

# 洞庭湖区三个湖泊水生植物多样性的比较研究

简永兴 王建波 何国庆 陈家宽

(武汉大学生命科学学院, 武汉 430072)

**摘要:** 比较研究了洞庭湖区华容县东湖、益阳市大通湖和岳阳市郊南湖水生植物多样性的现状, 讨论了 30 年来 3 个湖泊水生植物多样性丧失的情况及与其所受人为干扰的关系, 探讨了野菱、密齿苦草和菹草对人为干扰的适应机制、大通湖和南湖水生植物多样性及其退化水生态系统恢复的途径。主要结论如下: (1) 1999—2000 年东湖、大通湖与南湖各分布有水生植物 61 种、56 种和 32 种, 其分别隶属于 29 科 43 属、26 科 39 属和 20 科 27 属; 各有水生植物群丛 8 个、6 个和 4 个; 水生植被覆盖率分别为 26.17%、10.60% 和 9.99%。(2) 30 年来三个湖泊分别有 3 种、9 种和 13 种水生植物消失, 2 个、5 个和 5 个水生植物群丛类型消失。(3) 水生植物多样性的现状是: 东湖 > 大通湖 > 南湖, 多样性下降的程度与其所受干扰强度成正相关。

**关键词:** 东湖; 大通湖; 南湖; 水生植物; 多样性; 长期变化

**中图分类号:** Q948.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3207(2002)02-0160-08

洞庭湖区湖泊众多, 是中国重要的湿地之一。水生植物在洞庭湖区湖泊生态系统正常运转中起着至关重要的作用。但因人为活动的日益加剧, 该区域湖泊水生植物多样性加速丧失, 严重影响了湖泊的生态效益和经济效益。因此开展该区域水生植物多样性的调查、监测与保护日趋重要, 但到目前为止有关洞庭湖区水生植物多样性的研究少见。地处洞庭湖区华容县的东湖、益阳市的大通湖和岳阳市市郊的南湖(以下简称东湖、大通湖和南湖), 在当地的生态、经济和生活中起着重要作用, 但 30 余年来三个湖泊水生植物受到了极为严重的破坏, 致使湖泊水体生态系统严重退化。本研究选取所受干扰程度各不相同的东湖、大通湖和南湖进行研究, 以探讨洞庭湖区湖泊水生植物多样性丧失的现状及与其所受人为干扰的关系, 同时为三个湖泊水生植物多样性的监测与保护提供信息, 为其水生植物多样性及退化水生态系统的恢复提供科学依据。

## 1. 研究地点的基本背景资料

3 个湖泊的基本背景资料见表 1, 其基本气候条件相似; 2000 年所受人为干扰情况见表 2, 从表 2 可知, 东湖所受人为干扰强度最小, 南湖最大。

收稿日期: 2000-11-21; 修订日期: 2001-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(项目编号: 39893360; 30170177) 资助

作者简介: 简永兴(1964—), 男, 湖南省新化县人; 副教授, 博士; 主要从事生物多样性和保护生物学方面的研究

通讯作者: 陈家宽, 现在复旦大学生物多样性研究所工作, 上海 200433

表 1 东湖、大通湖与南湖基本背景资料

Tab. 1 Basic parameters of Lake Donghu, Datonghu and Nanh u

|                              | 东湖 Lake Donghu   | 大通湖 Lake Datonghu | 南湖 Lake Nanh u   |
|------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 地理坐标 Geographical coordinate | N29°24' E112°39' | N29°11' E112°31'  | N29°29' E113°08' |
| 中水位时面积( km <sup>2</sup> )    | 23.2             | 114.2             | 12.0             |
| 平均水深( m)                     | 4.0              | 2.13              | 2.73             |
| 年平均气温( )                     | 16.7             | 16.6              | 17.1             |
| 年日照时数( h/y)                  | 1776             | 1769              | 1792             |
| 年降水量( mm/y)                  | 1206             | 1238              | 987              |
| 无霜期天数( d/y)                  | 264              | 266               | 277              |

