样用 GPS 定位,采用多次随机重复小样方的取样方法,每个样点用 20 cm×20 cm 的铁夹在约 500 m<sup>2</sup> 的范围内随机采集沉水植物 10 次,将样方内的植物连根拔起,冲洗干净,除去枯死枝叶,按种分类,分别称其鲜重,10 次的均值作为该样点的数据<sup>[30,34]</sup>。

根据调查结果,统计计算植物的频度和生物量,据此确定其优势度<sup>[3,34]</sup>. 计算公式为:

$$\text{优势度} = (\text{相对频度} + \text{相对生物量}) / 2 \times 100\%$$

群落的命名采用优势种原则<sup>[6]</sup>,优势种依据优势度大小确定.根据该原则分别对2010和2014年的沉水植物进行群落划分.采样点位置和采样方法的选取及群落命名规则都尽量与历史文献中保持一致,以方便与历史数据进行对比分析.

## 2.2 沉水植被分布图的绘制

在 ArcGIS 软件中,根据泰森多边形的原理<sup>[35]</sup>,对洪湖 28 个采样点进行插值,生成呈斑块状分布的沉水植物分布泰森多边形图,对泰森多边形重新进行矢量化,并根据命名规则按群落类型对各面状图斑进行赋值,生成 2010 年和 2014 年的洪湖沉水植物分布图。

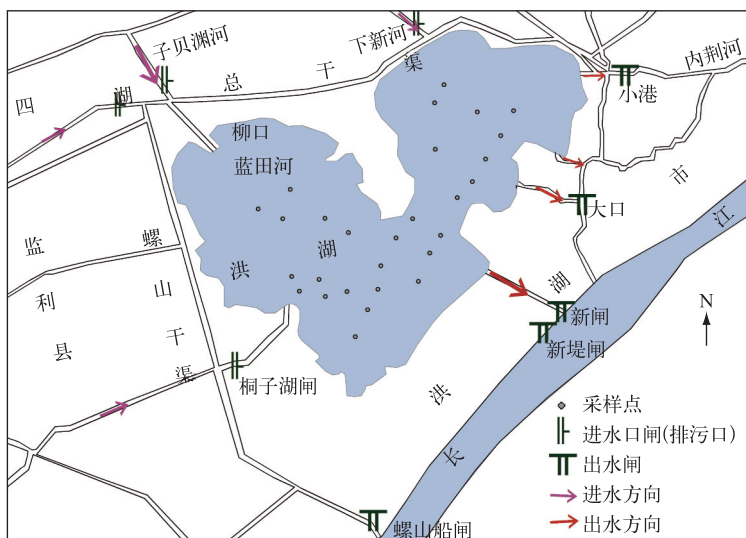


图 1 洪湖位置及采样点分布

Fig.1 The distribution of sampling sites and location of Lake Honghu

同时利用 ArcMap 软件分别对陈洪达 (1959—1960 年)<sup>[26]</sup>、李孝慈 (1981—1982 年)<sup>[27]</sup>、李伟 (1992—1993 年)<sup>[28]</sup> 及简永兴 (2000 年)<sup>[29]</sup> 绘制的洪湖水生植物分布图进行矢量化. 为了得到某种优势沉水植物群落在洪湖的分布和面积变化, 将该沉水植物作为优势种存在的所有群落范围合并视为其分布范围, 在矢量化后的洪湖水生植物分布图中对该优势种存在的所有图斑进行合并, 得到某沉水植物的优势群落分布图<sup>[29]</sup>. 结合 2010 和 2014 年的分布图, 得到自 1950s 以来洪湖优势沉水植物群落分布变化图, 计算 6 个时期各群落面积及占洪湖面积的百分比.

### 3 研究结果

### 3.1 穗状狐尾藻群落

穗状狐尾藻群落自 1950s—2014 年经历了一个由急剧上升转而急剧下降、而近年来又迅速恢复的过程(图 2)。1950s 穗状狐尾藻呈环带状分布于挺水植物菰和莲群落的内侧区域,面积约 41 km<sup>2</sup>,占洪湖面积的 6%。随后迅速向中心扩展,至 1990s 分布范围进一步扩大至几乎整个湖区,面积增加至 230 km<sup>2</sup>,达到 65%。1990s 之后穗状狐尾藻群落分布范围急剧萎缩,2000 年仅分布于洪湖东北一隅约 47 km<sup>2</sup>的范围内,2010 年

急剧下降至约 2%, 到 2014 年, 穗状狐尾藻群落分布于洪湖东北角和湖心附近, 面积为 48 km<sup>2</sup>, 占洪湖面积的 15%.

