

湖北省五大湖泊水生植物多样性的比较研究

彭映辉¹ 简永兴² 王建波² 倪乐意³

(1. 中南林学院生命科学与技术学院, 长沙 410004; 2. 武汉大学生命科学院, 武汉 430072;

3. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072;)

摘要:对湖北省五大湖泊斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖水生植物多样性进行了监测、为保护与可持续利用提供依据, 本文将断面法与 GIS 及 GPS 技术相结合, 通过野外调查和分析前人的工作, 揭示了五大湖泊水生植物多样性的现状和 50 余年来的变化, 探讨了人为干扰强度与多样性丰富程度及丧失程度的关系, 主要结论是: (1) 2001 年斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖各分布有水生植物 61 种、94 种、87 种、92 种和 77 种, 种数/面积比值以重度干扰的斧头湖和洪湖最小(分别为 0.53 与 0.27 种/km²), 以轻度干扰的西凉湖最大(1.07 种/km²)。 (2) 斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖与西凉湖现各有水生植物群丛类型 5、5、12、12 和 13 个, 植被覆盖率分别是 16.30%、16.43%、32.56%、45.16% 和 62.04%, 全湖平均单位面积生物量(鲜重)分别为 299.0g/m²、764.2g/m²、808.6g/m²、1039.1g/m² 和 1719.8g/m²。 (3) 近 50 余年来斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖水生植被分布区严重缩小、覆盖率显著下降、生物量极大降低, 分别有 9、8、5、3 和 1 种水生植物消失, 消失的水生植物群丛类型数各为 7、8、4、2 和 1 个。 (4) 多样性的丰富程度随人为干扰强度的增强而下降, 多样性的丧失程度随干扰强度的增强而上升; 围网养殖比围垦对五大湖泊水生植物多样性的破坏更为严重。

关键词:水生植物; 物种多样性; 群落多样性; 长期变化; 围网养殖; 围垦

中图分类号: Q948.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2004)05-0464-07

斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖是湖北省五大淡水湖泊(简称“五大湖泊”), 其水面面积在湖北省众多湖泊中分别位居第四、一、二、三、五位。五大湖泊既是生物多样性富集的场所, 又是重要的农副产品生产基地, 且对环境起着巨大的调节作用, 因此具有重要的生态与经济双重功能。水生植物(水生维管束植物)是五大湖泊生态系统的重要组成部分, 对水生态系统功能的运转起着关键作用, 是五大湖泊水产资源品种、产量与质量的保障。其一方面是水生态系统的初级生产者, 为多种鱼类、其他水生动物及腐屑微生物的食物来源; 另一方面又是湖泊水体的净化者: 能降解各种污染、改善溶氧状况、提高透明度; 此外尚能增加水生态系统的空间生态位, 是多种水生动物的栖息地与产卵场所, 从而有效提高系统的生物多样性^[1]。

然而, 50 年来以围垦、修坝、过度渔业为主的人为干扰, 对五大湖泊水生植物多样性的破坏日益严重, 致使多样性加速丧失, 进而导致五大湖泊生态系

统日趋恶化, 严重影响着水产资源的品质和产量, 以及特种养殖的开展, 既阻碍了水产业的可持续发展, 又威胁到沿湖居民的生活。因此水生植物多样性的缺乏已成五大湖泊生态系统功能及其水产业可持续发展的限制因子。本研究旨在通过研究五大湖泊水生植物多样性的现状及其长期变化, 探讨多样性丧失程度与所受干扰强度间的关系, 为五大湖泊水生植物多样性的监测、保护与合理利用, 以及水产业的可持续发展提供必要的依据。

1 材料与方法

1.1 研究湖泊的概况 五大湖泊分别位于湖北省武昌县、洪湖市、鄂州市、荆门市和嘉鱼县, 均为浅水型淡水湖泊, 其湖盆平坦、淤泥较厚、基质肥沃, 均属亚热带湿热季风气候, 四季交替明显, 其主要气象资料见表 1。20 世纪 50 年代初至 80 年代初的围垦使五大湖泊水面面积剧减, 80 年代后期至今的围网养

