

湖北省海口湖、太白湖与武山湖水生植物多样性的比较研究

简永兴¹, 王建波^{1*}, 何国庆¹, 李 今², 陈家宽^{3*}

(1. 武汉大学生命科学院, 武汉 430072; 2. 湖北师范学院生物系, 湖北黄石 435000; 3. 复旦大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室研究所, 上海 200433)

摘要:为了探讨人为干扰与淡水湖泊水生植物多样性的关系,比较研究了湖北省海口湖、太白湖与武山湖水生植物多样性的现状和近 20a 来三湖泊水生植物多样性的变化,讨论了密齿苦草对太白湖人为干扰的适应机制,探讨了武山湖水生植物多样性及其退化水生生态系统恢复的可能途径。主要结论是:(1)海口湖、太白湖、武山湖现各分布有水生植物 57 种、35 种和 11 种,分别隶属于 28 科 42 属、18 科 30 属和 6 科 9 属,近 20a 来三湖泊分别有 1 种、9 种和 29 种水生植物消失。(2)1999~2000 年三湖泊各分布有水生植物群丛类型 14 个、6 个和 0 个;全湖植被覆盖率分别是 96.18%、76.17% 和 0%;全湖平均单位面积生物量分别为 2896g/m²、177g/m² 和 0g/m²(鲜重),近 20a 来其分别下降了 12.1%、88.3% 和 100%;武山湖水生植被已完全消失。(3)所有群丛中,以海口湖的“野菱+菱群丛”(*Trapa incisa* + *Trapa bispinosa* Ass.) 的群落物种多样性指数最高;密齿苦草群丛(*Vallisneria denseserrulata* Ass.), 菹草群丛(*Potamogeton crispus* Ass.) 和“野菱+菱群丛”为海口湖与太白湖所共有,三者的多样性指数均是海口湖显著高于太白湖。水生植物多样性丰富程度的现状是:海口湖>太白湖>武山湖,多样性丧失的程度与其所受干扰程度成正相关。(4)密齿苦草对太白湖人为干扰的适应机制是其具有繁殖能力强的地下根状茎和多数地下越冬块茎。(5)武山湖水生植物多样性及该湖退化水生生态系统恢复的关键是消除工厂废水污染的同时,处理好施肥量与透明度的关系、鱼与草的关系。

关键词:海口湖; 太白湖; 武山湖; 人为干扰; 水生植物; 多样性

A comparative study of aquatic plant diversity of Haikou, Taibai and Wushan Lake in Hubei Province of China

JIAN Yong-Xing¹, WANG Jian-Bo^{1*}, HE Guo Qing¹, LI Jin², CHEN Jia-Kuan^{3*} (1. College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Hubei Normal College, Huangshi, Hubei 435000, China; 3. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering Fudan University, Shanghai 200433, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1815~1824.

Abstract: In order to understand the impact of human disturbance on aquatic plant diversity of freshwater lake ecosystems, a comparative study was carried out to examine the aquatic plant diversity of Haikou, Taibai and Wushan Lake in Hubei Province of China that experienced different disturbance intensity. The changes of the diversity in the three lakes over about the past 20 years and the mechanisms of species *Vallisneria denseserrulata* for adapting to frequent human disturbance in Lake Taibai were also investigated in this paper. At the same time the suggestions of restoring the aquatic plant diversity and the degraded aquatic ecosystem of Lake Wushan were proposed. The main results are given as follows:

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39893360 和 30170177)

* 通讯联系人

收稿日期:2000-11-08; **修订日期:**2001-05-10

作者简介:简永兴(1964~),男,湖南省新化县人,博士,副教授。主要从事生物多样性、保护生物学和生态学研究。

本工作得到武汉大学陈宝联、阳新县水产局费久兴、海口湖鱼场刘元坤、费久文、费世翔,太白湖渔场兰加全,武山湖渔场饶胜明的大力帮助,在此表示感谢。

(1) 57, 35 and 11 aquatic plant species were recorded in 1999~2000 in Lake Haikou, Taibai and Wushan, respectively. However, compared with the data obtained in early 1980's, 1 species disappeared from Lake Haikou, while 9 and 29 species disappeared from Lake Taibai and Wushan, respectively.

(2) 11 and 6 aquatic plant associations were identified in Lake Haikou and Taibai, respectively, whereas no associations were found in Lake Wushan. Aquatic vegetation coverage of Haikou, Taibai and Wushan Lake were 96.18%, 76.17% and 0%, respectively and their respective biomass (fresh weight) were 2896g/m², 177g/m² and 0g/m², and it decreased 12.1%, 88.3%, 100% respectively over about the past 20 years. The flourishing aquatic vegetation of Wushan Lake during the beginning of the 80's had wholly disappeared.

(3) Of the all associations, *Trapa incisa* + *Trapa bispinosa* Ass. in Lake Haikou had the greatest diversity indices, measured by Simposn Index and Shannon-Wiener Index. *Vallisneria denseserrulata* Ass., *Potamogeton crispus* Ass. and *Trapa incisa* + *Trapa bispinosa* Ass. in Lake Haikou had much higher diversity indices than those in Lake Taibai.

The results indicated that the increasing order of aquatic plant diversity of the three lakes is Lake Haikou > Taibai > Wushan at present, and aquatic plant diversity in the three lakes was negatively related with the human disturbance intensity.