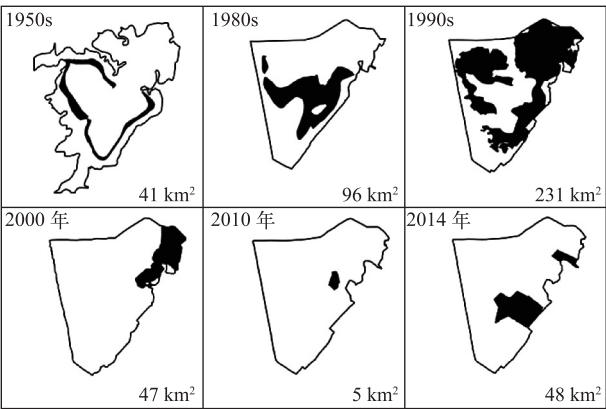


图 2 穗状狐尾藻群落 1950s—2014 年分布范围及面积变化

Fig.2 The distribution and area of *Myriophyllum spicatum* community from 1950s to 2014

3.2 微齿眼子菜群落

1950s—2014 年, 微齿眼子菜群落面积经历了一个从上升到下降的过程(图 3). 1950s 末, 微齿眼子菜群落面积约为 68 km<sup>2</sup>, 分布于洪湖西北部, 占洪湖面积的 10%. 到 1980s, 该群落占据了湖泊中心区域 195 km<sup>2</sup> 的范围, 1990s 几乎遍及全湖, 面积增加至 230 km<sup>2</sup>, 达到 65%. 2000 年, 微齿眼子菜群落在洪湖西部消失而集中分布于洪湖的南部、东北部及湖心区域, 面积与 1980s 相差不大. 在 2010 和 2014 年的调查中, 微齿眼子菜群落的分布区域破碎化, 湖区东部分布减少, 主要位于东北角和湖心区域, 面积缩小到 121 km<sup>2</sup>, 占洪湖面积的 38%.

3.3 金鱼藻群落

1950s 金鱼藻尚未成为洪湖的优势种, 1980s 以金鱼藻为优势的群落面积约为 24 km<sup>2</sup>, 仅为洪湖面积的 6%, 呈环带状分布于挺水植物莲和菰群落的内侧. 1990s 该群落面积急剧增加至 39%, 达到 138 km<sup>2</sup>, 包括分布于挺水植被与微齿眼子菜群落之间环带状分布的穗状狐尾藻+微齿眼子菜+金鱼藻群落和位于洪湖西北部、西南部及清水堡附近的金鱼藻+菹草+穗状狐尾藻群落. 2000 年金鱼藻的优势地位在洪湖消失, 2010 年以来其群落面积又急剧上升并基本稳定在 81 km<sup>2</sup>, 占洪湖面积的 25%, 呈破碎斑块状分布于洪湖西部、东部及东北部区域(图 4).

3.4 轮叶黑藻群落

1950s—2014 年轮叶黑藻群落面积呈现先急剧减少后缓慢增加的变化过程(图 5). 轮叶黑藻群落在 1950s 几乎遍布湖心及洪湖东北部区域, 面积达到 209 km<sup>2</sup>, 占当时洪湖面积的 32%<sup>[36]</sup>, 是洪湖 1950s 的绝对优势群落. 1950s 以后分布范围锐减, 1980s 其面积仅为 24 km<sup>2</sup>, 呈环带状分布于湖心南部挺水植被内侧, 轮叶黑藻的优势地位显著下降. 到 1990s 轮叶黑藻优势群落在洪湖消失, 2000 年该群落分布于湖区南部约 15 km<sup>2</sup> 的范围内, 随后其面积缓慢增加, 到 2014 年增加至 47 km<sup>2</sup>, 但也仅占洪湖面积的 15%.

