

## 浅水湖泊植被分布格局及草-藻型生态系统转化过程中植物群落演替特征: 安徽菜子湖案例\*

高攀, 周忠泽\*\*, 马淑勇, 孙庆业, 许仁鑫

(安徽大学生命科学学院生物多样性与湿地生态研究所, 安徽省生态工程与生物技术重点实验室, 合肥 230039)

**摘要:** 2005年9月-2009年10月对菜子湖湿地植被分布格局及种类组成进行调查, 结合近十年的监测数据, 分析了菜子湖水生植物群落的演替过程和驱动因素. 结果表明: 菜子湖维管植物共有147种, 隶属于42科101属. 植被分布格局为: ① 中部水位较深的区域, 以马来眼子菜群落, 黑藻群落等沉水植物群落和野菱群落等根生浮叶植物群落为主; ② 靠近岸边浅水区以菰群落、荻蓼+酸模叶蓼群落等挺水植物群落和荇菜群落等根生浮叶植物群落为主; ③ 春季湖滩以肉根毛茛群落、陌上营群落和朝天委陵菜群落为优势的湿生植物群落为主, 并且三者在海涂沿高程梯度呈带状分布. 湖滩上还间有藨草群落. 群落演替系列为: ① 沉水植物群落阶段, 黑藻+苦草(1999-2004年); ② 浮叶植物群落阶段, 菱+荇菜(2005-2007年); ③ 少量的沉水植物群落阶段, 马来眼子菜(2008-2009年); ④ 草型向藻型湖泊生态系统过渡阶段(2009年以后). 藨草最近5年在菜子湖呈扩张趋势. 演替的驱动力为围网养殖、围湖造田、水利工程等人为因素.

**关键词:** 湿地植被; 种类组成; 分布格局; 群落演替; 菜子湖

## Vegetation distribution pattern and community succession in the transition from macrophyte-to phytoplankton-dominated state in shallow lakes, a case study of Lake Caizi in Anhui Province

GAO Pan, ZHOU Zhongze, MA Shuyong, SUN Qingye & XU Renxin

(Institute of Biodiversity and Wetland Ecology, School of Life Science, Anhui University, Anhui Key Laboratory of Eco-engineering and Bio-technique, Hefei 230039, P. R. China)

**Abstract:** Species composition and vegetation distribution patterns of Lake Caizi were investigated during September 2005 to October 2009. Combining with the data of nearly ten years monitoring, the succession of macrophyte communities and its driving factors were analyzed in Lake Caizi. There are 147 vascular plant species belonging to 101 genera in 42 families. The vegetation distribution pattern exhibited the following characteristics: 1) the dominant associations of submerged plant communities (*Potamogeton malaianus* and *Hydrilla verticillata*) and floating plant communities (*Trapa bispinosa*) in the central areas of lake with deeper water level; 2) the dominant associations of emergent plant communities (*Zizania caduciflora* and *Polygonum orientale* + *P. lapathifolium*) and floating plant communities (*Nymphoides peltata*) near the shore areas with shallow level; and 3) the dominant associations of wetland plant communities (*Ranunculus polii*, *Carex thunbergii* and *Potentilla supina*) on the lake beach in spring. The patchy area of *Phalaris arundinacea* distributed on the beach, and the communities succession exhibited the following series: 1) submerged plant communities stage with the dominant associations of *Vallisneria spiralis* + *Hydrilla verticillata*; 2) floating plant communities stage, *T. bispinosa* + *N. peltatum*; 3) the stage of several submerged plant communities, *P. malaianus*; 4) the transition stage from macrophyte-dominated to phytoplankton-dominated. The distribution area of *P. arundinacea* had expanded in the past 5 years. The driving force of succession was human factors as aquaculture, reclamation, as well as hydrological changes, etc.

\* 中国-欧盟生物多样性示范项目(00056783)、水体污染控制与治理科技重大专项子课题项目(2009ZX07103-002)、安徽省自然科学基金项目(090415202)和安徽省教育厅重点基金项目(KJ2008A043)联合资助. 2010-04-21 收稿; 2010-05-25 收修改稿. 高攀, 男, 1985年生, 硕士研究生; E-mail: gaopan1001@126.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: zhzz@ahu.edu.cn.

**Keywords:** Wetland vegetation; species composition; distribution patterns; community succession; Lake Caizi

长江中游是中国湖泊最为集中的区域之一,长江两岸的绝大多数 10km<sup>2</sup> 以上的湖泊原为通江湖泊,它们是与长江相通,其湖水能够自由排入长江或自由接受长江来水.安徽省地处长江中、下游结合部,沿江保留相对较为完整的通江湖泊有菜子湖、升金湖、龙感湖和白荡湖等<sup>[1]</sup>,构成长江三角洲经济发达地区的生态屏障和我国重要的生态功能区.通江湖泊在湿地生态系统中具有重要的作用,其最主要的特征是周期性的湖水水文变化,即每年的 4-10 月为丰水期,11 月至次年的 3 月为枯水期,这种水文变化造就了通江湖泊较多类型的湿地生境,如有涨落区、浅滩、滩涂等.经过长期的自然选择,其湖泊逐渐演化发育形成适应通江湖泊特有水文特征的植被.通江湖泊也是我国东部地区沿海鱼类洄游和繁殖的主要场所<sup>[2]</sup>之一,同时也是世界性迁徙鸟类越冬的栖息地<sup>[3]</sup>;对维持我国东部生态平衡和生物多样性保护具有重要意义.