Key words: aquatic plant; diversity; human disturbance; Haikou Lake; Taibai Lake; Wushan Lake

文章编号:1000-0933(2001)11 1815-10 中图分类号:Q948 文献标识码:A

淡水湖泊属天然湿地,其生物多样性丰富。水生维管束植物是湖泊水体生态系统的重要组成部分,其一方面为淡水湖泊的初级生产者,另一方面也是湖泊水体的净化者,具有保障水产资源品种、质量和维持湖泊生态系统良性运转的功能。但因人为干扰日益加剧,造成水生植物多样性加速丧失,既严重影响了淡水湖泊水产资源的品质而阻碍了水产业的发展,又造成湖泊生态环境不断恶化而威胁到周围居民的生活。因此,进一步开展湖泊水生植物多样性调查与监测、保护淡水湖泊水生植物多样性迫在眉睫。湖北省阳新县的海口湖、武穴市的太白湖和武山湖均属中型湖泊,均为国营渔场,专业养殖均已历时40余年,3个湖泊原本具相似的水生植被,但近20a来,由于所受人为干扰程度的不同,其多样性的现状差别很大,湖泊生态效益和经济效益差别悬殊。其中武山湖水生植被完全消失,进而使得水产品种单一,品质严重下降,特种养殖无法开展,水质恶化,使众多饮用武山湖水的居民不得不另辟它途。因此保护湖泊水生植物多样性的呼声日益强烈,但到目前为止,有关上述3个湖泊水生植物多样性的情况尚未见报道。本文旨在通过对上述3个湖泊水生植物多样性进行比较研究,探讨干扰强度与湖泊水生植物多样性的关系,为湖泊水生植物多样性的监测与保护积累资料,为其水产养殖业的可持续发展提供必要的信息。

1 研究地点的自然概况

海口湖、太白湖与武山湖分别位于湖北省阳新县东北部、武穴市东部和武穴市北郊,均为浅水型湖泊,湖盆平坦,淤泥较厚,土壤肥沃;三湖泊属亚热带湿润季风气候,四季交替明显,基本气候相似。其背景资料见表1。

2 研究方法

2.1 水化学因子的检测方法

水样的采集—选取无风的上午,用改良有机玻璃北原式采样器,分上、中、下3层进行采集并等量混匀,水样采集点与水生植被采集点一致(图1);同一水样分为若干份,根据要求分别进行适当的前处理(加入少量浓H₂SO₄或用玻璃纤维过滤器过滤),然后低温保存,带回实验室用于各种水化学因子的检测。透明度用黑白盘法(现场测定);pH为pH计法(现场测定);电导率为电导仪法;总氮(TN):过硫酸钾氧化自动比色法;总磷(TP)为硫酸硝化钼蓝比色法;化学需氧量(COD)为酸性高锰酸钾滴定法;H₂SiO₃为砷钼蓝比色法;Mg²⁺、Ca²⁺、SO₄²⁻、总硬度为EDTA-2Na₂滴定法;PO₄³⁻为磷钼日蓝比色法;NH₄⁺为纳氏比色法;

NO_3^- 为紫外分光光度法; NO_2^- 为 α 萘胺比色法; Cl^- 为硝酸银滴定法; 总碱度、 HCO_3^- 为酸标准溶液滴定法; K^+ 、 Na^+ 为原子发射光谱法^[1]。

表 1 海口湖、太白湖与武山湖基本背景资料

Table 1 Natural conditions of Haikou, Taibai and Wushan in Hubei Province of China

	海口湖 Haikou Lake	太白湖 Taibai Lake	武山湖 Wushan Lake
地理坐标 Geographical coordinate	N30°02'01.88"~03'55.08" E115°12'31.96"~16'20.68"	N29°56'01.62"~30°00'56.70" E115°46'03.76"~50'28.80"	N29°53'14.42"~56'32.64" E115°33'58.65"~36'11.87"
中水位时面积 (km^2)	7.0	25.1	16.1
平均水深(m)	1.32	2.80	2.16
平均气温, 极端最高和最低气温 ($^{\circ}\text{C}$)	17.0, 40.3, -11.0	16.8, 39.5, -16.0	16.8, 39.8, -13.8
平均年降水量(mm/y)	1407	1272.5	1476
无霜期天数(d/y)	261	262	262
平均日照时数(h/y)	1702.8	1738.5	1738.5

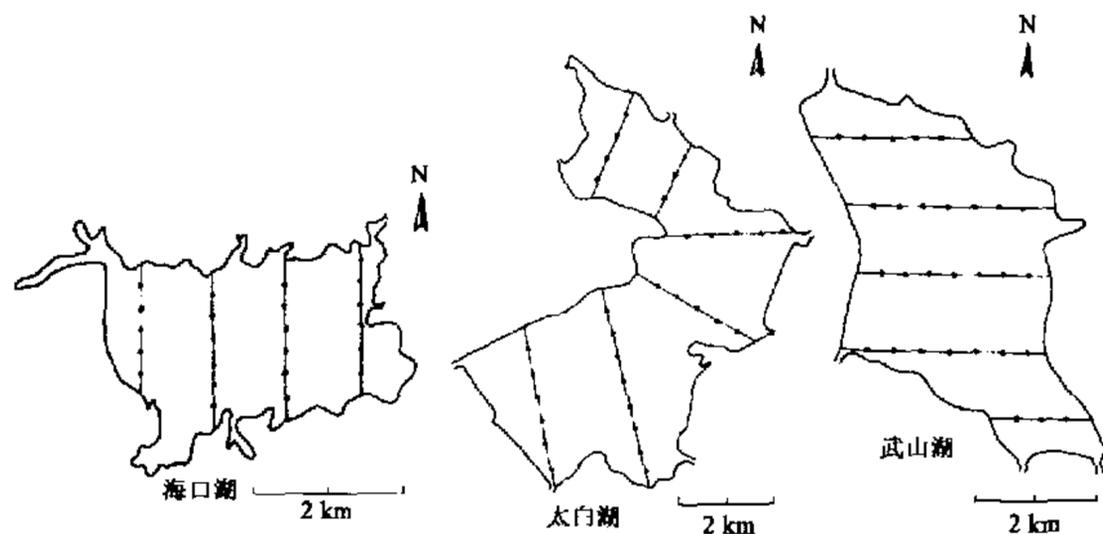


图 1 海口湖、太白湖和武山湖采集断面及采集点分布图(1999~2000)