4 讨论

自 1950s 以来, 洪湖从通江湖泊变为人为调控的半封闭型水体, 其水深、水质和透明度发生很大变化, 人类活动的干扰(如围垦、水利工程、绞草、围网养殖)及 2005 年以来的拆除围网、建立自然保护区等, 都给洪湖优势沉水植被的分布范围和面积变化带来巨大影响. 根据历史数据及文献资料, 结合野外调查结果, 可将洪湖优势沉水植物分布范围和面积变化大致分为以下 3 个阶段:

第 1 阶段: 1950s—1990s 初. 围垦和闸坝的建设使湖泊面积不断缩小, 水文过程改变、水深变浅; 1955—

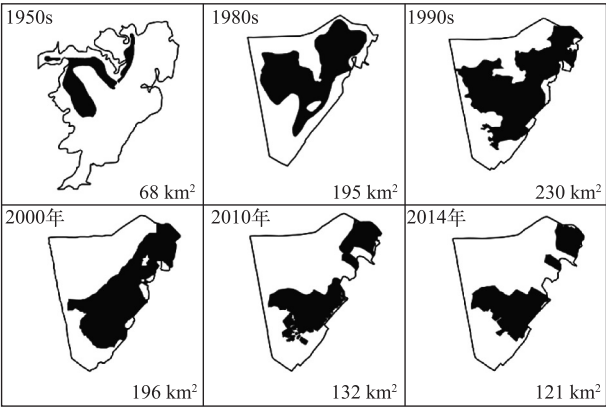


图 3 微齿眼子菜群落 1950s—2014 年分布范围及面积变化  
Fig.3 The distribution and area of *Potamogeton maackianus* community from 1950s to 2014

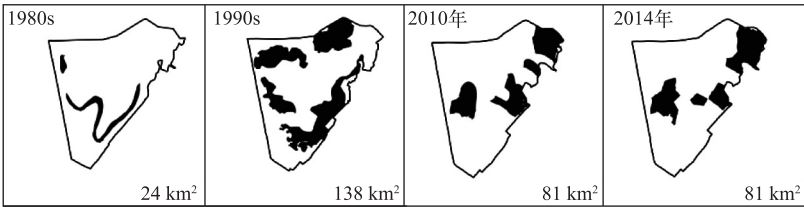


图 4 金鱼藻群落 1980s—2014 年分布范围及面积变化  
Fig.4 The distribution and area of *Ceratophyllum demersum* community from 1980s to 2014

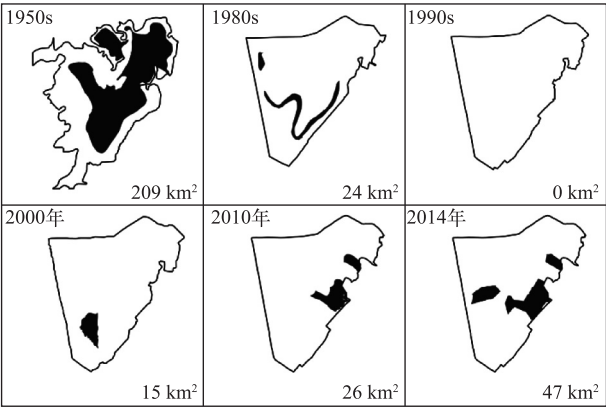


图 5 轮叶黑藻群落 1950s—2014 年分布范围及面积变化  
Fig.5 The distribution and area of *Hydrilla verticillata* community from 1950s to 2014

1982 年的 28 年中,洪湖经历 3 个围垦高潮,围垦面积为 366 km<sup>2</sup>,占原洪湖面积的 48%<sup>[37]</sup>. 闸坝的建设也使年水位变幅从 1~4 m 下降为 2 m 左右,平均水深从 1950s 的 3 m 下降到 1980s 的 1.35 m<sup>[36]</sup>. 水深下降相对增加了水体透明度,导致沉水植物向湖心推移,洪湖向沼泽化方向发展. 因此从 1950s—1990s,以穗状狐尾藻、微齿眼子菜和金鱼藻为优势的植物群落从 1950s 的湖边浅水区向湖心扩展,并在 1990s 初达到最大分布面积. 而 1950s 在洪湖有大量分布的轮叶黑藻群落在此阶段急剧下降,甚至在 1990s 丧失了其优势种地位,



其原因可能与黑藻的生活史对策有关. 黑藻属于 k-选择型植物<sup>[5]</sup>, 抗干扰能力较强而竞争能力较弱, 在洪湖水环境改变后占据新环境速度迟缓, 因此, 在与其他植物的竞争中处于不利地位, 这与斧头湖地区水位降低时黑藻的优势种地位下降结论一致<sup>[17]</sup>.