通江湖泊绝大多数为浅水湖泊,近年来浅水富营养化湖泊的治理及生态修复成为研究的重点<sup>[4-5]</sup>,Scheffer 等提出淡水生态系统的多稳态理论<sup>[6]</sup>.秦伯强等指出:自然条件下浅水湖泊更容易富营养化,浅水湖泊中的沉积物在风浪作用下发生悬浮,致使沉积物中大量的营养盐释放出来并进入上覆水.同时指出:不同营养盐水平下附着生物对水生植物影响不同,随营养盐浓度的升高,附着生物的生物量随之增加,对水生植物光合作用的抑制作用也相应增强,草型生态系统与藻型生态系统互相转化的先决条件是营养盐水平<sup>[7-8]</sup>.该观点进一步解释了湖泊生态系统在草型和藻型之间转化的机理,为浅水湖泊富营养化治理与生态修复提供可靠依据.现在关于浅水湖泊理论研究多关注一些污染较严重的湖泊,如太湖、巢湖等.而对长江中下游的富营养化程度较轻的浅水湖泊,如菜子湖、龙感湖等关注较少,由于各个湖泊类型不同,对其治理的技术及方法也应不同.关注这些中小型湖泊将更有研究价值,一方面这些湖泊受人为干扰较小,湖泊生态系统较为稳定,研究其湖泊植被分布格局及其群落演替特征可为污染较重湖泊的生态修复提供理论指导;另一方面,这些通江湖泊近年由于养殖及农村面源污染等原因,植被也发生了很大变化,湖泊生态系统呈现从草型向藻型转变的趋势,这些也很值得关注.

水生植物是湖泊生态系统的主要初级生产者,在稳定湖泊生态系统的结构和功能中起决定性作用.浅水湖泊植被的分布格局、区系性质、群落演变及其种类组成,特别是植被的各种生态类型的生态适应机制是

湖泊生态系统研究的重要内容<sup>[9-10]</sup>.而关于浅水湖泊水生植物群落演替,特别是过度养殖后,由草型湖泊生态系统向藻型湖泊生态系统转化过程中水生植物群落演替的研究较少.本文对菜子湖湿地植被分布格局及种类组成进行了调查和研究,在此基础上,结合近十年的监测数据,总结菜子湖由草型生态系统向藻型生态系统转化过程中植被群落演替的特征,并分析其演替的驱动因素,为湖泊生态系统修复和生物多样性保护提供科学借鉴和理论依据.

## 1 湖泊自然概况与研究方法

### 1.1 湖泊自然概况

菜子湖(30.75°-30.97°N,117.00°-117.15°E),位于安徽省枞阳、桐城两市市境内(图 1),濒临长江,平均海拔 9.1m,丰水面积 242.30km<sup>2</sup>,枯水面积 145.20km<sup>2</sup>,平均水深 1.67m,属浅水型湖泊.湖区主体地貌为丘陵,年平均气温 16.6℃,≥10℃ 年平均积温 5269℃,年平均降雨量 1325.5mm,年平均日照时数 2064.9h,年蒸发量 1352mm,属亚热带季风气候,夏季炎热潮湿,冬季寒冷干燥.

### 1.2 研究方法

于 2005 年 9 月-2009 年 10 月对菜子湖的植被种类组成、生物量、分布格局及植物群落演替进行调查研究.调查主要采用样方法,

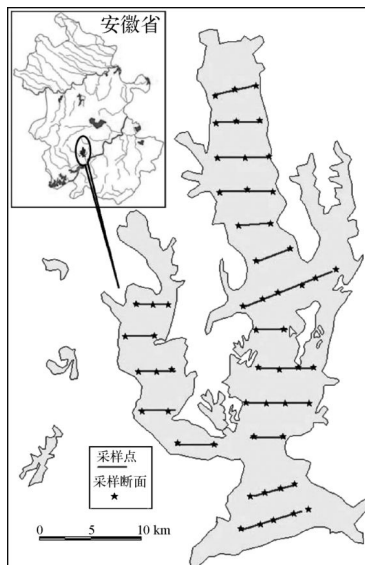


图 1 菜子湖地理位置及采样点设置  
Fig. 1 Location and sampling sites of Lake Caizi

每年对菜子湖调查不少于4次,分别在每年的1月,4月,7月和11月.在全湖涨落区共设18个断面,每个断面2-6个采样点,共55个采样点.水生植物生物量的测定,用彼得森采泥器(1/16m<sup>2</sup>)将样方内的植物连根带泥夹起,洗净淤泥,除去杂质,滴尽水分后按种类分开,于烘箱内105℃杀青30min,70℃烘干至恒重,称其干重,每个样点采集4次,取平均值计算生物量.考虑到菜子湖水生植物和滩涂湿生植物分布和生物量在全湖的不均匀性,除采样调查外,还增设了环湖调查路线,对各种水生植物和湿生植物群丛的分布面积和生物量分别进行调查.根据以上调查路线,广泛采集标本,记录植物的种类组成,由各种植物的分布面积、频度和生物量确定植物的优势种,依据植物群落的外貌、结构和优势种等特征划分群丛类型.水生植物群落以及群丛类型的分类标准依据姜汉侨等的《植物生态学》<sup>[11]</sup>.