表 2 2000 年东湖、大通湖与南湖所受人为干扰状况比较

Tab. 2 Comparison of human disturbance on Lake Donghu, Datonghu and Nanh u in 2000

| 湖泊 Lake              | 放养量<br>Stocking rate (10 <sup>3</sup> kg/km <sup>2</sup> ) | 化肥投放量<br>Fertilizer input (10 <sup>3</sup> kg/km <sup>2</sup> ) | 污水排入情况<br>Sewage loading | 透明度<br>Transparency (m) |
|----------------------|--|---|--------------------------|-------------------------|
| 东湖<br>Lake Donghu    | 草食鱼 1.03, 其他 9.40  | 84.8  | 无                        | 1.02                    |
| 大通湖<br>Lake Datonghu | 草食鱼 0.31, 其他 11.61   | 96.5  | 无                        | 0.64                    |
| 南湖<br>Lake Nanh u    | 草食鱼 0.26, 其他 12.83   | 107.2   | 生活污水和工厂废水                | 0.51                    |

## 2 研究方法

**2.1 水生植物物种多样性研究** 从 1999 年 7 月—2000 年 9 月, 逐季在以上 3 个湖泊进行调查, 采集水生植物标本, 鉴别种类<sup>[1—3]</sup>, 并记录各种类的相对数量。调查区域包括与该湖泊毗邻的沿岸小水体, 水生植物的范畴按 Cook 的水生植物概念<sup>[4]</sup>, 相对数量采用布朗-布朗喀(Braun-Blanquet)的多度等级划分标准<sup>[5]</sup>。

**2.2 水生植物群落多样性研究** 采用断面法: 即合理设置采集断面, 各断面均匀布置采样点, 各湖设置的采集断面数(及采集点数)分别为 8(48)、8(103) 和 14(58) (图 1); 此外,

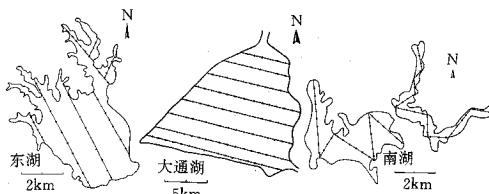


图 1 东湖、大通湖与南湖采集断面图(1999—2000 年)

Fig. 1 The sketches of sampling points and transects in Lake Donghu, Datonghu and Nanh u

根据需要增设若干断面。对于浮水植物群落和沉水植物群落, 在每一采样点用样方面积为  $0.32\text{m} \times 0.52\text{m}$  的加重带网铁夹, 于方圆  $500\text{m}^2$  的范围内随机采草 6 次, 将样方内的植株连根拔起, 鉴别种类, 并称量样方内所有植株的总生物量(鲜重, 下同); 而对于湿生植物群落和挺水植物群落, 在每一采样点于方圆  $500\text{m}^2$  的范围内随机设置 6 个  $2\text{m} \times 2\text{m}$  的样方, 鉴别种类并称量各种植物地上部分的总生物量。用 12XL 型 GPS 定位以确保定点多次调查。结合 1:50 000 的湖泊地形图与野外采集调查坐标, 描绘水生植被图, 然后使用地理信息系统软件求算各群丛的分布面积: 首先使用绘图软件 Coreldraw 将所得植被图矢量化, 并勾绘群丛边界线条 在 GIS 软件 ARC/INFO 的支持下进行图形编辑(包括图斑封闭与改错) 在 GIS 软件 ARC/INFO 的支持下建立拓扑关系, 生成 Pat 表 在 Pat 表中量算各类型群丛斑块所占该植被图的百分比 结合中水位时的湖泊面积求算各群丛的实际分布面积。群丛的命名采用优势种原则, 同一层的优势种用“+”按其在群落中相对重要值从大到小的顺序连接, 不同层间的优势种用“—”连接。此外各群丛各设 6 个  $2\text{m} \times 2\text{m}$  的样方, 计数样方内各种植物的个体数(克隆繁殖的种类按无性系小株计算个体数目), 以研究各群丛多样性指数, 同时计算 Simpson 多样性指数和 Shannon-Wiener 多样性指数, 以便相互验证, 其计算公式分别为  $D = 1 - \sum_{i=1}^{n_s} P_i^{2[6,7]}$ ,  $H = 3.3219(\lg N - \sum_{i=1}^{n_s} \lg n_i/N)^{[6,8,9]}$ , 式中  $P_i$  是第  $i$  物种第一次被抽中的概率( $P_i = n_i/N$ ),  $n_i$  是样方内第  $i$  物种的个体数目,  $N$  是样方内全部物种个体数。