第 2 阶段: 1990s—2005 年. 1990s 初, 为了遏制洪湖沼泽化的发展, 水生植被的利用加强, 洪湖围网养殖增加, 到 2004 年底围网养殖的面积已占到全湖面积的 70%<sup>[38]</sup>. 围网养殖直接破坏沉水植被, 加之鱼、蟹的取食和渔民的过度打捞, 导致洪湖水生植物分布面积的减少、沉水植物净化水体的能力严重下降, 再加上养殖投放的饵料及鱼、蟹类的排泄物剧增, 水体中的有机物和营养盐浓度上升, 洪湖水质从 II 类恶化为 IV 类<sup>[39]</sup>, 且围网养殖面积与水质恶化的程度(表 1)显著相关( $r=0.81, P=0.001$ ); 特别是 2000 年以后围网养殖面积迅速扩大, 同时, 随着经济社会的发展和流域人口的增长, 入湖水质变差, 致使洪湖水质进一步恶化<sup>[40]</sup>, 而水体透明度的下降、水下光强的减弱, 不利于水生植被的生长和恢复, 造成恶性循环, 从而导致穗状狐尾藻和微齿眼子菜分布范围缩小、群落面积下降, 金鱼藻优势地位消失, 轮叶黑藻也仅分布在南部 15 km<sup>2</sup> 的范围内. 韩祥珍等<sup>[41]</sup>的研究也表明, 2003 年西凉湖养殖围栏内微齿眼子菜生物量由 532 g/m<sup>2</sup> 下降至 45 g/m<sup>2</sup>, 同时, 沉积物再悬浮显著增强、水质下降.

第 3 阶段: 2005 年至今. 2005 年起洪湖开始拆除围网, 同时开展洪湖生态修复并加强湿地的保护和管理. 2006 年 6 月底, 洪湖的围网面积已减少到占全湖面积的 20% 左右<sup>[42]</sup>. 洪湖水质呈现好转趋势, 2006—2010 年均达到 III 类水标准<sup>[44]</sup>, 近几年来也基本保持在 III 类水(表 1). 拆围后沉水植物分布面积开始扩大, 沉水植物尤其是微齿眼子菜和轮叶黑藻的利用强度减小, 2010 年金鱼藻的优势地位出现, 群落分布范围快速扩大, 以轮叶黑藻为优势种的群落分布范围也在不断增加.

表 1 1990—2014 年洪湖水质类别\*  
Tab.1 Classes of water quality of Lake Honghu from 1990 to 2014

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
水质类别	II	IV	III	III	IV	III	III	III	II	III	IV
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2008	2009	2010	2012	2014
水质类别	III	IV	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III

\* 1990—2003 年数据来自文献[43], 2004—2010 年数据来自文献[44], 2012 年和 2014 年数据为调查资料.

5 结论与建议

穗状狐尾藻群落面积从 1950s 占全湖的 6% 增加至 1990s 的占 65% 后急剧下降至 2010 年的占 2%, 然后恢复至 2014 年的 15%; 微齿眼子菜群落面积从 1950s 的 10% 增至 1990s 的 65% 后下降至 2014 年的 38%; 金鱼藻群落从 1980s 的 6% 增至 1990s 的 39%, 2010 年以后则稳定在 25%; 轮叶黑藻群落 1950s 占洪湖的 32%, 随后急剧下降, 2000 年以后逐渐增加至 15%. 1990s 之前, 穗状狐尾藻、微齿眼子菜和金鱼藻群落分布范围从浅水区向湖心扩展, 而轮叶黑藻群落从湖中心消失; 2000 年以后各群落分布破碎化明显, 主要分布于洪湖湖心、湖东部及东北部区域.

