

广东肇庆星湖仙女湖区水生植被的演变*

陈学年, 郭玉娟

(广东肇庆学院生物系, 肇庆 526061)

摘要: 连续6年对星湖仙女湖区水生植被种类、分布、生物量、水体状况进行了调查研究, 共采集到水生植物24种, 隶属于18科23属, 可分为挺水植被、漂浮植被、浮叶植被和沉水植被4种生活型和8个植物群落, 其中苦草群落占水生植被生物量70%以上, 密齿苦草为绝对优势种。2004年与1999年比较, 星湖仙女湖水体叶绿素a增加142%, 透明度下降54%, 水生植被盖度和生物量减少99%。水生植被群落结构趋于简化、多样性下降; 星湖仙女湖水生植被发生逆向演替的主要原因是水体污染负荷增加和渔业生产的影响, 削减污染负荷和控制渔业生产是促进星湖仙女湖水生植被恢复的重要途径。

关键词: 星湖; 仙女湖; 水生植被; 群落结构; 逆向演替

Succession of Aquatic Vegetation in Lake Xianny of Lake Xinghu, Zhaoqing City, Guangdong Province

CHEN Xuenian GUO Yujuan

(Department of Biological Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, P. R. China)

Abstract: The species, distribution and biomass of aquatic vegetation and water quality in Lake Xianny of Lake Xinghu were investigated and monitored for consecutive six years. The results show that aquatic flora in the lake covers 24 species which belong to 18 families, 23 genus, which could be divided into 4 community and 8 associations: emergent macrophyte community, floating macrophyte community, floating-leaved macrophyte community and submersed macrophyte community. The community structure was simple and the dominant of community was *Vallisneria denseserrulate* association which accounts for 70% more of the biomass of vegetation. The water transparency decreased by 54% and the biomass and coverage of aquatic vegetation dwindled by 99%. Chla concentration increased by 142% compared with 1999. The increase of pollution loading and fisheries is the principle reason for the variation pattern of aquatic vegetation. Reducing pollution loading and controlling fisheries is the approach to the restoration of aquatic vegetation.

Key words: Lake Xinghu; Lake Xianny; aquatic vegetation; community; degradation

星湖是广东省最大的湖泊, 由五个子湖组成, 仙女湖区(112°23'E、23°6'N)以下简称仙女湖)是其中之一, 具有亚热带季风区的气候特征, 年平均气温22℃, 年平均日照1816h, 年平均相对湿度80%, 年平均降水量1655.6mm, 平均水深2.2m, 面积1.42km²。

仙女湖10年前水草茂盛, 水清见底, 水质达国家地表水Ⅲ级标准^①。但近年来, 随着肇庆市旅游业的发展和城市扩建, 仙女湖周边环境发生了较大变化, 点、面污染源增加, 原来清澈的湖水变得越来越浑浊, 透明度降低, 高营养化特征明显, 水生植被发生逆向演替, 生物多样性下降, 水生植物群落结构发生了较大变化, 水生植被趋于衰竭。作者1999-2004年对仙女湖水生态环境进行了监测和研究, 本文总结分析了近6年来仙女湖水生植物逆向演替情况, 探讨了发生这种演替的主要原因, 并提出了相应对策, 旨在为仙女湖管理和资源的可持续利用提供参考。

* 广东省教育厅自然科学基金资助项目。2004-12-28收稿, 2005-03-04收修改稿。陈学年, 男, 1964年生, 副教授, E-mail: cxnian@163.net

① 肇庆市环境保护科学研究所. 星湖风景名胜区环境质量与评估报告, 1994, 2: 49-50.

1 研究方法

根据仙女湖面积、形态特点、水文情况、植物分布特点设置 3 个断面,每个断面各设 3 个采样点,整个湖区共设 9 个采样点(图 1)。

于 1999-2004 年间每季度采样一次,方法参照《湖泊富营养化调查规范》^[1],每个采样点沉水植物采用 1/6 m² 的带网采草器采样每个点采样 3 次,漂浮植物和挺水植物群落采集,则在植物群落中划出 1 m² 面积的样方,将样方内的植物全株连根捞起或拔起,采集的水草冲洗掉泥沙和杂质,按种分别计算株数,每种植物选其中有代表性的 10-20 株用标本纸吸除植株表面水分后称其鲜重,取平均值换算出群落的单位面积生物量和总生物量。另结合环湖采样,调查水生植被种类、群落结构特点(多度、频度),盖度(目测法)。在调查水生植被的同时,对仙女湖其它生态因子进行了调查分析。