收稿日期: 2003-06-11; 修订日期: 2003-09-18

基金项目: 中国科学院知识创新重大项目(编号 KZCX1-SW-12); 中国博士后科学基金项目(编号: 204180171)资助

作者简介: 彭映辉(1964—)女, 湖南省双峰县人, 副教授, 主要从事生物多样性与生态学研究

通讯作者: 倪乐意

殖使其水生植物多样性遭到了严重的破坏。目前, 五大湖泊所受人为干扰主要表现在终年围网养殖、春夏高强度打草、常年耙蚌劳作、机船频繁活动, 但各湖泊干扰强度有所不同(表 2)。各干扰方式干扰强度等级的确定原则如下: 围网水面率(%) : ≤ 35 (+)、 ≤ 55 (++)、 > 55 (+++); 草食性鱼类放养

量($10^3\text{kg}/\text{km}^2$): ≤ 0.25 (+)、 ≤ 0.50 (++)、 > 0.50 (+++); 非草食性鱼类放养量($10^3\text{kg}/\text{km}^2$): ≤ 2.0 (+)、 ≤ 6.0 (++)、 > 6.0 (+++); 水草收获强度 (ships/ km^2/d): ≤ 0.3 (+)、 ≤ 0.7 (++)、 > 0.7 (+++); 耙蚌强度 (ships/ km^2/d): ≤ 0.1 (+)、 ≤ 0.3 (++)、 > 0.3 (+++)。

表 1 湖北省五大湖泊主要气象资料
Tab. 1 Main natural conditions of the five largest lakes in Hubei Province

	斧头湖 Futou	洪湖 Honghu	梁子湖 Liangzi	长湖 Changhu	西凉湖 Xiliang
地理坐标 Geographical coordinate	N29° 55′ —30° 07′ E114° 09′ —2°0′	N29° 49′ E113° 17′	N30° 04′ —2°0′ E114° 27′ —38′	N30° 22′ —3°0′ E112° 17′ —3°0′	N29° 51′ —30° 01′ E114° 00′ —1°0′
面积 Area(km^2)	114.7	344.4	304.3	129.1	72.1
平均气温 Average air temperature($^{\circ}\text{C}$)	16.2	16.2	17.0	16.3	16.8
最高气温 Highest air temperature($^{\circ}\text{C}$)	40.3	39.6	40.7	40.0	39.7
最低气温 Lowest air temperature($^{\circ}\text{C}$)	- 12.4	- 13.2	- 12.9	- 14.0	- 12.0
年降水量 Annual precipitation(mm/a)	1680	1315	1240	1000	1400
年无霜期天数 Days withont frost(d/a)	266	226	270	255	254

表 2 湖北省五大湖泊所受人为干扰强度比较(1998—2001)
Tab. 2 Comparison of human disturbance intensity among the five largest lakes in Hubei Province

	斧头湖 Futou	洪湖 Honghu	梁子湖 Liangzi	长湖 Changhu	西凉湖 Xiliang
围网程度 Enclosing intensity	+++	++	++	++	+
草食性鱼类放养量 Herbivorous fish stocking($10^3\text{kg}/\text{km}^2$)	+++	+++	++	++	+
非草食性鱼类放养量 Unherbivorous fish stocking ($10^3\text{kg}/\text{km}^2$)	+++	+++	++	++	+
水草强度 Aquatic plant harvest intensity	+	+++	+	++	++
耙蚌强度 Harrowing clams intensity	++	++	+	++	+
总干扰强度 Total intensity of human disturbance	重度	重度	较强	较强	轻度

注: 斧头湖现水生植被严重衰退, 生物量很低, 只有少量水草。Note: The aquatic vegetation in Lake Futou degraded sharply. With very low biomass of aquatic vegetation, the lake had little aquatic grass to be harvested.