Fig. 1 Sketches of transects and spots for collecting in Lake Haikou, Taibai and Wushan(1999~2000)

2.2 水生植物物种多样性研究方法

按 Cook 的水生植物概念^[2], 从 1999 年 7 月~2000 年 9 月, 逐月在以上 3 个湖泊采集水生植物标本, 鉴别种类, 并记录各种类的相对数量。采集调查区域包括与湖泊毗邻的沿岸小水体, 各种类的相对数量采用布朗-布朗喀(Braun-Blanquet)的多度等级划分标准^[4]。

2.3 水生植物群落多样性研究方法

2.3.1 群丛类型及生物量的调查

采用断面法, 各湖设置的断面和采集点的数目及其分布见图 1, 同时根据需要增设若干无规则断面以确定群落边界。对浮水植物群落和沉水植物群落, 在每一样点用样方面积为 $0.32\text{ m} \times 0.52\text{ m}$ 的加重带网铁夹, 于方围 500 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, 在每一样点于方围 500 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 GARMIN 12XL 型 GPS 定位以确保定点多次调查。

2.3.2 植被图的绘制及群丛分布面积的求算

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。为提高准确性, 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。

2.3.3 群落多样性指数的调查与计算 各群丛各设 6 个 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的样方以研究多样性指数(克隆繁殖的种类按无性系小株计算个体数),同时计算 Simpson 物种多样性指数和 Shannon Wincer 物种多样性指数,以便相互验证,其计算公式分别为 $D=1-\sum p_i^{1/n}$, $H=3.3219(\lg N-\sum n_i \lg n_i/N)^{-1}$, 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 水化学因子

检测结果表明,海口湖、太白湖与武山湖的 pH 值相差不大, NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 HCO_3^- 和 K^+ 的含量均以海口湖最底,武山湖最高;武山湖的化学耗氧量(COD)为太白湖的近 2 倍,为海口湖的 5 倍多;武山湖的总氮(TN)和总磷(TP)含量亦较太白湖的高,比海口湖的高得多。按水体富营养化的划分标准^[6],1999 年 10 月海口湖湖水处于中营养型、太白湖与武山湖处于极富营养型,武山湖处于严重的有机污染中(表 2)。

表 2 海口湖、太白湖与武山水化学因子检测结果(1999 年 10 月 6~8 日)

Table 2 The aquatic chemistry futures of Lake Haikou, Taibai and Wushan in Hubei Province of China(Oct. 6~8, 1999)

湖泊 Lake	透明度 (m)	pH	电导率 (us/cm)	NH_4^+ (mg/L)	COD (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	H_2SiO_3 (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)
海口湖 Haikou	1.02	6.3	186.3	0.068	3.09	30.21	2.26	6.77	0.0016	0.006
太白湖 Taibai	0.42	6.4	89.5	0.210	8.32	41.14	1.17	12.10	0.0011	0.103
武山湖 Wushan	0.28	6.6	131.7	0.312	17.71	57.25	0.93	16.33	0.0030	0.142
湖泊 Lake	Cl^-	Mg^{2+} (mg/L)	总碱度 (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	总硬度 (mg/L)	K^+ (mg/L)	Na^+ (mg/L)	总氮 TN (mg/L)	总磷 TP (mg/L)
海口湖 Haikou	9.40	9.20	23.62	13.16	12.66	30.16	1.93	18.74	0.87	0.012
太白湖 Taibai	8.77	5.33	17.14	17.23	7.56	55.21	2.82	6.65	4.87	0.403
武山湖 Wushan	11.21	7.21	38.20	18.75	13.13	29.83	3.37	21.91	6.11	0.586

3.2 物种多样性

海口湖、太白湖和武山湖分别分布有水生植物 57 种、35 种和 11 种,分别隶属于 28 科 42 属、18 科 30 属和 6 科 9 属,3 湖泊种数与面积的比值分别为 $8.14 \text{ 种}/\text{km}^2$ 、 $1.35 \text{ 种}/\text{km}^2$ 、 $0.68 \text{ 种}/\text{km}^2$ 。此外,3 个湖泊的毗邻小水体尚各分布有水生植物 32 种、51 种和 41 种;但依 Den Hartog 和 Segal 的水生植物概念(狭义)^[6],3 个湖泊水生植物种数分别只有 27 种、12 种和 0 种。海口湖有菹草、密齿苦草、穗花狐尾藻、菱和大茨藻 5 个主要优势种,太白湖只有密齿苦草和菹草 2 个主要优势种,而武山湖无优势种。值得注意的是 3 个湖泊种的相对个体数目(多度等级)各不相同,种类的多少顺序是:海口湖 > 太白湖 > 武山湖;3 个湖泊多度等级值之和分别是 114 加 6+、58 加 6+、10 加 5+。如果多度等级“+”以 0.5 计,则其多度等级值总和分别为 116、61 和 12.5。综上所述,3 个湖泊水生植物物种多样性大小的顺序是海口湖 > 太白湖 > 武山湖(表 3)。

3.3 群落多样性

海口湖 1999 年至 2000 年水生植被覆盖率为 96.18%,平均生物量为 $2896 \text{ g}/\text{m}^2$;可划分为 14 个群丛类型,主要为浮水植被和沉水植被。分布面积最大的是菹草群丛(占全湖面积的 22.58%),多样性指数值最高的是“野菱+菱群丛”($D=0.7047$, $H=2.0963$),以轮叶黑藻群丛的多样性指数值最小($D=0.1820$, H

表 3 海口湖、太白湖与武山湖水生植物物种多样性比较(1999~2006)