洪湖优势沉水植物群落分布范围和面积的变化主要是人类活动如水利工程、围垦及围网养殖导致的水文过程和水质变化等多种因素综合作用的结果, 但不同历史时期不同影响因素各有侧重, 1950s—1990s 围垦和闸坝建设导致的水文过程变化是主要影响因素, 1990s—2004 年围网养殖造成对植被的直接破坏, 以及由此对水质和透明度的影响占主导地位, 而 2005 年至今拆围以来的水质好转使洪湖的沉水植物有逐渐恢复的趋势.

目前, 沉水植物分布范围有所增加, 但其水生植物群落类型多, 破碎化程度较高. 为加快洪湖生态修复, 提高生态系统稳定性, 应提高水体的透明度, 增加水柱中的光照强度. 故对洪湖湿地保护提出如下建议: (1) 取缔围网、绞草、拖螺等人为干扰活动, 同时, 改善入湖水质, 增加水体透明度, 促进沉水植物的恢复; (2) 增加水位变幅, 促进水生植物资源的合理利用, 避免沼泽化重演.

## 6 参考文献

- [1] Bornette G, Puijalon S. Macrophytes: Ecology of aquatic plants. In: John W, Sons L eds. Encyclopedia of life science. Chichester: Wiley, 2009; 1-9. DOI 10.1002/9780470015902.a0020475.
- [2] Li Yingjie, Nian Yuegang, Hu Sherong *et al.* Succession of macrophyte communities and its driving factors in Wuli Lake of Taihu Lake. *Water Resources Protection*, 2008, **24**(3): 12-16 (in Chinese with English abstract). DOI 10.3969/j.issn.1004-6933.2008.03.004. [李英杰, 年跃刚, 胡社荣等. 太湖五里湖水生植物群落演替及其驱动因素. 水资源保护, 2008, **24**(3): 12-16.]
- [3] Chen Hongda. Structure and dynamic of macrophyte communities in Lake Donghu, Wuhan. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1980, **11**(3): 275-284 (in Chinese with English abstract). [陈洪达. 武汉东湖水生维管束植物群落的结构和动态. 海洋与湖沼, 1980, **11**(3): 275-284.]
- [4] Zhang Shengzhao, Wang Guoxian, Pu Peiming *et al.* Succession of hydrophytic vegetation and swampy tendency in the east Lake Taihu. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1999, **8**(2): 1-6 (in Chinese with English abstract). [张圣照, 王国祥, 濮培民等. 东太湖水生植被及其沼泽化趋势. 植物资源与环境, 1999, **8**(2): 1-6.]
- [5] Chen Daqing, Qiu Shunlin, Liu Shaoping *et al.* Aquatic vegetation in Laojianghe Lake. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, **5**(1): 62-67 (in Chinese with English abstract). [陈大庆, 邱顺林, 刘绍平等. 老江河水生植被. 中国水产科学, 1998, **5**(1): 62-67.]
- [6] Peng Yinghui, Jian Yongxing, Ni Leyi *et al.* Studies on the diversity of aquatic plants in Lake Xiliang. *Guihaia*, 2003, **23**(3): 211-216 (in Chinese with English abstract). [彭映辉, 简永兴, 倪乐意等. 西凉湖水生植物多样性研究. 广西植物, 2003, **23**(3): 211-216.]
- [7] Guan Shaofei, Lang Qing, Zhang Ben. Aquatic vegetation of Poyang Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1987, **11**(1): 9-21 (in Chinese with English abstract). [官少飞, 郎青, 张本. 鄱阳湖水生植被. 水生生物学报, 1987, **11**(1): 9-21.]