1.2 水生植物物种多样性的研究方法 按 Cook 对水生植物的划分标准^[2], 从 1999 年 1 月至 2001 年 11 月, 在五大湖泊采集水生植物标本、鉴别种类, 并与现有文献记载的各历史时期种类进行比较, 分析物种多样性的长期变化。

1.3 群丛类型的命名 群丛的命名采用优势种原则: 即以各群丛优势种的名称作为该群丛的名称。

1.4 群落物种多样性指数的研究方法 每一群丛类型各设 6 个 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的样方以研究物种多样性指数, 同时计算 Simpson 和 ShannorrWiener 指数, 以便相互验证, 计算公式分别为 $D= 1- \sum p_i^2$ ^[3,4], $H=$

$3.3219(\lg N- \sum ni\lg ni/N)$ ^[3,5,6], 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 是样方内的全部物种个体数。克隆繁殖的种类按无性系小株计算个体数, 其他种类的个体数即该种类在样方内的植株数。

1.5 植被分布面积与覆盖率的求算方法 结合 1: 50000 的湖泊地形图, 采用断面法进行调查与采集: 首先根据湖泊形状于斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖设计采集断面与采集点, 各湖泊所设的采集断面数分别是 8、25、27、15 和 17 个, 所设采集点数分别为 101、205、108、96 和 93 个; 用精度为 15m 的

手持式“Garmin 12XL GPS”定位,并记录坐标,依据所获得的各群丛边界坐标,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: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 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;最后求各群丛的分布面积之和,便得该湖泊的总植被面积。将总植被面积除以该湖泊总面积便得全湖植被覆盖率。

1.6 生物量的研究方法 采用断面法,先求各群丛的单位面积生物量,结合上述方法所得的各群丛斑块面积,求算各群丛的生物量,各群丛生物量之和为全湖水生植被总生物量,总生物量除以湖泊总面积即得全湖平均单位面积生物量。采集调查方法的具体步骤是:首先根据各湖泊的具体情况于各湖设置若干采集断面,每一断面各设一定数目的采集点,同时根据需要增设若干无规则断面以确定群丛类型的边界(同上);对浮水植物和沉水植物群丛,于每一采集点用样方面积为 0.32m×0.52m 的加重带网铁夹,在方围 500m² 的范围内随机采草 6 次,将样方内

的植株连根拔起,称量样方内所有植株的生物量(鲜重,下同),然后计算单位面积生物量;而对湿生植物和挺水植物群丛,在每一采集点于方围 500m² 的范围内随机设置 6 个 2m×2m 的样方,称量所有植株地上部分的生物量,再计算单位面积生物量。整个调查过程均采用上述 GPS 定位,记录不同群丛类型边界的坐标,用于在 GIS 中确立各群丛斑块的边界。

比较五大湖泊各历史时期的群落多样性^[7-16],以分析群落多样性的长期变化。

2 结果

2.1 物种多样性的比较

2001 年斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖各分布有水生植物 61、94、87、92 和 77 种,种数/面积比值以重度干扰的斧头湖与洪湖最小(分别为 0.53、0.27 种/km²,以轻度干扰的西凉湖最大(1.07 种/km²;50 年来其消失的水生植物种数分别为斧头湖 9 种、洪湖 8 种、梁子湖 5 种、长湖 3 种和西凉湖 1 种。结果表明,五大湖泊水生植物物种多样性的丰富程度随人为干扰强度的增加而减小、物种多样性的丧失程度却随干扰强度的增加而增加(表 3)。

表 3 50 年来湖北省五大湖泊消失的水生植物种数和群丛类型数

		斧头湖 Futou	洪湖 Honghu	梁子湖 Liangzi	长湖 Changhu	西凉湖 Xiliang
至 20 世纪 50 年代初 Up to the early 1950s	种数 Number of species 群丛数 Number of associations	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
至 20 世纪 80 年代初 Up to the early 1980s	种数 Number of species 群丛数 Number of associations	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
至 2001 年 Up to 2001s	种数 Number of species 群丛数 Number of associations	9 7	8 8	5 4	3 2	1 1

2.2 群落多样性的比较

2.2.1 群丛类型丰富度的比较 1999 年斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖各有水生植物群丛类型 5 个、5 个、12 个、12 个和 13 个(表 4);50 余年来五大

湖泊各有 7、8、4、2 和 1 个群丛类型消失(表 3),这是近 10 年来以过度围网养殖为主的人为干扰所致,因 20 世纪 80 年代前的大量围垦并未导致五大湖泊出现群丛类型消失的现象(表 3)。