Table 3 Comparison of species diversity of aquatic plants in Haikou, Taibai and Wushan Lake

种名 Species name	生活型	海口湖	太白湖	武山湖	种名 Species name	生活型	海口湖	太白湖	武山湖
1 水蕨科 Ceratopteridaceae					黄花狸藻 <i>Utricularia aurea</i>	S	1	-	-
粗梗水蕨 <i>Ceratopteris pteridoides</i>	F	1*	1*		细叶狸藻 <i>U. minor</i>	S	1	+	
2 苹科 Marsileaceae					23 桔梗科 Campanulaceae				
苹 <i>Marsilea quadrifolia</i>	Fl	2	2	1*	半边莲 <i>Lobelia chinensis</i>	W	3	3*	2*
3 槐叶苹科 Salviniaceae					24 菊科 Compositae				
槐叶苹 <i>Salvinia natans</i>	F	3	3*	2*	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	W	2	2	+
1 满江红科 Azollaceae					25 香蒲科 Typhaceae				
满江红 <i>Azolla imbricata</i>	F	4	4	3*	水烛 <i>Typha angustifolia</i>	E	+	+	
5 蓼科 Polygonaceae					26 眼子菜科 Potamogetonaceae				
丛枝蓼 <i>Polygonum caespitosum</i>	W		-	+	渣草 <i>Potamogeton crispus</i>	S	5	2	1*
水蓼 <i>P. hydropteryx</i>	E	2	1	+	眼子菜 <i>P. distinctus</i>	Fl	2	1*	1*
小蓼 <i>P. minus</i>	W	1*	+	-	竹叶眼子菜 <i>P. malayanus</i>	S	1	+	-
早苗蓼 <i>P. lapathifolium</i>	E	-	-	+	27 茨藻科 Najadaceae				
红蓼 <i>P. orientale</i>	W	2*	1*	+	大茨藻 <i>Najas marina</i>	S	4	1	-
习见蓼 <i>P. plebeium</i>	W	1	1	1	小茨藻 <i>N. minor</i>	S	2	1*	1*
羊蹄 <i>Rumex japonicus</i>	W	1	1	+	28 泽泻科 Alismataceae				
齿果酸模 <i>R. Dentatus</i>	W	2	2	1	慈菇 <i>Sagittaria trifolia</i>	E	1*	1*	+
长刺酸模 <i>R. maritimus</i>	W	+	+	-	长瓣慈 <i>S. trifolia</i> var. <i>longiloba</i>	E	1*	1*	-
6 苋科 Amaranthaceae					矮慈菇 <i>S. pygmaea</i>	E	3	2*	1*
莲子草 <i>Alternanthera sessilis</i>	E	+		-	29 水鳖科 Hydrocharitaceae				
喜旱莲子草 <i>A. philoxeroides</i>	E	4	3	2	黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	S	2	-	
7 睡莲科 Nymphaeaceae					苦草 <i>Vallisneria spiralis</i>	S	4	2	-
莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	E	+	+	-	密齿苦草 <i>V. densiserrulata</i>	S	5	3	-
芡实 <i>Euryale ferox</i>	Fl	1			刺苦草 <i>V. spinulosa</i>	S	1		
8 金鱼藻科 Ceratophyllaceae					水鳖 <i>Hydrocharis dubia</i>	F	1	1	1*
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	S	2	+	+	30 禾本科 Gramineae				
9 毛茛科 Ranunculaceae					菰 <i>Zizania latifolia</i>	E	3	1*	1*
苘荩 <i>Ranunculus chinensis</i>	E	1	1*	+	芦苇 <i>Phragmites communis</i>	E	+	+	+
石龙芮 <i>R. sceleratus</i>	E	1	1	+	荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i>	E	-	1	-
扬子毛茛 <i>R. scaberrimus</i>	W	1*	1*	1*	鹧鸪草 <i>Phalaris arundinacea</i>	W	1*	1*	1*
10 十字花科 Cruciferae					蔺草 <i>Beckmannia syzigachne</i>	W	2	1	-
碎米荠 <i>Cardamine hirsuta</i>	W	2*	1*	1*	看麦娘 <i>Alopecurus aequalis</i>	W	2	1	2
水田碎米荠 <i>C. lyrata</i>	E	2*	1*	+	日本看麦娘 <i>A. japonicus</i>	W	-	2*	-
细子蕹菜 <i>Rorippa cantoniensis</i>	W	1*	-	+	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	E	2*	2*	1*
球果蕹菜 <i>R. globosa</i>	W	1*	1*	1*	西来稗 <i>E. crusgalli</i> var. <i>zelayensis</i>	W	1*	3*	2*
11 豆科 Leguminosae					光头稗子 <i>E. colonum</i>	E	2	2	1
合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	W	1	+	+	双穗雀稗 <i>Paspalum distichum</i>	W	2	3	1
12 水马齿科 Callitricaceae					31 莎草科 Cyperaceae				
水马齿 <i>Callitriche stagnalis</i>	S	2*	1*	+	荆三棱 <i>Scirpus yagura</i>	E	+	3*	+
13 菱科 Trapaceae					蔗草 <i>S. triquetra</i>	E	1	+	-
双角菱 <i>Trapa bispinosa</i>	Fl	4	1	+	水葱 <i>S. tabernaemontani</i>	E	-	-	
野菱 <i>T. incisa</i>	Fl	5	1	+	水毛茛 <i>S. triangulatus</i>	E	1	+	-
细果野菱 <i>T. maximowiczii</i>	Fl	2*	1*		牛毛毡 <i>Eleocharis yokoscensis</i>	E	5	5	1*
14 柳叶菜科 Onagraceae					荸荠 <i>E. tuberosa</i>	E	2	2*	1*
毛茛龙 <i>Jussiaea suffruticosa</i>	W	1	1*	1*	透明荸荠 <i>E. pellucida</i>	E	+	+	-