- [8] Yu Dan. Study on the dynamic and succession of aquatic macrophyte communities in the Zhushun Lake, Harbin. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, **18**(4): 371-378 (in Chinese with English abstract). [于丹. 水生植物群落动态与演替的研究. 植物生态学报, 1994, **18**(4): 371-378.]
- [9] Ge Jiwen, Cai Qinghua, Li Jianjun *et al.* On aquatic vegetation succession of Lake Liangzihu from 1955 to 2001. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, **26**(1): 14-20 (in Chinese with English abstract). [葛继稳, 蔡庆华, 李建军等. 梁子湖水生植被 1955—2001 年间的演替. 北京林业大学学报, 2004, **26**(1): 14-20.]
- [10] Zhao Ping, Ge Zhenming, Wang Tianhou *et al.* Study on the ecological characters of *Phragmites* communities and its succession in the Eastern end of Chongqing Island, Shanghai. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2005, **3**: 98-104 (in Chinese with English abstract). [赵平, 葛振鸣, 王天厚等. 崇明东滩芦苇的生态特征及其演替过程的分析. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2005, **3**: 98-104.]
- [11] Chen Hongda, He Chuhua. Standing crop of the macrophytes of Lake Donghu, Wuchang, with reference to the problem of its rational piscicultural utilization. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1975, **5**(3): 410-419 (in Chinese with English abstract). [陈洪达, 何楚华. 武昌东湖水生维管束植物的生物量及其在渔业上的合理利用问题. 水生生物学集刊, 1975, **5**(3): 410-419.]
- [12] Yan Guoan, Ma Jianmin, Qiu Dongru *et al.* Succession and species replacement of aquatic plant communities in East Lake, Wuhan. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21**(4): 319-327 (in Chinese with English abstract). [严国安, 马剑敏, 邱东茹等. 武汉东湖水生植物群落演替的研究. 植物生态学报, 1997, **21**(4): 319-327.]
- [13] Chen Jiakuan, Li Bo, Wu Qianhong. Biodiversity of the Yangtze River basin and the countermeasure with its economy co-ordinated development. *Chinese Biodiversity*, 1997, **5**(3): 217-219 (in Chinese with English abstract). [陈家宽, 李博, 吴千红. 长江流域的生物多样性及其与经济协调发展的对策. 生物多样性, 1997, **5**(3): 217-219.]
- [14] Zou Shanghui. Study on the swamping of Jiangnan lake groups. *Journal of Central China Normal University: Natural Science*, 1989, **23**(1): 115-120 (in Chinese with English abstract). [邹尚辉. 江汉湖群湖泊沼泽化问题研究. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1989, **23**(1): 115-120.]
- [15] Zhai Shuijing, Hu Weiping, Deng Jiancai *et al.* Effects of different water depths and sediments on *Potamogeton malaianus* in Lake Taihu. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(7): 3035-3041 (in Chinese with English abstract). [翟水晶, 胡维平,