夏、秋两季为菜子湖丰水期,湖水位较高,此时主要是采用挂机木船、划桨木船调查植被分布格局.调查采用GPS定位各采样点(采样点范围:30.75°-30.95°N,117.00°-117.14°E),以GPS得到的数据为基础,制作数据库,用MapInfo软件绘制菜子湖植被分布图.

采用野外定位点作长期观察和植被动态监测的方法,研究菜子湖水生植物群落的演替过程,并结合水质(主要是总磷、总氮)分析了驱动因素.用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定总氮;钼酸铵分光光度法测定总磷<sup>[12]</sup>.

## 2 结果

### 2.1 植被种类组成

调查共采集记录维管植物42科101属147种,其中蕨类植物4科4属4种,双子叶植物27科58属88种,单子叶植物11科39属55种.生长于滩涂上的湿生植物25科76属104种,禾本科(20种)、莎草科(14种)、蓼科(13种)和菊科(13种)是构成滩涂湿生植物群落主要成分.沉水植物有7科9属14种,其中,水鳖科的黑藻(*Hydrilla verticillata* (L.) Royle.)、眼子菜科的马来眼子菜(*Potamogeton malaianus* Miq.)、小二仙草科的聚草(*Myriophyllum spicatum* L.)和金鱼藻科的金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)是构成沉水植物群落的优势种.挺水植物共6科7属11种,分布面积相对较广,菰(*Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf.)、荇蓼(*Polygonum orientale* L.)、酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium* L.)和芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin.)是构成挺水植物群落的主要物种.浮叶植物有11科12属18种,菱科植物野菱(*Trapa bispinosa* Roxb.)、四角菱(*Trapa quadrispinosa* Roxb.)和睡莲科的芡实(*Euryale ferox* Salisb.)是构成根生浮叶植物群落的主要物种,满江红(*Azolla imbricata* (Roxb.))、浮萍(*Lemna minor* L.)、槐叶苹(*Salvinia natans* (L.) All.)是构成自由浮叶植物群落的主要物种,菜子湖分布较少.

### 2.2 主要植被群落类型及分布

据调查,在2005年以前,菜子湖属于未开发状态,生态系统比较完整,植被丰富,盖度达到80%以上.2007年后逐渐进入强围网养殖阶段,水生植被逐渐遭到破坏,盖度50%左右,2005年前后的主要植被群落类型及分布结果如下所述.

2.2.1 湿生植物群落 湿生植物群落主要分布于湖滩区域,其分布面积受水位变化影响.主要群落包括:陌上营群丛(Asso. *Carex thunbergii*):全湖滩涂的优势群落,伴生种有藨草(*Phalaris arundinacea* L.)、朝天委陵菜(*Potentilla supina* L.)、肉根毛茛(*Ranunculus polii* France.)等.肉根毛茛群丛(Asso. *Ranunculus polii*):所有滩涂均有分布,伴生种有陌上营(*Carex thunbergii* Steud.)、藨草等.朝天委陵菜群丛(Asso. *Potentilla supina*):所有滩涂均有分布,生长在一些砂土土壤上,伴生种有陌上营、紫云英(*Astragalus sinicus* L.)、稻槎菜(*Lapsana apogonoides* Maxim.)等.藨草群丛(Asso. *Phalaris arundinacea*):主要分布在菜子湖北部,多生长在陌上营被人为破坏后的湖滩上和浅水的沼泽上,伴生种有肉根毛茛、陌上营,长芒稗(*Echinochloa caudata* Roshev.)等.

2.2.2 沉水植物群落 马来眼子菜群丛(Asso. *Potamogeton malaianus*):全湖分布最广的沉水植物,几乎遍及全湖,伴生种有聚草、黑藻、野菱、荇菜(*Nymphoides peltatum* Gmel.)、苦草(*Vallisneria natans* Lour.)等.黑藻群丛(Asso. *Hydrilla verticillata*):分布较广,多集中在湖中部的公共河道处,还零星分布于30.773°-30.810°N; 117.103°-117.130°E一带,伴生种有马来眼子菜、聚草、野菱等.聚草群丛(Asso. *Myriophyllum*

*spicatum*):多分布在湖中部的公共河道处,还零星分布于 30.773°-30.810°N; 117.103°-117.130°E 一带,伴生种有马来眼子菜、黑藻等.