续表 3

种名 Species name	生活型	海口湖	太白湖	武山湖	种名 Species name	生活型	海口湖	太白湖	武山湖
15 小二仙草科 Haloragidaceae					金色飘拂草 <i>Fimbristylis hookeriana</i>	W	-*	-*	-*
穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	S	5	+*	+*	宜昌飘拂草 <i>F. henryi</i>	W		+*	1*
轮叶狐尾藻 <i>M. verticillatum</i>	S	1	-		光鳞水蜈蚣 <i>Kyllinga brevifolia</i> F. <i>leiolepis</i>	W	1*	1*	+*
16 伞形科 Umbelliferae					异形莎草 <i>Cyperus difformis</i>	W	1	1	-*
天胡荽 <i>Hydrocotyle sibthorpioides</i>	W	-	+	+*	碎米莎草 <i>C. iria</i>	W	+	+*	-*
水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	E	2*	1*	-*	扁鞘苔草 <i>Carex minuta</i>	W		1*	4*
细叶芹 <i>O. leptophyll</i>	E	1*	-*	-	单性苔草 <i>C. unisexualis</i>	W	1	1	-
中华水芹 <i>O. sinensis</i>	E	1*	+*	-	32 浮萍科 Lemnaceae				
17 报春花科 Primulaceae					浮萍 <i>Lemna minor</i>	F	4	3	2*
泽珍珠菜 <i>Lysimachia candida</i>	W	1*	+*		紫萍 <i>Spirodela polyrhiza</i>	F	4	4	2
小叶星宿菜 <i>L. parvifolia</i>	W	2*	+*	-	无根萍 <i>Wolffia arrhiza</i>	F	4	4	2
18 龙胆科 Gentianaceae					33 鸭趾草科 Commelinaceae				
荇菜 <i>Nymphoides peltatum</i>	Fl	1	-	-*	水竹叶 <i>Murdannia triquetra</i>	W	1*	1*	+*
19 旋花科 Convolvulaceae					34 雨久花科 Pontederiaceae				
菹菜 <i>Ipomoea equatica</i>	E	1	1*	1*	雨久花 <i>Monochoria korsakowii</i>	E	1*	1*	-*
20 玄参科 Scrophulariaceae					鸭舌草 <i>M. vaginalis</i>	E	2*	2*	1*
水苦苣 <i>Veronica undulata</i>	W	1	1	+*	凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i>	F	1	1	1*
石龙尾 <i>Lymnophila sessiliflora</i>	E	1*	1*	-	35 灯芯草科 Juncaceae				
21 胡麻科 Pedaliaceae					灯心草 <i>Juncus effuses</i>	W	2	1	+*
茶菱 <i>Trapella sinensis</i>	Fl			-	野灯心草 <i>J. setchuensis</i>	W	2*		-
22 狸藻科 Lentibulariaceae									

E:挺水 emergent F:漂浮 floating Fl:浮叶根生 floating-leaved S:沉水 submerged W:湿生 wetland-living 5:非常多 extra-abundant 4:多 abundant 3:较多 common 2:较少 few 1:少 occasional +:极少 rare -:无分布 in-existent * :湖内无分布,但与湖泊毗邻的沿岸小水体有分布 in-existent in the lake but can be found at little water-bodies near to it

=0.5621)。太白湖水生植被远不及海口湖茂盛,虽然植被覆盖率达 76.17%,但平均生物量仅有 177 g/m²,植物群丛类型只有 6 个,密齿苦草群丛占绝对优势(占全湖面积的 73.15%),密齿苦草群丛、菹草群丛和“野菱+菱群丛”系太白湖与海口湖共有,太白湖此 3 个群丛单位面积的生物量较海口湖的低得多,分别为 198±106g/m²、1140±297g/m²和 493±191g/m²(而海口湖的分别为 2584±388g/m²、2085±872g/m²和 2285±382g/m²),且此 3 群丛的植物种类均只有 2 种(海口湖的分别为 7、5、11 种),群落多样性指数值远没有海口湖的高(见表 4)。武山湖的水生植被已完全消失,全湖为次生裸地,无群丛分布,群落多样性为零,平均单位面积生物量为 0 g/m²。很明显,群落多样性丰富度程度的顺序是:海口湖>太白湖>武山湖(表 4)。

1983 年对太白湖水生植被的调查结果^①和有关海口湖渔场与武山湖渔场的资料记载,结合 3 湖水生植物多样性的现状可知:近 20a 来多样性丧失的程度是武山湖>太白湖>海口湖(表 5),多样性丧失的主要原因是过度养殖或废水污染;海口湖只有乌菱 1 种消失,太白湖则有轮叶黑藻、竹叶眼子菜、金鱼藻、穗花狐尾藻、乌菱、莲、菹、假稻和野荸荠 9 种水生植物消失,而武山湖消失的种类包括苦草、轮叶黑藻、竹叶眼子菜、金鱼藻、穗花狐尾藻、乌菱、莲、菹等 29 种。

海口湖与太白湖水生植被分布图见图 2。从图 2 可见海口湖群丛的边界在很大程度上为直线,这是该湖用围网划分成多块进行围栏养鱼的结果(因围栏往往是直线)。密齿苦草群丛优势种密齿苦草生物量

① 湖北省区划委员会江汉平原水产资源考察组,1983,太白湖水产资源综合考察报告

月动态见图 3。

表 4 海口湖、太白湖与武山湖水生植物群落多样性比较(2000 年)

Table 4 Comparison of community diversity of aquatic plants in Haikou, Taibai and Wushan Lake (2000)