表 4 湖北省五大湖泊水生植物群落多样性的现状(1999)
Tab. 4 The present state of community diversity of aquatic plants in the five largest lakes of Hubei Province

	斧头湖 Futou	洪湖 Honghu	梁子湖 Liangzi	长湖 Changhu	西凉湖 Xiliang
群丛类型数 Number of associations	5	5	12	12	13
植被覆盖率 Vegetation coverage(%)	16. 30	16. 43	32. 56	45. 16	62. 04
全湖平均单位面积生物量 Mean biomass in the whole lake (g/m ²)	299. 0	764. 2	808. 6	1039. 1	1719. 8

2.2.2 群落物种多样性指数的比较 菰群丛、野菱+双角菱群丛、密齿苦草群丛、茭草群丛是 2001 年五大湖泊均有分布的 4 个群丛类型, 不管是 Simpson 指数还是 ShannorrWiener 指数, 前三个群丛的物种多样性指数值均以重度干扰的斧头湖和洪湖最小, 以轻度干扰的西凉湖最大。这种关系对于茭草群丛则不明显, 这是因为茭草为典型的秋春型种类, 其于秋

季发芽、春季生长、初夏死亡, 生长季节与其他水生植物不同, 因此茭草群丛常于 5 月即已充分发育, 而此时位于该群丛基部的绝大多数水生植物种类的繁殖体尚未萌发, 故茭草群丛的植物种数很少, 致使各湖泊茭草群落物种多样性指数值均小, 差别不大(表 5)。

表 5 湖北省五大湖泊主要水生植物群丛物种多样性指数的比较(Mean±S. E.)(2001)
Tab. 5 Comparison of diversity indices of aquatic plant associations in the five largest lakes of Hubei Province

	斧头湖 Futou		洪湖 Honghu		梁子湖 Liangzi		长湖 Changhu		西凉湖 Xiliang	
	D	H	D	H	D	H	D	H	D	H
菰群丛 <i>Zizania latifolia</i> Ass	0. 6615 ±	1. 8474 ±	0. 6630 ±	1. 8831 ±	0. 6878 ±	2. 0193 ±	0. 7345 ±	2. 2542 ±	0. 7397 ±	2. 4232 ±
	0. 1060	0. 3949	0. 0796	0. 3732	0. 0728	0. 2330	0. 0783	0. 3676	0. 0589	0. 2632
野菱+ 菱群丛 <i>Trapa incisa</i> + <i>Trapa bispinosa</i> Ass	0. 6183 ±	1. 7668 ±	0. 6258 ±	1. 7089 ±	0. 7284 ±	2. 1925 ±	0. 7727 ±	2. 3970 ±	0. 7746 ±	2. 5004 ±
	0. 1668	0. 5649	0. 1253	0. 5075	0. 0510	0. 2715	0. 0458	0. 2220	0. 0647	0. 2918
密齿苦草群丛 <i>Vallisneria densa</i> <i>serulata</i> Ass	0. 3308 ±	0. 9854 ±	0. 3682 ±	1. 0936 ±	0. 5035 ±	1. 4515 ±	0. 5988 ±	1. 5805 ±	0. 6074 ±	1. 6810 ±
	0. 1190	0. 2924	0. 0967	0. 2651	0. 0771	0. 2382	0. 0710	0. 2678	0. 1400	0. 3807
茭草群丛 <i>Potamogeton crispus</i> Ass	0. 3779 ±	0. 9817 ±	0. 3775 ±	0. 9803 ±	0. 3801 ±	0. 9869 ±	0. 3826 ±	0. 9921 ±	0. 3853 ±	0. 9981 ±
	0. 114	0. 3554	0. 1578	0. 3683	0. 1177	0. 3301	0. 1112	0. 2491	0. 1313	0. 2762

注(Note): D: Simpson 指数 (Simpson Index) H: Shannorr Wiener 指数 (Shannorr Wiener Index)