- 邓建才等. 不同水深和底质对太湖马来眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 生长的影响. 生态学报, 2008, 28(7): 3035-3041.]
- [16] Hu Zhenpeng, Ge Gang, Liu Chenglin *et al.* Structure of Lake Poyang wetland plants ecosystem and influence of lake water level for the structure. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(6): 597-605 (in Chinese with English abstract). [胡振鹏, 葛刚, 刘成林等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.]
- [17] Li Zhongqiang, Ren Hui, Hao Mengxi *et al.* Diversity variation and community succession of aquatic macrophytes in Lake Futou. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(6): 1018-1026 (in Chinese with English abstract). DOI 10.3724/SP.J.1035.2012.01018. [李中强, 任慧, 郝孟曦等. 斧头湖水生植物多样性及群落演替研究. 水生生物学报, 2012, 36(6): 1018-1026.]
- [18] Karl EH, Donald F, Steven G *et al.* Aquatic vegetation and large mouth bass population responses to water-level variations in Lake Okeechobee, Florida (USA). *Hydrobiologia*, 2005, 539: 225-237. DOI 10.1007/s10750-004-4876-1.
- [19] Song Xin, Cao Te, Zhu Guorong *et al.* Adaptive comparison of *Potamogeton maackianus* and *P. malaianus* to various water depths in an experimental study. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(8): 1081-1089 (in Chinese with English abstract). [宋鑫, 曹特, 祝国荣等. 微齿眼子菜与马来眼子菜对水深变化的适应性比较研究. 长江流域资源与环境, 2014, 23(8): 1081-1089.]
- [20] Han Dayong, Yang Yongxing, Yang Yang. Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(7): 2236-2247 (in Chinese with English abstract). DOI 10.5846/stxb201112312023. [韩大勇, 杨永兴, 杨杨. 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替. 生态学报, 2013, 33(7): 2236-2247.]
- [21] Peng Yinghui, Jian Yongxing, Wang Jianbo *et al.* A comparative study on aquatic plant diversity in five largest lakes of Hubei province in China. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28(5): 464-470 (in Chinese with English abstract). [彭映辉, 简永兴, 王建波等. 湖北省五大湖泊水生植物多样性的比较研究. 水生生物学报, 2004, 28(5): 464-470.]
- [22] Cai Shuming, Du Yun, Zeng Yanhong. Main problems of the water and soil environment in the middle and lower reaches of Yangtze River and possible countermeasures. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(6): 564-568 (in Chinese with English abstract). [蔡述明, 杜耘, 曾艳红. 长江中下游水土环境的主要问题及其对策. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 564-568.]
- [23] James C, Fisher J, Russell V *et al.* Nitrate availability and hydrophyte species richness in shallow lakes. *Freshwater Biology*, 2005, 50: 1049-1063. DOI 10.1111/j.1365-2427.2005.01375.x.
- [24] Lu J, Wang HB, Pan M *et al.* Using sediment seed banks and historical vegetation change data to develop restoration criteria for a eutrophic lake in China. *Ecological Engineering*, 2012, 39: 95-103. DOI 10.1016/j.ecoleng.2011.11.006.
- [25] Wu Gongguo, Ni Leyi, Cao Te *et al.* Patterns and controls of dynamics of macrophytes and phytoplankton changes in Lake Erhai from 1977 to 2009. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(5): 912-918 (in Chinese with English abstract). DOI 10.7541/2013.118. [吴功果, 倪乐意, 曹特等. 洱海水生植物与浮游植物的历史变化及影响因素分析. 水生生物学报, 2013, 37(5): 912-918.]
- [26] Chen Hongda. Aquatic vegetation in Honghu Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1963, 3: 69-80 (in Chinese with English abstract). [陈洪达. 洪湖水生植被. 水生生物学集刊, 1963, 3: 69-80.]
- [27] Li Xiaoci ed. Aquatic vascular plants investigation in Honghu Lake. In: Honghu Lake aquatic resources (II) (printing copy). 1982, 37-51 (in Chinese). [李孝慈. 洪湖水生维管束植物的调查. 见: 洪湖水生资源 (二) (铅印本). 1982, 37-51.]
- [28] Li Wei. Studies on aquatic vegetation and its succession in Honghu Lake [Dissertation]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1995 (in Chinese with English abstract). [李伟. 洪湖水生植被及其演替研究 [学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1995.]
- [29] Jian Yongxing. Inventory and assessment of aquatic plant diversity in the lake wetlands of Lianghu Plain [Dissertation]. Wuhan: Wuhan University, 2000 (in Chinese with English abstract). [简永兴. 两湖平原湖泊湿地水生植物多样性编目与评价 [学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2000.]
- [30] Li Wei, Cheng Yu. Higher hydrophyte. In: Chen Yiyu, Xu Yungan eds. Honghu aquatic organisms and its resource development. Beijing: Science Press, 1995: 44-63 (in Chinese). [李伟, 程玉. 水生高等植物. 见: 陈宜瑜, 许蕴珩编. 洪湖