### 3 研究结果

#### 3.1 物种多样性

结果表明, 1999—2000 年东湖、大通湖和南湖各分布有广义水生植物 61 种、56 种和 32 种, 其分别隶属于 29 科 43 属、26 科 39 属和 20 科 27 属; 以莎草科的种数最多, 3 个湖泊分别分布有 10 种、9 种、2 种, 其次是禾本科, 分别为 8 种、8 种和 6 种; 此外, 3 个湖泊的毗邻小水体中尚各分布有水生植物 22 种、28 种和 10 种。各种类中多度等级最大的是密齿苦草、野菱、菹草、浮萍和紫萍, 在东湖除野菱的多度等级为 4 外, 其余 4 种均为 5; 在大通湖全为 5; 而在南湖, 5 个种的多度等级分别为 4、2、4、3、5。可见 3 个湖泊水生植物物种多样性丰富程度的现状是: 东湖> 大通湖> 南湖。

#### 3.2 群落多样性

2000 年, 东湖、大通湖与南湖各分布有水生植物群丛类型 8 个、6 个和 4 个, 主要为浮水植被和沉水植被; 东湖的水生植被沿湖泊四周浅水域分布, 大通湖的植被集中分布于该湖西部, 而在南湖水生植被仅见于少数几个湖汊; 3 个湖泊水生植被覆盖率分别为 26.17%、10.60% 和 9.99%, 全湖单位面积生物量分别是  $717.08\text{g}/\text{m}^2$ 、 $206.34\text{g}/\text{m}^2$  和  $286.87\text{g}/\text{m}^2$ (鲜重)。同一群丛多样性指数 D 与 H 的大小相呼应, 表明二者均适应于水生植物群落多样性的度量。野菱+菱群丛、密齿苦草群丛和菹草群丛在 3 个湖泊均有分布, 三群丛的物种组成数目均以东湖最多、南湖最少(表 3), 其多样性指数 D 和 H 也以东湖最高、南湖最低(表 4)。表 4 中数据调查的时间分别是: 蕹草群丛为 2000 年 4 月下旬, 其余均为 2000 年 8 月中旬。从表 3 和表 4 可知, 3 个湖泊群落多样性丰富程度的情况是: 东

湖> 大通湖> 南湖。

表 3 东湖、大通湖与南湖水生植物群丛的物种组成数目(2000 年)

Tab. 3 Species number of associations in the three lakes in 2000

| 群丛类型 Association type  | 东湖 Lake Donghu | 大通湖 Lake Datonghu | 南湖 Lake Nanhu |
|--|----------------|-------------------|---------------|
| 芦苇群丛 <i>Phragmites communis</i> Ass.   | —              | 4                 | —             |
| 荻群丛 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> Ass.  | 5              | 4                 | —             |
| 菰群丛 <i>Zizania latifolia</i> Ass.  | 8              | —                 | —             |
| 莲群丛 <i>Nelumbo nucifera</i> Ass.   | 6              | —                 | —             |
| 野菱+ 菱群丛 <i>Tropha incisa</i> + <i>Tropha bispinosa</i> Ass.                            | 6              | 6                 | 4             |
| 紫萍群丛 <i>Spirodela polyrhiza</i> Ass.   | —              | —                 | 3             |
| 槐叶萍+ 紫萍群丛 <i>Salvinia natans</i> + <i>Spirodela polyrhiza</i> Ass.                     | 6              | 4                 | —             |
| 菹草群丛 <i>Potamogeton crispus</i> Ass.   | 3              | 2                 | 2             |
| 密齿苦草+ 穗花狐尾藻群丛 <i>Vallisneria denseserrulata</i><br>+ <i>Myriophyllum spicatum</i> Ass. | 4              | —                 | —             |
| 密齿苦草群丛 <i>Vallisneria denseserrulata</i> Ass.  | 4              | 3                 | 2             |

表 4 东湖、大通湖与南湖水生植物群落多样性比较(2000 年)