群丛类型 Association type	海口湖 Haiko Lake					太白湖 Taibai Lake					武山湖 Lake Wushan
	A (km ²)	P (%)	B (g/m ²)	D	H	A (km ²)	P (%)	B (g/m ²)	D	H	
1 芦苇群丛 <i>Phragmites communis</i> Ass.		--	--	--		0.0020	0.008	7119	0.5222	1.4024	--
2 荻群丛 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> Ass.	--	--	--		--	0.0010	0.004	7722	0.4806	1.3383	
3 菰群丛 <i>Zizania latifolia</i> Ass.	0.1554	2.220	8287	0.3799	1.2250	--	--	--	--	--	--
4 菰-野菱群丛 <i>Zizania latifolia-Trapa incisa</i> Ass.	0.1365	1.950	3767	0.6285	1.9161	--	--	--	--	--	--
5 紫萍群丛 <i>Spirodela polyrrhiza</i> Ass.	--	--		--	--	0.0879	0.350	296	0.1466	0.4718	
6 野菱+菱群丛 <i>Trapa incisa + Trapa bispinosa</i> Ass.	1.0878	15.541	2285	0.7047	2.0963	0.1004	0.400	493	0.2214	0.4885	--
7 野菱-穗花狐尾藻群丛 <i>Trapa incisa-Myriophyllum spicatum</i> Ass.	0.4369	6.241	3418	0.4277	1.1984	--	--	--	--	--	--
8 野菱-密齿苦草群丛 <i>Trapa incisa Vallisneria denseserrulata</i> Ass.	0.4214	6.020	1843	0.6813	1.9265	--	--	--	--	--	--
9 菁菜群丛 <i>Nymphaoides peltatum</i> Ass.	0.0010	0.014	1785	0.4628	0.9864						
10 菹草群丛 <i>Potamogeton crispus</i> Ass.	1.5806	22.580	2492	0.2960	0.7969	0.5673	2.260	1140	0.2569	0.5495	
11 菹草+穗花狐尾藻群丛 <i>Trapa incisa + Myriophyllum spicatum</i> Ass.	0.7070	10.100	2443	0.4706	1.1072	--	--	--	--	--	--
12 菹草-密齿苦草群丛 <i>Potamogeton crispus-Vallisneria denseserrulata</i> Ass.	0.3192	4.560	2492	0.6037	1.5760	--	--	--	--	--	--
13 穗花狐尾藻群丛 <i>Myriophyllum spicatum</i> Ass.	0.5033	7.190	2707	0.3259	0.7968	--	--	--	--	--	--
14 穗花狐尾藻-密齿苦草群丛 <i>Myriophyllum spicatum Vallisneria denseserrulata</i> Ass.	0.1204	1.720	2384	0.4061	1.0052	--	--	--	--	--	--
15 大茨藻群丛 <i>Najas marina</i> Ass.	0.3869	5.527	7336	0.3667	0.9561	--	--	--	--	--	--
16 轮叶黑藻群丛 <i>Hydrilla verticillata</i> Ass.	0.3283	4.690	3133	0.1820	0.5621	--	--	--	--	--	--
17 密齿苦草群丛 <i>Vallisneria denseserrulata</i> Ass.	0.9331	13.330	3018	0.3962	1.0646	18.36	73.15	198	0.0863	0.2261	--

A: 分布面积 Area P: 其分布面积占湖泊水面面积的百分比 Percentage of the area with vegetation distributing B: 生物量 Biomass, Fresh weight D: Simposn 指数 Simposin Index H: Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener Index

表 5 近 20a 来海口湖、太白湖与武山湖水生植物多样性丧失的概况
Table 5 The situation of decrease on aquatic plant diversity in Haikou, Taibai and Wushan Lake over about the last 20 years

湖泊名称 Lake name	消失的种数(种)	消失的群丛类型数(个)	全湖平均单位面积生物量下降百分率
	Number of species disappeared	Number of association type disappeared	Rate of average biomass per m ² decreasing (%)
海口湖 Haikou Lake	1	1	12.1
太白湖 Taibai Lake	9	5	88.3
武山湖 Wushan Lake	29	6	100

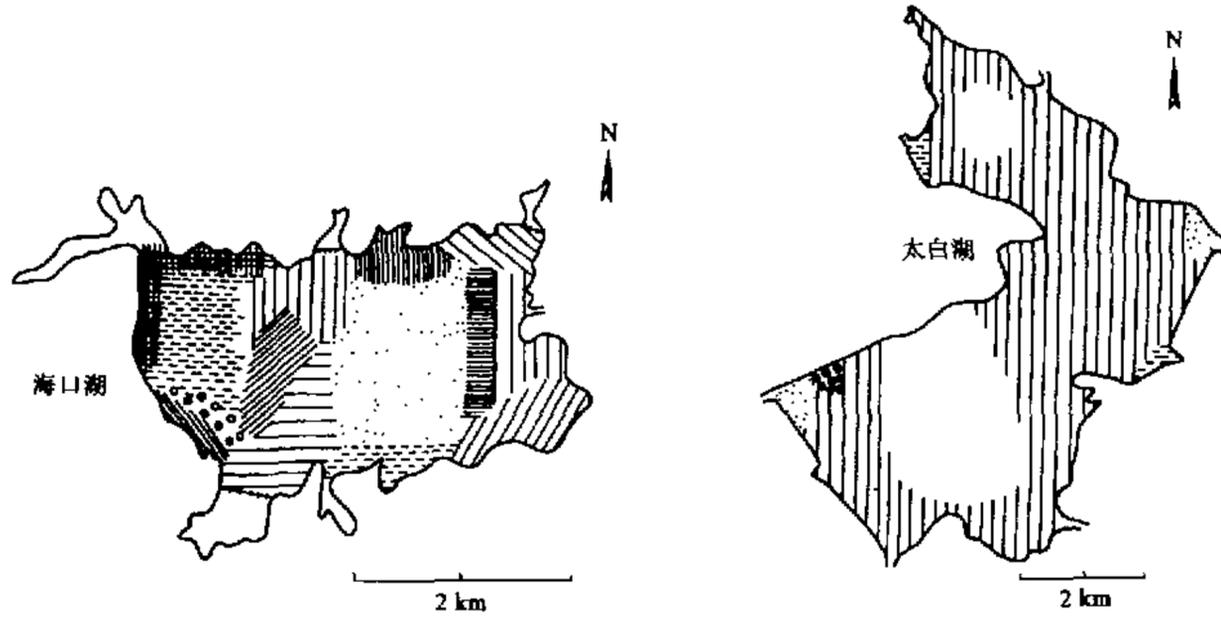


图 2 海口湖与太白湖水生植被图(1999~2000)