2.2.3 挺水植物群落 荇蓼+酸模叶蓼群丛(Asso. *Polygonum orientale* + *Polygonum apathifolium*):全湖零星分布,多集中在靠近岸边的浅水区,特别在菜子湖南部分布较多,伴生种有马来眼子菜、黑藻等.菰群丛(Asso. *Zizania caduciflora*):主要分布在菜子湖的北部(30.900°-30.933°N;117.080°-117.098°E)一带和南部(30.767°N,117.090°E;30.757°N,117.110°E;30.772°N,117.108°E)一带,是菜子湖的主要挺水群丛之一.伴生种有荇菜、马来眼子菜、黑藻等.长芒稗群丛(Asso. *Echinochloa caudata*):集中分布于菜子湖的北部的两点(30.922°N,117.078°E;30.939°N,117.079°E)附近的水域,呈带状分布,其他湖区不多见.伴生种有野菱、马来眼子菜等.

2.2.4 浮叶植物群落 菱群丛(Asso. *Trapa bispinosa*):全湖均有零星分布,尤以以下水域分布较多,如嬉子湖北部沿岸(30.858°-30.919°N;117.025°-117.044°E)范围内的水域,菜子湖南部两点(30.754°N,117.093°E;30.758°N,117.095°E)附近的水域,中部(30.848°-30.888°N;117.090°-117.135°E)的水域.伴生种有荇菜、马来眼子菜、聚草、黑藻等;荇菜群丛(Asso. *Nymphoides peltata*):全湖均有分布,在以下两个水域分布较多,如菜子湖中部的点(30.855°N;117.110°E)附近的水域,及东北部靠近岸边的点(30.940°N;117.098°E)附近的水域.伴生种有野菱、马来眼子菜、聚草、黑藻等.

### 2.3 植被分布格局

根据样线调查和对 243 个样方的分析,菜子湖植被分布格局为:中部水位较深的区域,以马来眼子菜群丛、黑藻群丛等沉水植物群落和野菱群丛等根生浮叶植物群落为主;靠近岸边浅水区以菰群丛、荇蓼+酸模叶蓼群丛等挺水植物群落和荇菜群丛等根生浮叶植物群落为主(图 4);湖滩以陌上营群丛、朝天萎陵菜群丛、肉根毛茛群丛和藨草群丛为优势的湿生植物群落为主.沿高程梯度肉根毛茛、陌上营和朝天萎陵菜群丛在湖滩上有一定的成带分布特征,即肉根毛茛生长在靠近水边的湖滩上,相对海拔较低;朝天萎陵菜多生长在距水较远、相对海拔较高的湖岸;而陌上营生长在两者之间,相对海拔也介于两者之间(图 2).藨草在菜子湖的北部、中部的浅水区和滩涂都有大量分布.据调查,10 年前藨草在菜子湖分布较少,只在菜子湖最北部有零星分布,但近 5 年藨草分布面积扩大,向南已扩张到先让村、车富村所在湖区,并有继续扩张趋势.

### 2.4 水生植物群落演替系列

安徽大学生命科学学院早在 1999 年前后,就对菜子湖做定期研究和植被监测,近 10 年也是菜子湖变化较大的十年,菜子湖的植被、水质发生很大变化,植被演替呈现从草型生态系统向藻型生态系统转变的趋势.根据对渔民的走访,1960s 以前,菜子湖还是保持着较为原始的湿地生态环境,湖泊周围生长大面积的菰和芦苇群丛等挺水植物群落,在当时沉水植物并不占优势,但种类多,分布均匀.1980s 后,随着社会经济的发展,化肥使用和生活污水排放增加,菜子湖水质处于中度的营养水平<sup>[13]</sup>,这时沉水植物迎来了丰盛时期.到 1990s,菜子湖已形成了以草型生态系统为主、生态系统较稳定的清水湖泊(图 3),2000 年以后由于受到人类水产养殖干扰,菜子湖植被呈现从草型生态系统向藻型生态系统的演替趋势.依据水生植被的动态变化和优势种更替的特点,可将近 10 年菜子湖水生植物群落演替划分成 4 个阶段.

2.4.1 沉水植物群落阶段(1999-2004 年) 菜子湖螃蟹养殖业还未开发,资源丰富,生态系统以草型为主,湖水清澈,一些具低光补偿点、种子量大或生活力强的种类成为水生植物群落的优势种,群落类型以苦草单优群丛及其与黑藻共优群丛为主,群丛内散生马来眼子菜、小茨藻(*Najas minor* All.)、菹草、狐尾藻、金鱼藻等(图 3).

2.4.2 浮叶植物群落阶段(2005-2007 年) 自 2004 年以后菜子湖实行承包制,进行大量的水产养殖,整个湖区被围网和圩堤分割成很多小块.由于放养密度较大,养殖的种类结构不合理,主要以养殖螃蟹、草食性鱼类为主,导致大量的沉水植物减少.特别是养殖螃蟹以后,对沉水植物有毁灭性的破坏.而鱼蟹不喜欢取食的浮叶植物成为优势种,群落类型以菱角单优群丛及其与荇菜共优群丛为主,群丛内散生马来眼子菜、狐尾藻、金鱼藻、黑藻等(图 4).