Tab. 4 Comparison of community diversity of aquatic plants in Lake Donghu, Datong hu and Nanhу (2000)

| 群从类型<br>Association<br>type | 东湖 Lake Donghu |      |                  |      |       | 大通湖 Lake Datong |        |                  |      |       | 南湖 Lake Nanhu |       |                  |      |      |
|-----------------------------|----------------|------|------------------|------|-------|-----------------|--------|------------------|------|-------|---------------|-------|------------------|------|------|
|                             | A              | P    | B<br>(Mean ± SE) | D    | H     | A               | P      | B<br>(Mean ± SE) | D    | H     | A             | P     | B<br>(Mean ± SE) | D    | H    |
| —                           | —              | —    | —                | —    | —     | 0.019           | 0.02   | 5784             | 0.45 | 1.38  | —             | —     | —                | —    | —    |
| 0.007                       | 0.03           | 7613 | 0.08             | 0.25 | 0.009 | 0.01            | 6631   | 0.34             | 1.23 | —     | —             | —     | —                | —    | —    |
| 0.164                       | 0.71           | 8903 | 0.50             | 1.54 | —     | —               | —      | —                | —    | —     | —             | —     | —                | —    | —    |
| 0.182                       | 0.79           | 1569 | 0.60             | 1.77 | —     | —               | —      | —                | —    | —     | —             | —     | —                | —    | —    |
| 0.829                       | 3.58           | 1971 | 0.54             | 1.56 | 5.120 | 4.48            | 199421 | 0.49             | 0.39 | 0.282 | 2.35          | 1588  | 0.33             | 0.83 | —    |
| —                           | —              | —    | —                | —    | —     | —               | —      | 8                | 0.19 | 0.51  | —             | 0.178 | 1.49             | 943  | 0.12 |
| —                           | —              | —    | —                | —    | —     | —               | —      | —                | —    | —     | —             | 165   | 0.01             | 0.01 | —    |

续表 4

| 群丛类型<br>Association type | 东湖 Lake Donghu |      |                  |      |       | 大通湖 Lake Datong |      |                  |      |       | 南湖 Lake Nanhu |      |                  |       |   |
|--------------------------|----------------|------|------------------|------|-------|-----------------|------|------------------|------|-------|---------------|------|------------------|-------|---|
|                          | A              | P    | B<br>(Mean ± SE) | D    | H     | A               | P    | B<br>(Mean ± SE) | D    | H     | A             | P    | B<br>(Mean ± SE) | D     | H |
| 0.131                    | 0.56           | 2420 | 0.09             | 0.33 | 1.259 | 1.10            | 2937 | 0.16             | 0.55 | —     | —             | —    | —                | —     | — |
|                          |                | 298  | 0.02             | 0.07 |       |                 | 415  | 0.09             | 0.19 |       |               |      |                  |       |   |
| 1.369                    | 5.90           | 1731 | 0.10             | 0.32 | 1.867 | 1.63            | 1544 | 0.11             | 0.32 | 0.395 | 3.29          | 1616 | 0.26             | 0.76  |   |
|                          |                | 274  | 0.07             | 0.18 |       |                 | 336  | 0.07             | 0.11 |       |               | 203  | 0.01             | 0.02  |   |
| 0.663                    | 2.86           | 2657 | 0.25             | 0.69 | —     | —               | —    | —                | —    | —     | —             | —    | —                | —     | — |
|                          |                | 362  | 0.05             | 0.09 |       |                 |      |                  |      |       |               |      |                  |       |   |
| 2.724                    | 11.74          | 3214 | 0.16             | 0.40 | 3.842 | 3.36            | 1719 | 0.06             | 0.22 | 0.343 | 2.85          | 1975 | 0.01             | 0.03  |   |
|                          |                | 281  | 0.09             | 0.10 |       |                 | 848  | 0.01             | 0.02 |       |               | 369  | 0.001            | 0.004 |   |

注(Note): — : 群丛类型见表 3(Seeing Tab. 3 for association names of —) A: 分布面积(Association area, km<sup>2</sup>) ; P: 分布面积占湖泊面积的百分比(%) (Percentage of association area); B: 单位面积生物量(鲜重) (Biomass, g/m<sup>2</sup>, Fresh weight); D: Simpson 指数(Simpson Index); H: Shannon-Wiener 指数(Shannon-Wiener Index)。