2 结果与分析

2.1 仙女湖水生植被种类

经鉴定 6 年共采集到水生植物 24 种,标本存放于肇庆学院生物系标本室中。这些植物隶属 18 科,其中湿生植物 8 种,占总数的 33.33%;挺水植物 5 种,占总数的 20.83%;浮叶植物 2 种,占总数的 8.33%;漂浮植物 3 种,占总数的 12.5%;沉水植物 6 种,占总数的 25%,优势种均为密齿苦草、穗花狐尾藻、竹叶眼子菜,均为世界广布种。

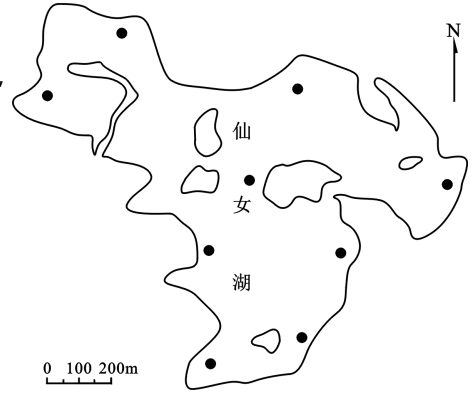


图 1 仙女湖水生植物调查样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points in Lake Xiannv

表 1 仙女湖水生植被种类名录(1999-2004 年)
Tab. 1 List of aquatia vegetation in Lake Xiannv (1999-2004)

湿生植物	挺水植物
蓼科 <i>Polygonaceae</i>	睡莲科 <i>Nymphaeaceae</i>
1 两栖蓼 <i>Polygonum amphibium</i>	12 莲 <i>Nelumbo nucifera</i>
2 水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	13 萍蓬草 <i>Nuphar pumilum</i>
柳叶菜科 <i>Onagraceae</i>	禾本科 <i>Gramineae</i>
3 水龙 <i>Jussiaea repens</i> *	14 芦苇 <i>Phragmites communis</i>
伞形科 <i>Umbelliferae</i>	雨久花科 <i>Pontederiaceae</i>
4 水芹 <i>Oenanthe stolonifera</i>	15 慈姑 <i>Sagittaria sagittifolia</i>
禾本科 <i>Gramineae</i>	苋科 <i>Amaranthaceae</i>
5 水生黍 <i>Panicum paludosum</i>	16 莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>
浮叶植物	龙胆科 <i>Gentianaceae</i>
旋花科 <i>Inula britannica</i>	17 金银莲花 <i>Limnanthemum indicium</i>
6 蕹菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	18 野菱 <i>Trapa incisa</i> *
雨久花科 <i>Pontederiaceae</i>	
沉水植物	水鳖科 <i>Hydrocharitaceae</i>
7 鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i>	19 轮叶黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>
天南星科 <i>Araceae</i>	20 密齿苦草 <i>Vallisneria denserrulata</i>
8 野芋 <i>Colocasia antiquorum</i>	
漂浮植物	小二仙草科 <i>Haloragidaceae</i>
雨久花科 <i>Pontederiaceae</i>	21 穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>
9 凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i>	22 聚草 <i>Ceratophyllum demersum</i> **
天南星科 <i>Araceae</i>	眼子菜科 <i>Potamogetonaceae</i>
10 大藻 <i>Pistia stratiotes</i>	23 竹叶眼子菜 <i>Potamogeton malaianus</i>
浮萍科 <i>Lemnaceae</i>	金鱼藻科 <i>Ceratophyllaceae</i>
11 浮萍 <i>Lemna minor</i>	24 金鱼藻 <i>Ceratophyllum oryzetorum</i>

* 2002 年消失 ** 2003 年消失

2.2 仙女湖水生植物群丛及分布

2.2.1 沉水植物 苦草群丛:为仙女湖绝对优势水生植物群丛,生物量占全湖水生维管束植物总量 70% 以上,群落结构简单,主要种类是密齿苦草,偶尔伴有少量穗花狐尾藻、竹叶眼子菜等水生植物,1999 年全湖分布,现仅残存于仙女湖北岸,石牌村一带。