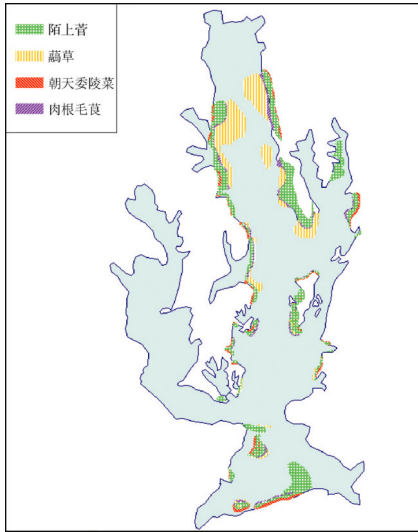


图2 2009年菜子湖滩涂植被分布  
Fig. 2 Vegetation distribution on the beach in Lake Caizi in 2009

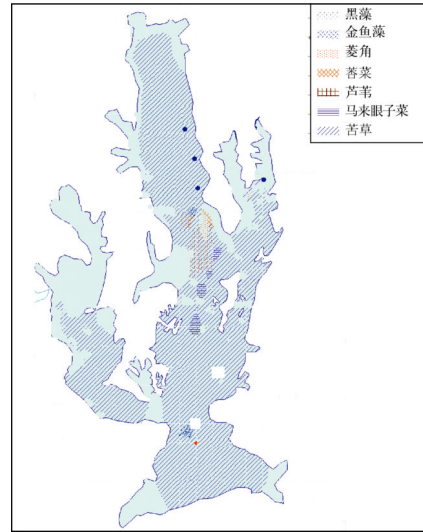


图3 2003年以前菜子湖植被分布  
Fig. 3 Vegetation distribution in Lake Caizi before 2003

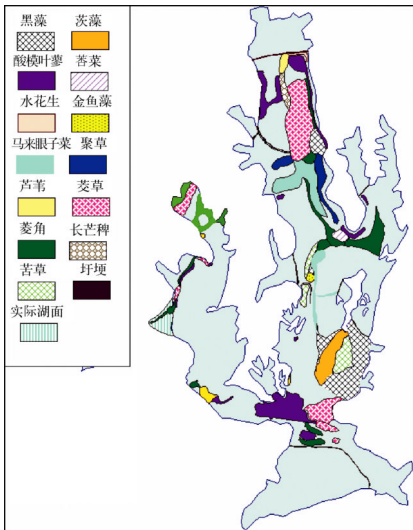


图4 2007年菜子湖植被分布  
Fig. 4 Vegetation distribution in Lake Caizi in 2007

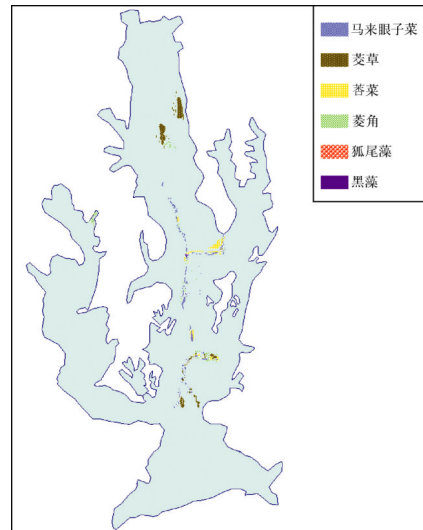


图5 2009年菜子湖水生植被分布  
Fig. 5 Vegetation distribution in Lake Caizi in 2009

2.4.3 少量的沉水植物群落阶段(2008-2009年) 主要为马来眼子菜,调查中我们了解到,连续养殖4年的水域内,无任何大型水生植被.2009年是菜子湖植被发生巨变的一年,整个湖区植被覆盖度不到3%(图5),植被减少使水质进一步恶化,浊度增加,苦草、黑藻等沉水植物对水的透明度要求较高,很难在浑浊的水里生长,而马来眼子菜能在较浑浊的水里生长,且鱼类多不喜欢采食.此时,只有马来眼子菜在某些公共河道零星分布.

2.4.4 草型向藻型湖泊生态系统过渡阶段(2009年以后) 2009年菜子湖水生植物的生物量大量下降,年平均生物量(干重)只有  $99.7\text{g}/\text{m}^2$ ,植被盖度不到3%,浮游生物特别是浮游植物含量增加,2000年浮游植物含

量为 $20.8 \times 10^4$  cells/L<sup>[1]</sup>, 2007年夏季浮游植物含量为 $120.63 \times 10^4$  cells/L<sup>[14]</sup>. 这些数据显示菜子湖生态系统有从草型湖泊生态系统向藻型湖泊生态系统转变的趋势. 如果养殖现状不改变, 菜子湖将由原来的草型湖泊生态系统转变为藻型湖泊生态系统.