2.2.3 植被覆盖率的比较 结果表明: 五大湖泊水生植被覆盖率随人为干扰强度的增强而降低(表 6); 50 余年来五大湖泊水生植被的面积已极大地缩小, 其中从 20 世纪 80 年代末至 2001 年的十余年间

(围网养殖), 水生植被面积缩小的百分率比 50 年代初至 80 年代初的三十年间(围垦) 大得多^[9, 7, 11, 12](图 1)。可见, 围网养殖较围垦更容易使水生植被遭受破坏。

表 6 湖北省五大湖泊不同时期水生植被覆盖率(%)
Tab. 6 Aquatic vegetation coverage in the five largest lakes of Hubei Province in China at different historic periods

	斧头湖 Futou	洪湖 Honghu	梁子湖 Liangzi	长湖 Changhu	西凉湖 Xiliang
20 世纪 50 年代初 The early 1950s	100	100	100	100	100
20 世纪 80 年代初 The early 1980s	100	100	100	100	100
1999 年 The year 1999	16. 30	16. 43	32. 56	45. 16	62. 04

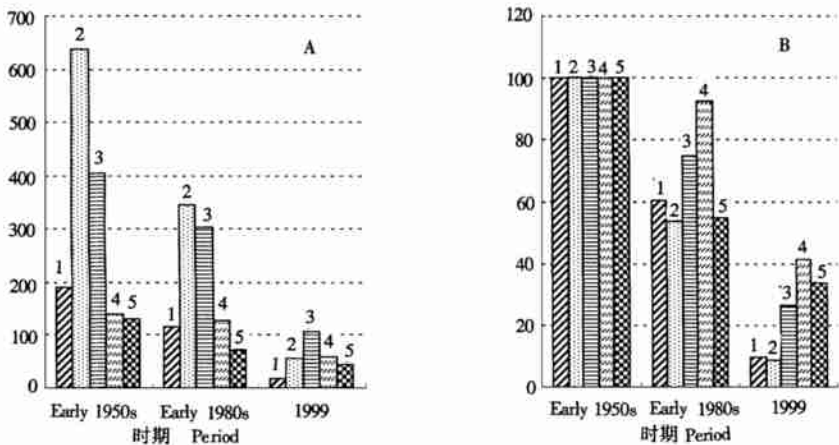


图 1 五大湖泊不同时期水生植被面积及其占该湖泊最初总水面积的百分比

Fig. 1 Aquatic vegetation area and its percentage in the initial lake area of the five largest lakes in Hubei Province of China during different periods

A: 水生植被面积 Aquatic vegetation area(km^2); B: 占该湖泊最初总水面面积的百分比 Percentage in the initial lake area(%)

1. 斧头湖; 2. 洪湖; 3. 梁子湖; 4. 长湖; 5. 西凉湖

2.2.4 生物量的比较 目前五大湖泊平均单位面积生物量随干扰强度的增强而降低(表 4)。结合本研究结果与以往文献资料记载¹⁾可知: 20 世纪 50 年代初至 80 年代初的围垦主要使五大湖泊水生植被的总生物量下降, 而 80 年代末至今的围网养殖不仅导致了总生物量的显著下降, 且使全湖平均单位面积生物量显著降低(如洪湖: 图 2)。

干扰强度的增加而下降, 其丧失程度则随干扰强度的增强而上升。

3 讨论

在国外, 虽然部分湖泊存在一定的富营养化^[17,18], 但大多数湖泊无富营养化的现象或富营养化程度低, 且一般养殖强度小, 因而水生植物多样性保存较好, 不少湖泊甚至出现水草过剩的现象, 给人们带来不少麻烦, 当地人们不得不采用机械收获法或除草剂予以控制。而斧头湖、洪湖、梁子湖、长湖和西凉湖却一直处于较强烈的人为干扰之中, 其水生植物多样性也相应受到了较大的破坏。