轮叶黑藻群丛:多生长在湖边水深 30–80 cm 处,常伴有穗花狐尾藻、聚草等水生植物,1999 年仙女湖北岸、西岸、南岸均有分布,现残存于仙女湖南岸阎风岩山脚下放生池内。

穗花狐尾藻群丛:常伴有密齿苦草、竹叶眼子菜等水生植物,1999 年全湖沿岸斑块状分布,为仙女湖主要水生植物群丛之一,2003 年仅残存于仙女湖北岸,石牌村、七星岩北门一带,2004 年消失。

竹叶眼子菜群丛:常伴有密齿苦草、穗花狐尾藻等水生植物,1999 年全湖沿岸斑块状分布,为仙女湖主要水生植物群丛之一,以后逐年减少,2003 年仅残存于仙女湖北岸,石牌村一带,2004 年消亡。

2.2.2 漂浮植物 凤眼莲群丛:常伴有喜旱莲子草、大藻等水生植物,主要分布在仙女湖北岸石牌村入湖河口处。

2.2.3 湿生植物 水蓼群丛:多生长在湖边湿地,亦可生活在湖中浅水区成为挺水植物,一般群落结构简单,偶伴有两栖蓼、水生黍等湿生植物,零星分布于仙女湖招鸟岛、湖北岸石牌村、七星岩北门一带。

2.2.4 挺水植物 喜旱莲子草群丛:多生活于湖沿岸浅水区,常伴有凤眼莲、大藻等水生植物,零星分布于仙女湖北岸湖中浅水滩涂及石牌村入湖河口处。

莲群丛:常伴有轮叶黑藻、金鱼藻等水生植物,在仙女湖东岸罗汉岛、禾花水道附近有少量分布。

2.3 主要水生植物生物量的季节变化

水生植物群落生物量的季节变化规律是:随生长季节不同各群落最大生物量出现期有所差异。仙女湖几种主要沉水植物生物量高峰期均出现在 8 月–10 月(表 2)。

表 2 仙女湖主要水生植物不同季节生物量(湿重)变化情况(1999 年)

Tab. 2 Changes in biomass (wet weight) of main aquatica vegetation in various seasons (1999), Lake Xiannv

种 类	3 月	6 月	9 月	12 月
苦草(g/m^2 (FW))	418.39	651.73	1082.12	727.25
穗花狐尾藻(g/m^2 (FW))	181.62	269.08	332.96	243.40
竹叶眼子菜(g/m^2 (FW))	83.47	196.71	249.72	220.34

2.4 水生植被群落结构与生物量年度变化

仙女湖水生植被分布以沉水植物为主,近 6 年仙女湖来水生植物多样性和物种丰度逐年减少,水生植被盖度明显下降、分布区域缩小、群落结构趋于简单,生物量锐减,沉水植物濒于消亡,目前已有 3 种水生植物和 2 个水生植物群丛消失。

优势种如密齿苦草、穗花狐尾藻、竹叶眼子菜等的分布区明显缩小,植被组成单调,多样性差,群落结构脆弱。仙女湖已经由 6 年前的草型湖泊(沉水植物盖度 $\geq 60\%$)演变成目前的藻型湖泊,水生植物群落结构发生了较大变化(表 3)。

2.5 仙女湖水生植物演替相关因子变化

2.5.1 仙女湖水质变化 上世纪 90 年代,仙女湖北岸铁路和过境公路开通,肇庆市旅游和房地产开发掀起高潮,仙女湖大兴土木,填湖造岛修路建堤,开挖人工运河,自然湖滨湿地缓冲带消失。土建工程和观光游船穿梭将沉积于湖底的有机质搅动,促使沉积物重新悬浮和营养盐释放,导致内源污染增加。另一方面,近年来,仙女湖上游水源地—北岭山过度开发,森林植被遭到破坏,山溪水干枯或被截留,水土流失严重,数百栋别墅和三十余家餐馆污水未经处理直接排入仙女湖,成为仙女湖主要外源,加快了湖泊富营养化进程。据肇庆学院生物系近 6 年对仙女湖环境调查数据显示(表 4) 2004 年与 1999 年比较, TN 增加 36%, BOD_5 增加 487%, Chla 增加 142%, TP 和 COD_{Cr} 虽有所下降,但仍在富营养水体范围之内, N/P 却从 9.19 升至 17.37,更利于藻类的生长,水体透明度从 1.35m 降至 0.62m,降幅达 54%。