### 3 讨论

#### 3.1 分布格局影响因素

菜子湖的植被分布格局主要受湖泊水文条件的影响, 中部水位较深湖区有利于苦草、黑藻、马来眼子菜等沉水植物生长. 靠近岸边的浅水区有利于挺水植物, 如菰、芦苇等生长. 而滩涂以湿生植物为主, 如陌上苔、藨草、肉根毛茛、朝天委陵菜等. 肉根毛茛群丛、陌上苔群丛、朝天委陵菜群丛, 在湖滩上沿高程梯度有一定的成带分布特征可能是受水文及水分条件所致. 调查中我们了解到, 肉根毛茛的生活周期较短, 从每年的2月中旬发芽, 到3-4月完成开花、结果. 2-4月份菜子湖水位较低, 4月底受长江水文的影响, 菜子湖水位开始慢慢上涨, 肉根毛茛在水位上涨前已完成开花结果. 陌上苔、朝天委陵菜生活周期都比肉根毛茛长, 花期比肉根毛茛迟, 它们多分布在海拔相对较高的地方. 三者的生长周期正好与菜子湖的通江水文相适应. 朝天委陵菜喜生长在砂地上或离水较远的滩涂, 这可能还受水份条件的限制, 因为砂地易排水, 而海拔相对较高的滩涂含水量较少. 因此, 在一些砂质土壤较多的湿地进行生态恢复中, 建议选择朝天委陵菜作为先锋物种.

藨草近几年在菜子湖扩张蔓延, 可能与菜子湖的水文变化有关, 三峡工程建成以后, 由于4月、7-11月因发电或防洪需要而减泄, 长江水入湖量年内分配较均匀, 菜子湖的水位年内波动减小, 使得菜子湖的汛期水文发生了改变, 特别是汛期时间的推迟<sup>[15-16]</sup>. 在以前由于菜子湖涨水时间较早, 而藨草不能在水较深的地方生存, 所以其分布面积一直很小. 而汛期的较早来临使藨草无法完成有性生殖, 只能依靠营养体进行无性繁殖, 也限制了藨草的分布. 汛期推迟后藨草得以完成有性生殖, 利用种子进行传播, 营养体发育完善克隆繁殖的能力变得更强, 所以藨草的分布面积扩大. 为验证此假设, 我们在车富、塔咀两个村的藨草泛滥区进行了圩埂贮水处理藨草试验, 该实验模拟菜子湖在三峡大坝建成前的水文变化, 在4月初开始贮水以淹没藨草, 并保持水位不变. 结果表明, 连续实验处理两年以上可以很好地除掉藨草.

#### 3.2 菜子湖水生植物群落演替的影响因素

**3.2.1 围网养殖** 围网养殖是影响菜子湖植物群落演替的主要驱动力. 在2000年以前, 菜子湖属于螃蟹未开发状态, 整湖以草型湖泊生态系统为主, 植被丰富, 盖度达到80%以上<sup>[13]</sup>, 水质清澈. 现在整个湖区围网面积占整个湖泊水域面积的90%左右(图6), 植被盖度不到3%. 水生植物的年生物量大量下降. 1991年水生植物年生物量(干重) $6000\text{g}/\text{m}^2$ , 2009年全湖水生植物年生物量(干重)只有 $99.7\text{g}/\text{m}^2$ , 过度养殖使菜子湖草型生态系统遭到破坏, 水草破坏后加剧水体富营养化, 富营养化到一定程度湖泊生态系统就会发生转变. Sheffer等提出的湖泊转化的多稳态理论指出: 由于生态系统的滞后效应, 当湖泊生态系统受到外界环境胁迫时, 如营养盐、风浪、鱼的牧食等因素发生变化, 如果胁迫程度在可承受的范围内, 生态系统不会发生变化, 当胁迫程度大于承受范围时, 原来的生态系统就会崩溃, 新的与环境相协调的生态系统将会出现<sup>[17]</sup>. 我国学者秦伯强在总结丹麦 Jeppesen 等<sup>[18]</sup>的研究提出, 浅水富营养化湖泊的草型生态系统转化为藻型生态系统时, 其TP的阈值大约在 $120-150\mu\text{g}/\text{L}$ , 而当藻型生态系统转化为草型生态系统时, 其阈值大约在 $70-90\mu\text{g}/\text{L}$ . 对菜子湖近年的水质监测显示, TP很接近 $150\mu\text{g}/\text{L}$ (表1).

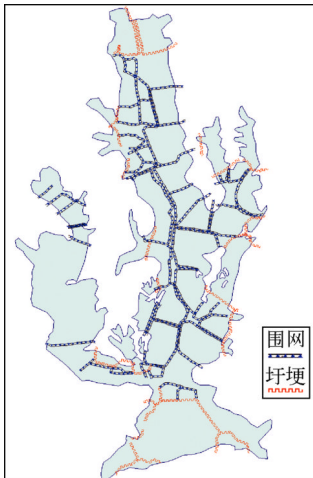


图6 2009年围网和圩埂分布  
Fig. 6 Fence and dike ridge distribution in Lake Caizi, 2009

水体营养盐增加又有利于浮游生物大量生长, 而某些藻类释放的化合物与富营养条件下大型水生植物的减少有关<sup>[19]</sup>. 浮游生物特别是附着生物的大量生长将促进该湖泊由草型生态系统向藻型生态系统过渡.