50 年来五大湖泊所受人为干扰可分为两个阶段: 即围垦阶段和围网养殖阶段。前者从 20 世纪 50 年代初至 80 年代初, 后者从 20 世纪 80 年代末至今。本研究结果表明五大湖泊围垦阶段并无水生植物种类和群丛类型的消失, 而围网养殖阶段不仅出现了种类与群丛的丧失(表 3), 且分布区缩小(图 1)、覆盖率下降(表 6)、群丛类型减少、植被结构简化、生物量剧减(表 3, 图 2), 可见围网养殖阶段对五大湖泊水生植物多样性的破坏较围垦阶段更严重。围网养殖加速多样性丧失的原因主要体现在以下几方面, 一是围网养殖阶段的过度养殖: 虽然围垦阶段使五大湖泊水生植被面积显著缩小, 但当时鱼类放

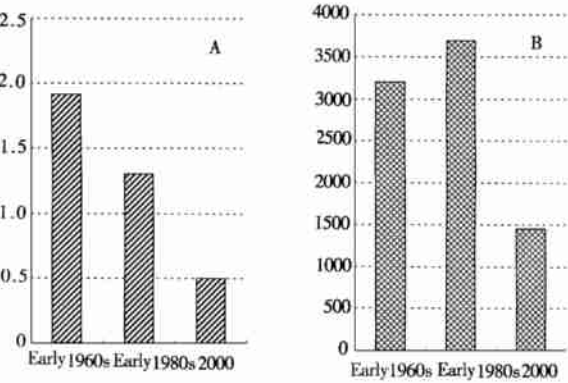


图 2 洪湖水生植被生物量的变化

Fig. 2 Changes in the biomass of aquatic vegetation in Lake Honghu

A: 全湖总生物量 Total biomass of the lake(鲜重, 10^9kg)
B: 全湖平均单位面积生物量 Mean biomass of the vegetation in the lake(鲜重, g/m^2)

上述结果表明: 群落多样性的丰富程度随所受

1) 李伟. 1995. 中国科学院水生生物研究所博士学位论文

养量小, 水草处于以供过于求的状况作为草食性鱼类的天然食物; 而围网养殖时期鱼类放养量剧增, 草食性鱼类的直接过度啃食、以及各种鱼类的强烈机械活动使五大湖泊圈养区一两年内就变成次生裸地, 这种机械活动还将水生植物的地下茎掘出水面, 严重威胁着水生植物的繁衍, 因大多数水生植物主要是以地下茎进行繁殖。二是围网养殖阶段湖水透明度过低: 在围垦阶段渔民作业强度与放养量均低, 因而透明度高, 而围网养殖时期则不然, 透明度大大降低(如斧头湖已低至 0.2m), 水下光线严重不足, 致使水生植物生长不良, 或无法生存, 不能开花结实, 甚至难以产生繁殖体休眠芽。三是围网养殖阶段水草的过度收获: 围垦阶段是手工竹竿打草, 水草收获强度小; 而围网养殖时期是以机动打草为主, 水草收获强度极大提高, 如洪湖, 常可见成百上千大型机动打草船只在湖中掠夺式地收获水草, 机动船牵引着沉重而宽深的密齿铁耙在湖中耙草, 所耙之处几成裸地, 且铁耙严重碎断了水生植物耐以繁殖的地下茎。四是围网养殖阶段高强度的机械作业: 围垦阶段渔民靠手动小船作业, 作业强度小; 而围网养殖时期已普遍使用机动船只作业, 机动船只成天在圈养区内外耙捞蚌类、螺类、捕鱼、打草等, 在枯水季节或丰水季节的浅水区, 其高速运转的涡轮常将底泥搅起, 频繁的活动不但使地上茎支离破碎, 也破坏了水生植物的主要繁殖器官地下茎。

草食性鱼类是五大湖泊水生植物多样性最主要的威胁之一, 为了防止五大湖泊水生植物多样性进一步丧失, 有必要根据其当年水草的生物量大小决定草食性鱼类的放养量, 放养量的计算可参考陈洪达等提出的草食性鱼类放养量公式, 该公式定量阐明了草食性鱼类放养量与可被草食性鱼类利用的水生植物生物量间的关系^[19], 掌握五大湖泊水生植物生物量动态必须定期对其水生植物多样性进行调查, 作者认为, 将传统的断面法与全球定位系统(GPS)技术与地理信息系统(GIS)技术相结合, 有利于较准确地获取有关生物量的数量, 若在此基础上结合遥感(RS)技术, 可使五大湖泊水生植物多样性的监测变得更有效, 其实将 3S 技术应用于淡水湖泊多样性的研究具有很好的前景^[20]。