Fig. 2 Sketches of aquatic vegetation in Haikou and Taibai Lake

4 讨论

4.1 人为干扰强度与湖泊水生植物多样性的关系

调查表明,三湖泊所受人于干扰强度的大小顺序是:海口湖<太白湖<武山湖(表 6),表现在污水排入量、化肥投放量、鱼类放养量均以海口湖最小、武山湖最大,破坏水草的程度也是海口湖显著小于武山湖和太白湖。3 个湖泊水化学因子检测的结果表明:总氮(TN)和总磷(TP)含量均为海口湖<太白湖<武山湖(表 2),这与污水排入量和化肥投放量有关,制药厂和造纸厂排入的大量氮、磷类有机污染物和投放的大量氮肥与磷肥是造成武山湖重度有机污染,致使水体极度富营养化的原因,其结果是浮游生物大量繁殖,虽然有利于以浮游生物为食的花、白鲢放养量与产量的提高(质劣),但湖水透明度极低,使水草无法进行光合作用,致使武山湖水生植物多样性严重下降。

本研究表明,湖泊所受干扰强度与其水生植物物种多样性丰富程度成负相关:受干扰最小的海口湖的物种多样性显著高于太白湖和武山湖(表 3)。同时种群密度、单位面积生物量亦是海口湖最大。干扰强度与群落多样性丰富程度间亦成类似相关关系:群丛类型的数目和群落多样性指数都是海口湖>太白湖>武山湖(表 4),群丛的物种数目亦是海口湖>太白湖,如海口湖密齿苦草群丛、菹草群丛和“野菱+菱群丛”各

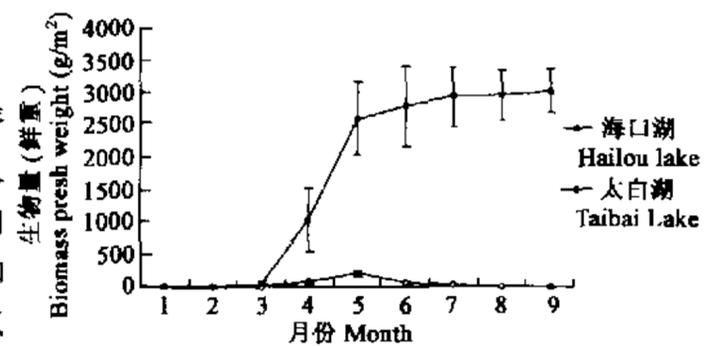


图 3 海口湖与太白湖密齿苦草生物量月动态(2000)

Fig. 3 Monthly dynamics of biomass of *Vallisneria denseserrulata* in Haikou and Taibai Lake

有 7 种、5 种和 11 种,而太白湖此三群丛各仅由 2 个种组成。

近 20a 来海口湖、太白湖和武山湖消失的水生植物种数分别为 1 种、9 种和 29 种,前者只有莲群丛消失,太白湖有竹叶眼子菜群丛等 5 个群丛类型消失,而武山湖原有的密齿苦草群丛等 6 个群丛类型已完全丧失。此外 3 个湖泊水生植被单位面积生物量分别下降了 12.1%、88.3%、100%(表 5)。

包括江汉湖群在内的两湖平原湖泊湿地是世界上相同纬度地区所特有的湖泊群,也是中国最主要的湖泊分布区域之一,该区域大小湖泊众多,面积宽广,目前只有极少数湖泊水生植被象海口湖那样保存较好,相当一部分湖泊已如武山湖那样,水生植被受到了彻底破坏,若不采取有效措施加以保护,在不久的将来大多数湖泊都会象武山湖一样,水生植物多样性将完全丧失。人为干扰的因素多种多样^[10],在打草、耙草、污染和过度养殖等诸多干扰因素中,对水生植物多样性威胁最大的是过度养殖,江汉平原的洪湖、梁子湖、长湖、西凉湖、斧头湖和洞庭湖平原益阳地区的大通湖、岳阳市郊的南湖和华容县的东湖等均因过度养殖而造成其水生植物多样性遭到了极为严重的破坏。为了养殖业的可持续发展,也为了湖泊生态系统的良性运转,政府部门必须采取有效的措施,保护宝贵的水生植物资源,应给予依赖湖泊为生的渔民一定的经济补偿,限制其养殖强度或捕捞强度以保护这些湖泊的水生植物多样性。

表 6 海口湖、太白湖与武山湖所受人为干扰状况

Table 6 Human disturbance on Haikou, Taibai and Wushan Lake

	排入污水工厂(个) Number of factories giving out polluted water to the lake	1999 年化肥投放量 Fertilizer input in 1999 (10 ³ kg/km ²)	1999 年鱼类放养量 Stocking rate in 1999 (10 ³ kg/km ²)	水草破坏程度 Situation of destroying aquatic plants
海口湖 Haikou Lake	0	0	草食性 0.11, 非草食性 1.26	常年轻度绞草
太白湖 Taibai Lake	0, 武山湖部分 污水流入	76	草食性 0.176, 非草食性 3.68	常年重度耙草
武山湖 Wushan Lake	6	103	草食性 0, 非草食性 7.12	曾重度耙草