水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社, 1995:44-63.]

- [31] Zhang Hong, Chen Shijian, Zhang Guangyue *et al.* The effect of Three Gorges Project on groundwater level and soil gleization in Honghu region. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2009, **25**(3): 317-321(in Chinese with English abstract). [张红, 陈世俭, 张光岳等. 三峡工程对洪湖地区地下水动态和土壤潜育的影响. 农业系统科学与综合研究, 2009, **25**(3): 317-321.]
- [32] Wang Xuelei, Liu Xingtu, Wu Yijin. Analysis of water environment characteristics and purification ability of Honghu Lake wetland in Jiangnan plain. *Journal of Wuhan University(Natural Science Edition)*, 2003, **49**(2): 217-220(in Chinese with English abstract). [王学雷, 刘兴土, 吴宜进. 洪湖水环境特征与湖泊湿地净化能力研究. 武汉大学学报:理学版, 2003, **49**(2): 217-220.]
- [33] Chen Shijian. Environmental problems and ecological countermeasures for the Honghu Lake in Hubei province. *Journal of Central China Normal University(Natural Science)*, 2001, **35**(1): 107-110(in Chinese with English abstract). [陈世俭. 洪湖的环境变迁及其生态对策. 华中师范大学学报:自然科学版, 2001, **35**(1): 107-110.]
- [34] Li Wei, Cheng Yu. Quantitative analysis on the main submerged communities in Honghu Lake. I. *Potamogeton maackianus* community. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(1): 53-58(in Chinese with English abstract). [李伟, 程玉. 洪湖主要沉水植物群落的定量分析 I. 微齿眼子菜群落. 水生生物学报, 1999, **23**(1): 53-58.]
- [35] Li W, Huang B, Li RR. Assessing the effect of fisheries development on aquatic vegetation using GIS. *Aquatic Botany*, 2002, **73**: 187-199. DOI 10.1016/S0304-3770(02)00024-4.
- [36] Yin Faneng. Research on natural environment evolution of the Honghu Lake. *Yangtze River*, 2008, **39**(5): 19-23(in Chinese with English abstract). [尹发能. 洪湖自然环境演变研究. 人民长江, 2008, **39**(5): 19-23.]
- [37] Xie Qiming. The ecological effects caused by reclamation on Honghu Lake. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1987, **6**(1): 51-58(in Chinese with English abstract). [谢其明. 围湖造田对洪湖的生态影响. 华中农业大学学报, 1987, **6**(1): 51-58.]
- [38] Ban Xuan, Yu Cheng, Wei Ke *et al.* Analysis of influence of enclosure aquaculture on water quality of Honghu Lake. *Environmental Science & Technology*, 2010, **33**(9): 125-129(in Chinese with English abstract). [班璇, 余成, 魏珂等. 围网养殖对洪湖水质的影响分析. 环境科学与技术, 2010, **33**(9): 125-129.]
- [39] Du Yun, Chen Ping, Sato K *et al.* Current water environmental status and dominant factor analysis in Honghu Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, **14**(4): 481-485(in Chinese with English abstract). [杜耘, 陈萍, Sato K 等. 洪湖水环境现状及主导因子分析. 长江流域资源与环境, 2005, **14**(4): 481-485.]
- [40] Huang Yingsheng, Chen Shijian, Wu Houjian *et al.* Analysis of evolution factors and ecological protection strategies for Honghu Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, **16**(4): 504-508(in Chinese with English abstract). [黄应生, 陈世俭, 吴后建等. 洪湖演变的驱动力及其生态保护对策分析. 长江流域资源与环境, 2007, **16**(4): 504-508.]
- [41] Han Xiangzhen, Li Enhua, Yuan Longyi *et al.* The effects of enclosure aquaculture on aquatic vegetation and surface sediment resuspension. *Hubei Agricultural Sciences*, 2007, **46**(4): 556-558(in Chinese with English abstract). [韩祥珍, 厉恩华, 袁龙义等. 围网养殖对水生植被和沉积物再悬浮的影响. 湖北农业科学, 2007, **46**(4): 556-558.]
- [42] Wang Xuelei, Ning Longmei, Xiao Rui. The ecological water level control and relationship between river and lakes for the restoration of Honghu Lake. *Wetland Science*, 2008, **6**(2): 316-320(in Chinese with English abstract). [王学雷, 宁龙梅, 肖锐. 洪湖湿地恢复中的生态水位控制与江湖联系研究. 湿地科学, 2008, **6**(2): 316-320.]
- [43] Hu Xueyu, Chen Delin, Ai Tiancheng. Changes of water environment of Honghu Lake from 1990 to 2003. *Wetland Science*, 2006, **4**(2): 115-120(in Chinese with English abstract). [胡学玉, 陈德林, 艾天成. 1990—2003 年洪湖水体环境质量演变分析. 湿地科学, 2006, **4**(2): 115-120.]
- [44] Jiang Liuzhi, Wang Xuelei, Li Enhua *et al.* Water quality change characteristics and driving factors of Honghu Lake before and after ecological restoration. *Wetland Science*, 2012, **10**(2): 188-193(in Chinese with English abstract). [姜刘志, 王学雷, 厉恩华等. 生态恢复前后的洪湖水水质变化特征及驱动因素. 湿地科学, 2012, **10**(2): 188-193.]