### 3.3 东湖、大通湖和南湖水生植物多样性的长期变化

据东湖渔场 1972 年、大通湖渔场 1971 年与南湖渔场 1973 年的内部资料, 结合本次调查结果, 70 年代初至 2000 年间, 三个湖泊水生植被覆盖率分别下降了 33.83%、59.40% 和 45.00%, 消失的狭义水生植物分别为 3 种、9 种和 13 种, 消失的群丛类型分别是 2 个、5 个、5 个(表 5), 表中的狭义水生植物种类系按 Den Hartog 和 Segal 的定义<sup>[10]</sup>进行划分。

表 5 70 年代初至 2000 年 3 个湖泊水生植物多样性的变化

Tab. 5 Changes of aquatic plant diversity in the three lakes from the beginning of 70s to 2000

| 湖泊 Lake      | 水生植被覆盖率(%) |        | 狭义水生植物种数 |        | 群丛类型数 Number of the association types |        |
|--------------|------------|--------|----------|--------|---------------------------------------|--------|
|              | 70年代初      | 2000 年 | 70 年代初   | 2000 年 | 70 年代初                                | 2000 年 |
| 东湖 Donghu    | 60         | 26.17  | 26       | 23     | 10                                    | 8      |
| 大通湖 Datonghu | 70         | 10.60  | 28       | 19     | 11                                    | 6      |
| 南湖 Nanhu     | 55         | 9.99   | 24       | 11     | 9                                     | 4      |

### 4. 讨论

#### 4.1 东湖、大通湖和南湖水生植物多样性的长期变化及其与所受干扰的关系

30 年来, 由于大量施肥和过度养殖的影响(表 2), 3 个湖泊水生植物多样性均受到了极大的破坏: 水生植被覆盖率极大地下降、群丛类型减少、种类消失、生物量降低。3 个湖泊中以东湖水生植物多样性丧失的程度较小, 从 90 年代初至 1995 年, 其水生植被覆盖率不但未下降, 反而从 30% 上升至 45%, 这是由于此期间该湖实行合理养殖、同时种植水草

的结果<sup>[11]</sup>, 但因未能继续进行保护, 致使 2000 年覆盖率又下降至 26.17% (表 5), 同时水生植物睡莲已从东湖消失; 大通湖是洞庭湖区最大的内湖, 30 年来覆盖率从 70 年代初的 70% 下降至 2000 年的 10.6%, 同时 9 种狭义水生植物和 5 个水生植物群丛消失, 多样性丧失的程度较东湖大, 这是由于其所受干扰强度较东湖大所致(表 2); 南湖位于岳阳市市郊, 其不但化肥投放量和放养量在 3 个湖泊中最大, 且受污水和频繁娱乐活动的影响, 多样性丧失的程度位于 3 个湖泊之首, 30 年来有 13 种狭义水生植物和 5 个群丛类型从南湖消失; 可见, 3 个湖泊水生植物多样性丧失的程度与其所受干扰强度呈正相关(表 5)。值得注意的是, 从 3 个湖泊形状特征(图 1)可以推断, 南湖的分维数较大通湖的大得多, 其水生植物多样性在很大程度上受这种湖湾效应的保护, 否则其水生植物多样性丧失的程度会更大。事实上, 不少位于市郊的、分维数小的湖泊, 在强烈的人为干扰下, 水生植物多样性已彻底消失(如武穴市的武山湖)。