表3 仙女湖主要水生植物群落结构变化情况(每年9月份采样调查结果)*

Tab.3 Changes in the community structure of main aquatic plants in Lake Xiannv

年份	植物群落结构	盖度 (%)	分布面积 ($\times 10^4 \text{ m}^2$)	平均现存量 (g/m^2)	总现存量 (t)
1999年	密齿苦草(5 E)、穗花狐尾藻(5 E)、竹叶眼子菜(4 B)	60	85.20	1954	1664.80
2000年	密齿苦草(5 E)、穗花狐尾藻(4 C)、竹叶眼子菜(3 B)	50	71.00	1361	966.31
2001年	密齿苦草(4 E)、穗花狐尾藻(3 C)、竹叶眼子菜(2 B)	30	42.60	1175	500.55
2002年	密齿苦草(2 A)、穗花狐尾藻(1 A)、竹叶眼子菜(1 B)	10	14.20	990	140.58
2003年	密齿苦草(1 A)、穗花狐尾藻(+ A)、喜旱莲子草(1 A)	2	2.84	423	12.01
2004年	密齿苦草(+ A)、喜旱莲子草(1 A)	0.01	0.0142	207	0.03

*表中多度分6等级:5、非常多,盖度大于20% A、多,盖度 $\geq 5\%$ B、较多,盖度 $< 5\%$ C、较少,盖度很小;1、少;+、极少.频度分为5级:A 1% - 20% B 21% - 40% C 41% - 60% D 61% - 80% E 81% - 100%

表4 仙女湖水质变化

Tab.4 Water qualite changes of Lake Xiannv

年份	SD(m)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	N/P	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	Chla(mg/m^3)
1999年	1.35	0.625	0.068	9.19	7.72	1.35	5.37
2000年	1.13	0.632	0.065	9.72	7.14	1.82	7.64
2001年	0.97	0.667	0.059	11.31	6.20	2.63	9.09
2002年	0.91	0.694	0.053	13.09	5.98	4.49	11.13
2003年	0.68	0.750	0.047	15.96	5.26	6.10	12.27
2004年	0.62	0.851	0.049	17.37	5.22	7.92	12.98

2.5.2 渔业生产 渔业生产是仙女湖的功能之一,仙女湖在20世纪90年代中后期大量放养草食性水生经济动物(草鱼、河蟹)、底栖鱼类(鲤鱼、罗非鱼)、滤食性鱼类(鲢鱼、鳙鱼),渔业结构发生了较大变化,产量逐年提高,2004年较1999年渔业产量增加了58%,其中鲢鳙滤食性鱼类产量增加252%,罗非鱼产量增加355%,伴随着渔业产量提高的同时,仙女湖水生植被接近消亡,草食性鱼类由于沉水植物衰竭产量减少87%(表5)。

表5 仙女湖渔业产量统计表

Tab.5 Fishries biomass of Lake Xiannv

年份	鲢鳙鱼(t)	罗非鱼(t)	鲤鱼(t)	鳊鱼(t)	草鱼(t)	总产量(t)
1999年	2.5	2.2	3.5	0.8	3.7	12.7
2000年	3.2	3.1	3.2	0.5	3.5	13.5
2001年	6.0	5.3	1.2	0.6	2.8	15.9
2002年	7.9	7	1.5	0.8	1.2	18.4
2003年	8.3	8.9	1.2	0.5	0.7	19.6
2004年	8.8	10	0.5	0.3	0.5	20.1

4 讨论

4.1 仙女湖水生植被演替的原因

一般认为引起水生植被分析演替发生的原因是环境压力的增加,如受鱼类摄食、外来物种入侵、光强、温度、矿质元素等因子影响,这些环境因子的变化可对原有优势种生长造成胁迫,特别是沉水植被生产力、分布和种类结构的变化^[2]。随着湖泊富营养化加剧和鱼类摄食强度的增加,使得每个演替系列群落相继地由忍受性强的种类占据优势,物种数目沿着压力梯度的增加而逐渐减少^[3]。仙女湖近6年水生植被逆向演替缘于环境压力的增加,表现在以下两方面:

4.1.1 水体污染负荷增加 水体富营养化 近6年来,内外污染源的增加导致仙女湖水体TN、TP、Chla逐年上升,水透明度和水生植被生物量下降。李文朝和张圣照^[4,5]在太湖试验表明,湖泊水体富营养化,藻类大量繁殖,透明度降低,在太湖五里湖区测得透明度降为0.3-0.5m时,水下相对光线强度(水下光强与水

面上光强之比)大于5%的水层厚度仅0.3-0.5 m左右,湖底光度还不足水面强度的1%,远未达到水生植物生长所需光强度(水下相对光线强度大于5%),水下光照不足是沉水植物生长受到限制甚至死亡的主要原因。仙女湖水体富营养化特征明显,2004年透明度已经降至0.62 m,与太湖五里湖区透明度接近,水下光照不足是沉水植物趋于消亡的主要原因之一。

4.1.2 渔业生产 鱼类属于湖泊生态系统中的顶级消费者,渔业生产直接影响湖泊生物群落结构和水质状况,Bronmark和Weisner^[6]认为浅水湖泊富营养化过程中沉水植被消失的首要原因是浮游植物生物量增加引起的遮光作用,而引起从水生植物占优势向浮游植物占优势的状态转变的最终原因是鱼类群落结构的变化。

我国湖泊渔业生产以“四大家鱼”为主要放养对象,高密度放养“四大家鱼”很可能给湖泊生态系统带来一场灾难。草鱼可直接牧食草茎、嫩芽、草根导致水草资源衰竭,大量放养草食性鱼类导致湖泊水生植被衰竭的反面案例不少,如杭州西湖、武汉东湖、南京玄武湖等众多湖泊在20世纪70年代放养草食性鱼类导致湖泊水生植被彻底破坏^[7,8]。国外从我国引进草鱼放养到湖泊后,同样发现水生植被减少,湖泊生态系统受到影响^[9]。大量放养底栖鱼类,由于鱼类的活动如寻觅食物时搅动沉积物,使营养盐回复悬浮状态或在消化活动中释放磷,大大增加水体氮、磷的量。张国华等人^[10]试验结果显示:引入鲤鱼与无鲤鱼的系统相比,总磷增加了3倍,藻类鲜重增加了一个数量级。Northcote^[11]发现鲤与鲢混养,引起浮游植物生物量和生产力的上升,由于鲤的直接摄食和寻觅食物时的挖掘行为,试验圈中的水草生物量减少了67%。放养鲢、鳙等滤食性鱼类控制湖泊水体蓝藻水华的发生在武汉东湖取得了成功经验^[12],但鲢、鳙对浮游生物的控制作用并未解决水体富营养化问题,反而加速了水体物质的释放过程,促使浮游生物向小型化方向发展,有时藻类总量会增加^[13-15]。

仙女湖近6年渔业产量增加与水生植被减少几乎同步,鱼类结构发生了较大变化,除了草鱼因水草资源枯竭减产外,鲢、鳙、罗非鱼产量增幅较大,其中罗非鱼在仙女湖大量繁殖已成为优势种群,它对水生植被的破坏作用不可低估。肇庆学院生物系在水泥池内用罗非鱼作为实验材料证实了罗非鱼可直接摄食苦草等沉水植物,其寻觅水草根茎和繁殖筑巢挖掘行为可导致沉水植物漂浮和底泥营养盐的释放,加快水体富营养化进程,直接胁迫仙女湖沉水植被生存与恢复。

4.2 仙女湖水生植被恢复途径

仙女湖由于污染负荷增加和渔业生产的影响,水生植被遭到毁灭性破坏,仙女湖水生植被的恢复须做好以下几方面工作:

4.2.1 减少外源污染 北岭山别墅群和餐馆的生活污水是仙女湖主要污染源,因此严格监管处理这些生活污水是仙女湖治理工作的重点与难点。鉴于这些污染源比较分散,适宜推广应用人工湿地污水处理技术^[16,17],生活污水经处理达标后方可排放。

清理整顿北岭山开发建设项目,保护和恢复北岭山森林植被,减少点面污染源,严格控制外源性营养物质输入仙女湖,减轻湖泊污染负荷,减缓水体富营养化进程,为水生植被的恢复创造条件。