参考文献:

[1] Ni L Y. Long term changes of the structure and biodiversity of aquatic vegetation of Lake Donghu, Wuhan[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1996, **20** (Suppl): 60—74. [倪乐意. 武汉东湖水生植被结构及其生物

多样性的长期变化. 水生生物学报, 1996, **20**(Suppl): 60—74]

- [2] Cook C D K. Aquatic Plant Book[M]. The Hague, the Netherlands: SPB Academic Publishing, 1990
- [3] Qian Y Q, Ma K P, Han X G. Principles and methodologies of biodiversity studies[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994, 148—152. [钱迎倩, 马克平, 韩兴国, 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]
- [4] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988
- [5] Wang B S. Phytogeography[M]. Beijing: Higher Education Press, 1987. 49. [王伯荪, 植物群落学. 北京: 高等教育出版社, 1987. 49]
- [6] Krebs C. Ecology: the experimental analysis of distributions and abundance(2nd ed)[M]. New York: Harper & Row Publishers, 1978
- [7] Wang W M, Yang G R, Fan Q X *et al.* Aquatic vegetation in Liangzi Lake[J]. *J Huazhong Agr Univ*, 1994, **13**(3): 281—290. [王卫民, 杨干荣, 樊启学, 等. 梁子湖水生植被. 华中农业大学学报, 1994, **13**(3): 281—290]
- [8] Jin G. State of submerged vegetation resources in Lake Liangzi, Lake, Niushan and Lake Baogan[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1999, **23**(1): 87—89. [金刚. 梁子湖、牛山湖和保安湖沉水植被资源现状. 水生生物学报, 1999, **23**(1): 87—89]
- [9] Chen H D. Aquatic vegetation of Lake Honghu[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1963, **3**: 69—81. [陈洪达. 洪湖水生植被. 水生生物学集刊, 1963, **3**: 69—80]
- [10] Li W. Flora studies on aquatic vascular plants in Lake Honghu[J]. *J Wuhan Bot Res*, 1997, **15**(2): 113—122. [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]
- [11] Feng C, Wang X L, Wang Z X *et al.* Studies on the communities of aquatic vascular plants in Changhu Lake[J]. *J Wuhan Bot Res*, 1989, **7**(2): 123—130. [冯灿, 王学雷, 王增学, 等. 长湖水生维管束植物群落研究. 武汉植物学研究, 1989, **7**(2): 123—130]
- [12] Liang Y L and Liu H Q. Resources, environment and fishery ecological management of macrophytic Lakes[M]. Beijing: Science Press, 1995, 160—171. [梁彦龄, 刘火泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京: 科学出版社, 1995. 160—170]
- [13] Chen J K, Zhou J. Phytocoenological studies on floating leaved anchored aquatic plants in Futouhu Lake, Hubei I. The structure of Comm. *Trapa* spp[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1995, **19**(1): 40—48. [陈家宽, 周进. 湖北斧头湖浮叶水生植物群落学研究. I. 菱群落的结构. 水生生物学报, 1995, **19**(1): 40—47]
- [14] Li W, Zhou J, Wang H Q. A phytocoenological study on the emergent vegetation in Futou Lake I. The structure of Comm. *Zizania latifolia* [J]. *J Wuhan Bot Res*, 1992, **10**(2): 109—116. [李伟, 周进, 王徽勤. 斧头湖挺水植被的群落学研究. I. 菰群落(Com. *Zizania latifolia*)的结构. 武汉植物学研究, 1992, **10**(2): 109—116]
- [15] Zhou J, Chen J K. Phytocoenological studies on floating leaved anchored aquatic plants in Futouhu Lake, Hubei Province II. The structure of Comm. *Nymphaoides peltata* [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1996, **20**(1): 49—56. [周进, 陈家宽. 湖北斧头湖浮叶水生植物群落学研究. II. 荇菜群落的结构. 水生生物学报, 1996, **20**(1): 49—56]