表1 近年菜子湖营养盐特征

Tab. 1 Nutrient character of Lake Caizi in recent years

年份	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	总氮(mg/L)	总磷(mg/L)	可溶性磷(mg/L)
2006 年秋	46.759	1.414	0.428	0.052
2007 年春	13.333	0.871	0.045	0.013
2007 年夏	58.848	0.764	0.071	0.019
2008 年春	18.963	1.895	0.103	0.062

3.2.2 围湖造田 20 世纪七八十年代以来,沿菜子湖修建了大量圩堤. 据统计菜子湖原有面积 240.30km<sup>2</sup>, 现有面积 166.67km<sup>2</sup>, 面积缩小 30.6%<sup>[1]</sup>. 以前生长大量芦苇、菰的浅水区域和滩涂的地方现改建为农田. 同时农村面源污染加剧,特别是化肥和生活污水排量增加使水质进一步恶化.

3.2.3 水利工程 从 20 世纪中期以来,影响菜子湖的重大工程主要有枞阳大闸和长江三峡大坝的修建. 枞阳大闸修建于 1958 年,它阻隔了菜子湖与长江的联通,当长江水位过高时,关闭大闸,在一定程度上使得菜子湖免受重大洪水的灾害,改变了菜子湖原有的通江水文. 三峡大坝的建成对长江下游的水文有较大影响,使长江水位常年变化不明显. 受其影响菜子湖水文变化最大特征是:与以前相比爆发洪水的频率、规模都较小,且汛期时间推迟. 水文改变打乱了植物的生长规律,从而影响菜子湖植被分布. 在原有的通江水文条件下藨草分布较少,可能是因为较大规模的洪水提前到来,使藨草不能完成生活史,从而抑制了藨草的扩张.

### 3.3 菜子湖与其他沿江湖泊生态系统类型及优势种的比较

其他沿江浅水湖泊生态系统也发生或已经发生由草型向藻型转变(表 2),巢湖、太湖等由于工业废水和生活污水排放较多早已转变成藻型湖泊生态系统;菜子湖、升金湖和洪湖等都在进行围网养殖,湖泊生态系统都有由草型向藻型转化的趋势;而龙感湖、梁子湖等人为干扰因素较弱,还保持着较好的草型湖泊生态系统.

表2 不同沿江湖泊生态系统类型及优势种的比较

Tab. 2 Comparison of ecosystem types and dominant plant species in different lakes along the Yangtze River

湖泊	1980-1989 年		1990-1999 年		2000-2009 年	
	湖泊生态系统类型	优势种	湖泊生态系统类型	优势种	湖泊生态系统类型	优势种
菜子湖	-	-	草型	苦草、黑藻	过渡*	铜绿微囊藻、马来眼子菜
巢湖	过渡 <sup>[20]</sup>	菹草、马来眼子菜	藻型 <sup>[21]</sup>	水华微囊藻和卷曲鱼腥藻	藻型	水华微囊藻和卷曲鱼腥藻
太湖	草型 <sup>[22]</sup>	苦草、马来眼子菜	-	-	藻型	铜绿微囊藻
鄱阳湖	草型 <sup>[23]</sup>	马来眼子菜、苦草	-	-	草型 <sup>[24]</sup>	密齿苦草、菹草
升金湖	草型 <sup>[25]</sup>	马来眼子菜、苦草	草型 <sup>[26]</sup>	马来眼子菜、苦草	过渡 <sup>[27]</sup>	菱
洪湖	草型 <sup>[28]</sup>	菹、微齿眼子菜、金鱼藻	草型 <sup>[29]</sup>	菹草、眼子菜	过渡 <sup>[30]</sup>	微齿眼子菜
龙感湖	-	-	草型 <sup>[31]</sup>	马来眼子菜、黑藻、苦草	草型 <sup>[32-33]</sup>	菱、莲、黑藻
梁子湖 <sup>[34]</sup>	草型	马来眼子菜	草型	微齿眼子菜	草型	微齿眼子菜、金鱼藻

\* 过渡,指湖泊生态系统由草型向藻型过渡阶段.

从植被演替角度,菜子湖现在发生的演替属于人为干扰下较剧烈的次生演替,影响其演替的主要因素为不合理的围网养殖. 但是,菜子湖不会出现像巢湖、太湖那样严重的水体富营养化程度;近两三年内菜子湖完全转变为藻型湖泊生态系统的非常小,因为①菜子湖与长江相连,是典型的通江湖泊,每年冬天随着长江水位下降,菜子湖湖水几乎退尽,来年主要靠降雨或长江江水回流补充新的水源,水中氮磷含量较低(表 1 显示近年菜子湖总磷的量大都在 0.12mg/L 以下);②菜子湖周边的生态环境保护较好,沿湖居民较少,且没有厂矿企业工业污染;③菜子湖通江的水文造就了较多类型的湿地生境,如有涨落区、浅滩、滩涂等,有利于生物多样性的恢复. 我们认为单一去除围网养殖,在自然状态下就能恢复到以前的草型湖泊生态系统.