#### 4.2 密齿苦草、菹草和野菱对干扰的适应机制

干扰分为人为干扰和自然干扰, 湖泊水生植物多样性所受人为干扰日益加剧, 耙草、绞草、除草、过度养殖、过度施肥、废水污染等, 严重阻碍着水生植物的繁衍, 使得水生植物分布区明显缩小、生物量显著下降、不少种类局部灭绝<sup>[12]</sup>。在东湖、大通湖和南湖, 主要的人为干扰是过度养殖和化肥投放量的逐年增加(湖水透明度严重下降), 加上频繁的洪水爆发(自然干扰), 致使许多水生植物种类早已灭绝, 但密齿苦草(*Vallisneria densiflora*)、菹草(*Potamogeton crispus*) 和野菱(*Trapa incisa*) 却在 3 个湖泊中作为主要的优势种得以保留; 笔者 1998—2000 年对两湖平原其他 32 个湖泊的水生植物多样性进行了调查, 结果亦表明它们出现的频率明显大于其他沉水植物和浮水植物, 对干扰的适应能力较其他多种水生植物强。可能的原因如下: 不少水生植物只能产生少量的种子, 且种子的萌发率往往很低, 但密齿苦草的种子极多, 且种子萌发率很高<sup>[13]</sup>, 有利于其种群扩散和种群密度的提高; 此外, 密齿苦草的地下根状茎发达, 其断枝繁殖能力强, 且根状茎于秋末能产生多数地下越冬块茎, 块茎于来年春末夏初萌发出幼苗, 这使得密齿苦草在因鱼类啃食、透明度过低或洪水爆发的影响下无法开花结实时, 亦可进行繁衍。菹草对干扰的适应能力仅次于密齿苦草, 这是因为菹草为典型的秋季萌发、春季生长型沉水植物, 正好躲过了夏季强烈的啃食压力; 另一方面, 蕃草亦具有发达的、繁殖能力强的地下根状茎, 地上茎繁殖力强、尚能产生大量石芽<sup>[14]</sup>, 石芽一方面自然萌发率高达 95% 以上, 且具有萌发多个幼苗的潜力, 使得萌发出的第一幼苗一旦被啃食, 其能继续生长出新的植株(待发表), 加之石芽的鳞片上具有很多小刺, 能有效地避免鱼类等动物取食; 此外, 蕃草耐受污染的能力较强<sup>[15]</sup>, 在较严重的富营养化水体中生长良好, 因此菹草能作为以上 3 个湖泊的主要优势种之一得以保留, 虽然其种子在自然状况下萌发率极低<sup>[16, 17]</sup>。野菱适应干扰的机制表现在: 一方面其种子包于坚硬、具有刺的果皮内, 使各种动物无法取食, 成熟种子发芽率高达 100%, 且湖泊底质中的种子发芽力可保持数年, 致使人工割除难以除尽(野菱非鱼饲料, 其遮挡太阳光, 故在不少湖泊施以人工割除); 另一方面, 野菱的茎在一定程度上能随水位的上升而伸长, 以保证植株不致因水位的升高而被淹死。由于密齿苦草、菹草和野菱具有如上种种适应机制, 一旦东湖、大通湖和南湖的干扰压力得以减小, 它们便能在三个湖泊迅速蔓延。

### 4.3 大通湖与南湖水生植物多样性及其退化生态系统恢复途径的探讨

开展退化生态系统的恢复正日益受到人们的重视, 1996 年美国生态学年会将恢复生态学作为应用生态学的五项研究内容之一<sup>[18]</sup>。由于多年的化肥养鱼, 大通湖与南湖已由 70 年代初的草型湖转变为藻型湖, 水生态系统严重退化, 原有的许多野生水产品种早已消失, 特种养殖无法开展, 湖泊经济效益和生态效益低下。因此, 恢复已迫在眉睫, 重要的是如何在不显著影响养殖效益的同时使其水生植物多样性得以恢复。鉴于大通湖与南湖的实际情况, 笔者认为, 下列途径可供参考。第一阶段: 减少化肥投放量(降低富营养化的程度、增加湖水透明度); 第二阶段: 引种沉水植物先锋物种(苦草属种类和菹草等); 第三阶段: 引种其他沉水植物种类, 优化沉水植物群落结构(轮叶黑藻、穗花狐尾藻、金鱼藻等), 同时适量放养蟹类; 第四阶段: 引种浮水植物及挺水植物种类, 进一步丰富植物多样性(莲、芡实、菱等), 同时引入其他名特优水产品种; 第五阶段: 多样性和生态系统基本得以恢复, 但须适度养殖、定时监测。最大的困难存在于第一阶段, 因降低化肥投放量会暂时降低非草食性鱼类的产量; 第二阶段易于成功, 因苦草和菹草的繁殖体多, 且易于搬运、成活率高, 加之大通湖和南湖目前草食性鱼类少, 故引入的繁殖体易于成活与繁衍, 不久便能为其他沉水植物种类提供较多生态位; 第三阶段适当放养蟹类的目的是为了提高湖泊的经济效益; 第四阶段是为了进一步丰富水生植物多样性, 同时增加生态系统的视觉与美学享受, 而引入名特优水产品种一方面可调整生态系统内部的动物种类结构, 另一方面能发展名特优养殖以提高湖泊经济效益; 第五阶段必须注意多样性和生态系统的维持。总的说来, 恢复的关键在于解决好施肥量与透明度的关系、鱼与草的关系。