4.2.2 控制渔业生产,转变湖泊功能 渔业生产给湖泊生态环境带来的负面影响已逐步被人们所认识,以“四大家鱼”为放养主体鱼的湖泊养殖模式,加速了湖泊的富营养化,过量放流草食性鱼类,导致湖中水生高等植物急剧减少,使草型湖泊演变为藻型湖泊^[18]。国外用凶猛鱼类控制食浮游鱼类,增加浮游对浮游生物摄食,降低水生植量,提高水体透明度。

仙女湖作为城郊湖泊,其旅游观光与城市景观生态价值远远大于渔业生产带来的效益。改革传统渔业经营方式,调整鱼群结构,适当放养鲈鱼、鳊鱼等凶猛性鱼类,控制和消除罗非鱼是恢复仙女湖水生植被的重要措施之一。

4.2.3 引种水生高等植物,重建水生植被 水生植被吸收同化水体和底泥中的营养物质,抑制浮游植物繁殖,对降低湖水中营养物质的含量和净化水质具有积极意义,重建水生植被有助于恢复原有的食物链,使水体生态系统步入良性循环。根据仙女湖不同时期不同生态环境特点,有计划分步骤引种不同生活型植物,优化水生植被结构;可结合仙女湖旅游业发展,在湖边和敞水区大量种植赏叶、赏花和赏果植物,如睡莲、莲、芡实、菱角、灯心草、水生美人蕉、鸢尾、芦苇等水生植物,提高湖泊观赏价值和整体效应。

5 参考文献

- [1] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京:中国环境科学出版社,1990.
- [2] 刘健康. 高级水生生物学. 北京:科学出版社,1999:224-240.
- [3] 严国安,马剑敏,邱东如,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.
- [4] 李文朝,连光华. 几种沉水植物营养繁殖体萌发的光需要研究. 湖泊科学,1996,8(增刊):25-29.
- [5] 张圣照,王国祥,濮培民. 太湖藻型富营养化对水生高等植物的影响及植被的恢复. 植物资源与环境,1998,7(4):52-57.
- [6] Bronmark C, Weisner SEB. Indirect effects of fish community structure on submerged vegetation in shallow, eutrophic lake: an alternative mechanism. *Hydrobiologia*, 1992, 243/244: 293-301.
- [7] 陈洪达,何楚华. 武昌东湖水生维管束植物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.
- [8] 陈洪达. 养鱼对武汉东湖生态系的影响. 水生生物学报,1989,13(4):359-368.
- [9] McLachlan A J. The effect of macrophytes on the variety and abundance of benthic fauna in a newly created lake in the tropics(Lake Kariba). *Arch Hydrobiol*, 1969, 66: 212-231.
- [10] 张国华,曹文宣,陈宜瑜. 湖泊放养渔业对我国湖泊生态系统的影响. 水生生物学报,1997,21(3):271-280.
- [11] Northcote T G. Fish in the structure and function of fresh water ecosystem a " top-down "view. *Can J Fish Aqua Sci*, 1988, 45: 361-379.
- [12] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制. 北京:科学出版社,2003:103-126.
- [13] Opuszynski R W. Use of phytophagous fish to control aquatic plants. *Aquaculture*, 1972, (1):61-73.
- [14] Smish D W. Phytoplankton and catfish culture a review. *Aquaculture*, 1988, 74:167-189.
- [15] 陈少莲. 鲢鳙对鱼粪消化利用的研究. 水生生物学报,1989,13(3):250-258.
- [16] 吴振斌,詹发萃,邓家齐等. 综合生物塘处理城镇污水研究. 环境科学学报,1994,14(2):223-228.
- [17] 吴振斌,成水平,贺锋等. 垂直流人工湿地地的设计及净化功能初探. 应用生态学报,2002,13(6):715-718.
- [18] 温周瑞,黄喆,刘慧集. 从生态学角度谈我国湖泊渔业的可持续发展. 水利渔业,2002,22(4):1-3.
- [19] Urabe J. Effect of a zooplankton community on seston elimination in a restored pond in Japan. *Restoration Ecology*, 1994, 2(1):61-70.
- [20] McQueen D J. Manipulating lake community structure :where do we go from here ? *Freshwater Biol*, 1990, 23:613-620.