#### 4 参考文献

- [ 1 ] 施葵初. 安徽湿地. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2003: 132-160.
- [ 2 ] 常剑波, 曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 153-157.
- [ 3 ] 何春山, 朱文中, 吴小龙. 安徽湿地资源与湿地分类资源的研究. 安徽大学学报, 2002, 26(2): 103-106.
- [ 4 ] Scheffer M. Multiplicity of stable states in freshwater systems. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201: 475-486.
- [ 5 ] 秦伯强, 杨柳燕, 陈非洲. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用. 科学通报, 2006, 51(16): 1857-1866.
- [ 6 ] 秦伯强, 宋玉芝, 高 光. 附着生物在浅水富营养化湖泊藻-草型生态系统转化过程中的作用. 中国科学(C 辑): 生命科学, 2006, 36(3): 283-288.
- [ 7 ] Chung EG, Bombardelli FA, Schladow SG. Modeling linkages between sediment resuspension and water quality in a shallow, eutrophic, wind-exposed lake. *Ecological Modelling*, 2009, 220: 1251-1265.
- [ 8 ] Hilt S, Gross EM. Can allelopathically active submerged macrophytes stabilise clear-water states in shallow lakes. *Basic and Applied Ecology*, 2007, 9: 422-432.
- [ 9 ] Chambers PA, Lacoul P, Murphy KJ *et al.* Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia*, 2008, 595(1): 9-26.
- [ 10 ] Sollie S, Janse JH, Mooij WM. The contribution of marsh zones to water quality in dutch shallow Lakes: A modeling study. *Environmental Management*, 2008, 42: 1002-1016.
- [ 11 ] 姜汉侨, 段昌群, 杨树华等. 植物生态学. 北京: 高等教育出版社, 2004: 92-114, 265.
- [ 12 ] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 第2版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [ 13 ] 何家庆. 安徽枞阳湿地植被及植物资源的研究. 武汉植物学研究, 2000, 18(4): 291-301.
- [ 14 ] 赵秀侠. 安徽菜子湖浮游植物生物多样性研究[学位论文]. 合肥: 安徽大学, 2008: 43-46.
- [ 15 ] 李学贵, 袁 杰. 三峡水利枢纽的防洪调度. 中国防汛抗旱, 2008, 5: 17-20.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] Scheffer M, Carpenter S, Foley JA. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 2001, 413: 591-596.
- [ 18 ] Jeppesen E, Jensen JP, Kristensen P. Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow, eutrophic temperate lakes 2: Threshold levels, long-term stability and conclusions. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201: 219-227.
- [ 19 ] Vierrsen WV, Prins TC. On the relationship between the growth of algae and aquatic macrophytes in brackish water. *Aquatic Botany*, 1985, 21: 165-179.
- [ 20 ] 卢心固. 巢湖水生植被调查. 安徽农学院学报, 1984, (2): 95-102.
- [ 21 ] 蒙仁宪, 刘贞秋. 以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化. 水生生物学报, 1988, 12(1): 13-26.
- [ 22 ] 鲍建平, 缪为民, 李劫夫等. 太湖水生维管束植物及其合理开发利用的调查研究. 大连水产学院学报, 1991, 6(1): 13-20.
- [ 23 ] 官少飞, 郎 青, 张 本. 鄱阳湖水生维管束植物生物量及其合理开发利用的初步建议. 水生生物学报, 1987, 11(3): 219-227.
- [ 24 ] 彭映辉, 简永兴, 李仁东. 鄱阳湖平原湖泊水生植物群落的多样性. 中南林学院学报, 2003, 23(4): 22-27.
- [ 25 ] 蒙仁宪. 升金湖的水生植物. 安徽大学学报(自然科学版), 1979, (1): 71-80.
- [ 26 ] 胡维华. 升金湖湿地生物多样性保护研究. 池州师专学报, 1999, (3): 34-36.
- [ 27 ] 许李林, 徐文彬, 孙庆业. 升金湖植物区系及其群落演变. 武汉植物学研究, 2008, 27(3): 264-270.
- [ 28 ] 杨 凯, 林开恩. 遥感技术在洪湖水生植物分布状况调查中的应用. 武汉测绘学院学报, 1983, (1): 1-13.
- [ 29 ] 李 伟. 洪湖水生维管束植物区系研究. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 113-122.
- [ 30 ] 丁小青. 洪湖养殖区水生植物种子库现状及水生植被恢复策略研究[学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2009: 5.
- [ 31 ] 张圣照, 窦鸿身, 姜加虎. 龙感湖水生植被. 湖泊科学, 1996, 8(2): 161-168.
- [ 32 ] 田 华, 戴渺鸿, 熊 琰. 湖北龙感湖湿地保护对策研究. 湖北林业科技, 2008, 2: 43-45.
- [ 33 ] 葛继稳. 湿地资源及管理实证研究. 北京: 科学出版社, 2007: 70-71.
- [ 34 ] 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.