### 参考文献:

- [1] 颜素珠. 中国水生高等植物图说[M]. 北京: 科学出版社, 1983
- [2] 中国科学院武汉植物研究所. 中国水生维管束植物图谱[M]. 武汉: 湖北人民出版社, 1983
- [3] 孙祥钟. 中国植物志(第八卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [4] Cook C D K. Aquatic Plant Book[M]. Netherlands: SPB Academic Publishing, 1990
- [5] 云南大学生物系主编. 植物生态学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1982, 188
- [6] 钱迎倩, 马克平, 韩兴国. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994, 148—152
- [7] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988
- [8] 王伯荪主编. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987
- [9] Krebs C. Ecology: The Experimental Analysis of Distributions and Abundance(2nd ed)[M]. New York: Harper & Row Publishers, 1978
- [10] Den Hartog C Segal S. A new classification of the water-plant communities[J]. *Acta Bot. Neerl.*, 1964, **13**: 367—393
- [11] 桑明强, 杨品红. 东湖生态渔业技术研究[J]. 内陆水产, 1995, 增刊: 7—18
- [12] 林业部野生动物与森林植物保护司. 湿地保护与合理利用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996, 80—85
- [13] 由文辉, 宋永昌. 淀山湖 3 种沉水植物的种子萌发生态[J]. 应用生态学报, 1995, **6**(2): 196—200
- [14] 陈洪达. 菹草的生活史、生物量和断枝的无性繁殖[J]. 水生生物学报, 1985, **9**(1): 32—39
- [15] 金送笛等. 菹草对水中氮、磷的吸收及若干影响因素[J]. 生态学报, 1994, **14**(2): 168—173
- [16] Sastroutomo S S, et al. The importance of turions in the propagation of pondweed (*Potamogeton crispus* L.) [J]. *Ecol. Rev.*, 1979, **19**: 75—88
- [17] Sastroutomo S S. Environmental control of turion formation in curly pondweed (*Potamogeton crispus*) [J]. *Physi-*

ol. Plant., 1980, 49: 261– 264

[18] 彭少麟. 恢复生态学与热带雨林的恢复[J]. 世界科技研究与发展, 1997, 19(3): 58– 61

## A COMPARATIVE STUDY ON AQUATIC PLANT DIVERSITY AND ITS LONG-TERM CHANGES IN THE THREE LAKES OF DONGTINGHU DISTRICT IN CHINA

JIA N Yong-Xing, WANG Jian-Bo, HE Guo-Qing and CHEN Jia-Kuan

(College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072)

**Abstract:** The aquatic plant diversity and its long-term changes in the three lakes of Dongtinghu District in China were comparatively studied in this paper. The adaptive mechanisms of *Trapa incisa*, *Vallisneria denser-rulata* and *Potamogeton crispus* to human disturbance were also investigated. Besides, the approaches to restore the aquatic plant diversity and the degraded aquatic ecosystems of Lake Datonghu and Nanhu were suggested. The main results are: (1) During 1999—2000, 61, 56 and 32 aquatic plant species were recorded in Lake Donghu, Datonghu and Nanhu, respectively. And 8 and 6 aquatic plant associations were identified in Lake Donghu and Datonghu, respectively, whereas only 4 associations were found in Lake Nanhu. The respective aquatic vegetation coverage of the three lakes were 26.17%, 10.60% and 9.99%. (2) Compared with the studies in the early 1970s, 3, 9 and 13 aquatic plant species, 2, 5 and 5 aquatic plant associations were found to have disappeared from Lake Donghu, Datonghu and Nanhu, respectively. (3) The results indicated that the aquatic plant diversity in the three lakes is in the order of Lake Donghu> Datonghu> Nanhu at present, and the decrease of aquatic plant diversity in the three lakes were positively related to the intensity of human disturbance.

**Key words:** Lake Donghu; Lake Datonghu; Lake Nanhu; Aquatic plant; Diversity; Long-term changes