[16] Li W. Flora studies on aquatic vascular plants in Lake Futuo[J]*J Shanxi Norm Univ(Nat Sci Ed)*, 1993(Suppl.): 1—6
[李伟. 斧头湖水生维管束植物区系分析. 山西师范大学学报(自然科学版), 1993(Supp L.): 1-6]

[17] Anton RH, Mark D F, Brian J N *et al* . Plant community dynamics in a chain of lakes: principal factors in the decline of rooted macrophytes with eutrophication[J]. *Hydrobiol* , 1989, **173**: 199—217

[18] Sinha A K, Banuah A, Singh D K *et al* . Biodiversity and pollutional status in relation to physicochemical factors of Kavar lake wetland (Begusarai) , North Bihar [J] , *J Freshwat Biol*, 1994, **6** (4) : 309—316

[19] Chen H D, He C H . Standing crop of the macrophytes of Lake Donghu, Wuchang, with reference to the problem of its rational piscicultural utilization[J] . *Acta Hydrobiol Sin*, 1975, **5** (3) : 410—420.
[陈洪达, 何楚华. 武昌东湖水生微管束植物的生物量及其在渔业上的合理利用问题[J] . 水生生物学集刊. 1975, **5** (3) : 410—420]

[20] Lehman A, Lachavanne J B. Geographic information system and remote sensing in aquatic botany[J] . *Aquat Bot*, 1997, **58**: 195—207

A COMPARATIVE STUDY ON AQUATIC PLANT DIVERSITY IN FIVE
LARGEST LAKES OF HUBEI PROVINCE IN CHINA

PENG Ying-Hui¹, JIAN Yong-Xing², WANG Jiar-Bo² and NI Le-Yi³

(1. College of Life Sciences and Biological Technique, Central South Forestry University, Changsha 410004;
2. College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072;
3. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sinica, Wuhan 430072)

Abstract: In order to provide references for the monitoring and conservation of aquatic plant diversity in Lake Futou, Honghu, Liangzi, Changhu and Xiliang of Hubei Province in China, the species and community diversity and their long-term changes in the last fifty years were studied using field investigation(from 1999 to 2001) , geographical information system technique (GIS) and global position system technique (GPS) . The relationship between diversity loss and human disturbance intensity was also analyzed in the paper. Besides, the authors discussed the mechanisms leading to the diversity loss. The main results are summarized as follows: (1) It was found that in the year 2001, there were 61, 94, 87, 92 and 77 aquatic plant species in Lake Futou, Honghu, Liangzi, Changhu and Xiliang , respectively. Among the five lakes, Lake Futou and Honghu(experiencing the highest disturbance intensity) showed the lowest species to area ratio(0. 53 species/ km² and 0. 27 species/ km², respectively) . The highest value, 1. 07species/ km², was found in Lake Xiliang(with the lowest disturbance intensity) . (2) At present, there were 5, 5, 12, 12 and 13 aquatic plant associations in Lake Futou, Honghu, Liangzi, Changhu and Xiliang, respectively. The vegetation in the five lakes, with respective coverage of 16. 30%, 16. 43%, 32. 56%, 45. 16% and 62. 04%, showed the mean biomass in the whole lake of 299. 0g/ m², 764. 2g/ m², 808. 6g/ m², 1039. 1g/ m² and 1719. 8g/ m²(fresh weight) , respectively. (3) It was found that in the last fifty years, 9, 8, 5, 3 and 1 aquatic plant species, and 7, 8, 4, 2 and 1 associations had disappeared from these lakes, respectively. (4) The results indicated that aquaculture in enclosures(from the late 1980s to the present) decreased aquatic plant diversity in the five lakes much more than in the lakes(from the early 1950s to the early 1980s) . And the richness of aquatic plant diversity in the five lakes was negatively related with human disturbance intensity experienced by the lakes. Whereas the relationship between diversity loss and the disturbance intensity was just the opposite.

Key words: Aquatic plant; Species diversity; Community diversity; Long-term changes; Human disturbance; Breeding aquatics in enclosure; Lake inling