4.2 密齿苦草对太白湖人为干扰的适应机制

密齿苦草(*Vallisneria denseserrulata*)为沉水植物,属于水鳖科(Hydrochariaceae),是长江中下游湖泊最常见的优势种之一。在多年的过度化肥养鱼和从武山湖流入的污水影响下,太白湖湖水透明度下降至 0.12m,加上 10 余年来持续的耙蚌劳作,使太白湖原生长茂盛的竹叶眼子菜、轮叶黑藻、穗花狐尾藻和金鱼藻等多种水生植物消失,但密齿苦草却作为优势种得以保留,其分布面积从 1983 年的 40% 增加至 2000 年的 73.15%(密齿苦草侵占其它消失种类的生态位所致)。虽然苦草属(*Vallisneria*)植物能产生大量种子,且成熟种子发芽率高^[11],但太白湖耙蚌劳作于 4 月初即已开始,使 3 月底才开始萌生幼苗的密齿苦草无法开花结实然而密齿苦草具有发达的地下根状茎,根状茎一方面能于冬季产生多数越冬块茎,块茎于次年 3 月底开始萌发出幼苗以行使繁殖功能;另一方面其断枝繁殖能力强,在频繁的耙蚌劳作下存留于底质中的根状茎断枝亦能生长出新的植株。这样,密齿苦草种群便得以延续。

密齿苦草这种适应能力比菹草还强,菹草虽亦具发达的地下根状茎,但缺少能越冬的地下块茎,其地上茎在频繁的耙蚌劳作下无法产生右芽,且种子在自然状况下发芽率极低^[11,12],因此目前菹草在太白湖强烈的人为干扰下只能生长于无法进行耙蚌劳作的沿岸浅水区,分布区域狭小。对人为干扰耐受力最强、处于前三位的水生植物依次是:密齿苦草>菹草>野菱。

4.3 武山湖水生植物多样性及其退化水生生态系统恢复途径的探讨

退化生态系统的恢复就是人为地改变和切断造成生态系统退化的主导因子或过程,调整、配置和优化系统内部的结构组成及系统与外界的物质、能量和信息流动过程及其时空秩序,使生态系统的结构、功能和潜力尽快地恢复至一定的或原有的乃至更高的水平^[16]。20 世纪 80 年代初,武山湖水生植物多样性丰富,水生植被茂盛,但自 1987 年以来其周围 6 家工厂将污水排入和湖泊本身放养量增大后,使湖泊水生生态系统日趋退化,水生植物种类相继消失,全湖变为次生裸地和富营养化的水生生态系统(表 2)。因此,要求整治、恢复的呼声日趋强烈。笔者认为,第一阶段:工厂废水处理、减少化肥投放量;第二阶段:引种沉水

植物先锋物苔草属种类和菹草;第二阶段:引种其他沉水植物种类,优化群落结构,如轮叶黑藻、穗花狐尾藻、金鱼藻等,同时适量放养蟹类;第四阶段:引种挺水植物及浮水植物种类,进一步丰富植物多样性,如引种莲、芡实、菱等,同时引入其他名特优水产品种如柴鱼、鲑鱼、黄桑鱼和青虾等;第五阶段:水生植物多样性和退化水体生态系统基本得以恢复,但须注意适度养殖、合理利用,进行多样性与水生生态系统的定时监测。最大的困难存在于第一阶段,这是下阶段引种成功的保证。第二阶段引进水生植物先锋种类可使恢复所需时间大大缩短。

参考文献

- [1] 黄祥飞主编. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [2] Cook C D K. *Aquatic Plant Book*. The Hague, the Netherlands: SPB Academic Publishing, 1990.
- [3] 云南大学生物系主编. 植物生态学. 北京: 人民教育出版社, 1982. 188.
- [4] 钱迎倩, 马克平, 韩兴国主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 148~152.
- [5] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [6] 王伯孙主编. 植物群落学. 北京: 高等教育出版社, 1987. 49.
- [7] Krebs C. *Ecology: The Experimental Analysis of Distributions and Abundance* (2nd ed). New York: Harper & Row Publishers, 1978.
- [8] 中国科学院水生生物研究所主编. 淡水渔业增产技术. 南昌: 江西科学技术出版社, 1988.
- [9] Den Hartog C & Segal S. A new classification of the water-plant communities. *Acta Bot. Neerl.*, 1961, 13: 367~393.
- [10] 陈家宽, 汪小凡. 中国内陆湿地植物的多样性及其保护问题. 见: 林业部野生动物与森林植物保护司主编. 湿地的保护与合理利用. 北京: 中国林业出版社, 1996. 80~85.
- [11] 由文辉, 宋永昌. 淀山湖3种沉水植物的种子萌发生态. *应用生态学报*, 1995, 6(2): 196~200.
- [12] 陈洪达. 菹草的生活史、生物量和断枝的无性繁殖. *水生生物学报*, 1985, 9(1): 32~39.
- [13] Sastroutomo S S *et al.* The importance of turions in the propagation of pondweed (*Potamogeton crispus* L.). *Ecol. Rev.*, 1979, 19: 75~88.
- [14] Sastroutomo S S. Environmental control of turion formation in curly pondweed (*Potamogeton crispus*). *Physiol. Plant.*, 1980, 49: 261~264.
- [15] 彭少麟. 恢复生态学与热带雨林的恢复. *世界科技研究与发展*, 1997, 19(3): 58~61.
- [16] 张家恩, 徐琪. 生态退化研究的基本内容与框架. *水土保持通报*, 1997, 17(3): 46~53.