

# 沉水植物在生态修复和水质改善中的作用

## ——以惠州南湖生态系统的修复与构建(中试)工程为例

刘从玉<sup>1</sup>, 刘平平<sup>1</sup>, 刘正文<sup>2</sup>, 陈清<sup>3</sup>, 柴夏<sup>\*</sup>

(1. 南京中科水治理工程有限公司, 江苏南京 210008; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏南京 210008; 3. 惠州市环境科学研究所, 广东惠州 516001)

**摘要** [目的] 探索改善惠州西湖水质的有效途径。[方法] 于2007年5~10月对惠州南湖(西湖子湖之一)生态修复中试区的水质进行调查分析。[结果] 工程区水体中总磷和总氮含量分别降低54.47%和52.67%, 叶绿素含量也降低78.59%。水体由浑水态转变成清水态, 透明度由原来的30 cm厚提高到150 cm厚。营养指数下降28.5%, 营养盐含量大幅度降低, 生态链的多样性提高2~3倍。沉水植物增长迅速, 其覆盖率达50%~60%, 其中苦草生物量为2.2 kg/m<sup>2</sup>, 黑藻生物量为9.6 kg/m<sup>2</sup>, 说明工程区有向原生演替的趋势。[结论] 沉水植物的恢复与重建是改善西湖水质的关键。恢复并建立相对复杂的水生态系统, 是解决惠州西湖水体富营养化的根本途径。

**关键词** 生态修复; 营养盐; 沉水植物; 原生演替

中图分类号 X832 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)07-02908-03

### Study on the Functions of Submerged Macrophytes in Ecological Restoration and Water Quality Improvement

LIU Cong-yu et al (Nanjing Zhongke Water Control Engineering Co. Ltd, Nanjing, Jiangsu 210008)

**Abstract** [Objective] The aim of the research was to discuss the effective approach to improve the water quality of Huizhou West Lake. [Method] The water quality of middle test ecosystem restoration area in Huizhou South Lake (one sub-lake of West Lake) was investigated from May to October of 2007. [Result] The contents of total phosphorus and total nitrogen in water body of the engineering area were decreased by 54.47% and 52.67% resp., the content of chlorophyll was also decreased by 78.59%. Water body turned into clear water state from muddy water state and the diaphanity was increased from original 30 cm to 150 cm in thickness. Nutritional index was decreased by 28.5%, the content of nutritious salt was greatly decreased and the diversity of ecological chain was increased 2~3 times. Submerged macrophytes grew up rapidly and their coverage rates reached 50%~60%. And the biomass of *Vallisneria spiralis* was 2.2 kg/m<sup>2</sup> and that of *Hydrilla verticillata* was 9.6 kg/m<sup>2</sup>, which indicated that the engineering area had a trend of primary succession. [Conclusion] The restoration and reconstruction of submerged macrophytes was the key to improve the water quality of West Lake. It was the basic approach for solving water eutrophication in Huizhou West Lake to restore and establish relatively complex water ecosystem.

**Key words** Ecological restoration; Nutritious salt; Submerged macrophyte; Primary succession

惠州西湖是广东省面积大于100 hm<sup>2</sup>的永久性淡水湖泊之一, 由平湖、丰湖、南湖、菱湖、鳄湖5个子湖组成, 其中南湖中试区是南湖的一部分, 工程区水面约12万m<sup>2</sup>, 水深1.6~2.2 m。1995~2003年, 惠州市政府采用截污、清淤、引清的措施进行分湖整治。目前已无污染源直接排入, 对湖底淤泥已经进行了较大规模的清理, 松软底泥面积较小, 且最厚不超过30 cm<sup>[1]</sup>。南湖总氮年平均浓度1.5 ng/L, 总磷年平均浓度0.26 ng/L, 叶绿素a年平均浓度为69.26 μg/L(最高可达140 μg/L), 悬浮物年平均浓度26 ng/L(最高达50 ng/L以上), 透明度约为30 cm。从以上指标可以看出, 南湖总磷较高, 属国家地表水水质标准的劣V类。由于叶绿素和悬浮物浓度高, 南湖水色常年为黄绿色, 透明度低, 感观很差。为此, 笔者以惠州南湖生态系统的修复与构建(中试)工程为例, 研究沉水植物在生态修复和水质改善中的作用, 以期对惠州西湖水质改善提供有效途径。

### 1 材料与方 法

**1.1 采样点的设置** 根据南湖的大小、地形、地理位置以及湖泊环境研究的实际需要, 在南湖工程区设2个采样点(1号点和2号点), 在非工程区设1个采样点(3号点)。各样点的GPS点位如下: 1号点, N 23°04'45.43", E 114°23'53.88"; 2号点, N 23°04'50.09", E 114°23'49.51"; 3号点, N 23°04'58.1", E 114°23'48.41"。

**1.2 采样与试验方法** 2007年5~10月, 对南湖采样调查, 用塞氏盘测定水体透明度(Secchi disk depth, SD), 用pHS-3C酸碱度计测定水体的pH值。水化指标总磷(Total phosphate,

TP)、总氮(Total nitrogen, TN)、正磷酸(Orthophosphate, PO<sub>4</sub>-P)、硝氮(Nitrate nitrogen, NO<sub>3</sub>-N)、亚硝氮(Nitrite nitrogen, NO<sub>2</sub>-N)、氨氮(Ammonia nitrogen, NH<sub>4</sub>-N)均按照国家水质标准GB3838-2002进行测定。营养指数(TLI)的计算方法采用金相灿等的方法<sup>[2]</sup>。



图1 南湖地图

Fig.1 Map of South Lake

### 2 结果与分析

#### 2.1 工程区理化指标的变化

通过对工程区的各项指标的监测, 总磷、总氮均有下降的趋势。由于5~9月, 广东地区正值雨季, 通过城市暴雨径流和降尘、降水等途径进入西湖的营养物质仍然较高。估算表明, 每年通过降尘进入西湖的水量为11.69 t, 通过雨水进入西湖的水量270 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 降水在降落前通过淋洗作用, 将大气中的污染物带入湖泊。西湖位于城市中心, 受排水管网设计限制, 暴雨产生的城市地表径流每年有50 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>溢流入湖<sup>[3-4]</sup>。国内外多项研究表明, 城市降尘和暴雨径流中TN、TP等的浓度较高, 分别达3~10、0~0.6 ng/L, 具体情况见表1<sup>[5]</sup>。

由图2可以看出, 5~9月份总氮、总磷受雨水的影响很大。随着雨季的过去, 南湖受到的外界干扰减少, 沉水植物增长并通过根系吸收底泥中的氮、磷营养。沉水植物又可以通过根茎利用水中的营养物质, 由于其生活史较长, 多为1~2年生, 死亡后这些营养盐才会被逐渐释放出来, 因此当水中的沉水植物发育良好时, 就会有大量的营养物质固定在体内, 这样就减缓了营养盐在水中的循环速度<sup>[6]</sup>。

**作者简介** 刘从玉(1981-), 男, 江苏淮安人, 建造师, 从事水生态系统的修复与构建研究。\* 通讯作者。

收稿日期 2007-11-04

表1 城市暴雨径流和降水污染物浓度  $\text{mg/L}$ 

Table 1 Concentration of pollutants in urban storm runoff and precipitation

项目 Item	TP	TN	SS	COD	BOD <sub>5</sub>
城市暴雨径流 Urban storm runoff <sup>[4]</sup>	0 ~0.6	3 ~10	100 ~10 000	20 ~600	10 ~250
城市降水 Urban precipitation	0.01 ~0.03	0.21 ~2.8		0.79 ~22.73	0.50 ~0.72

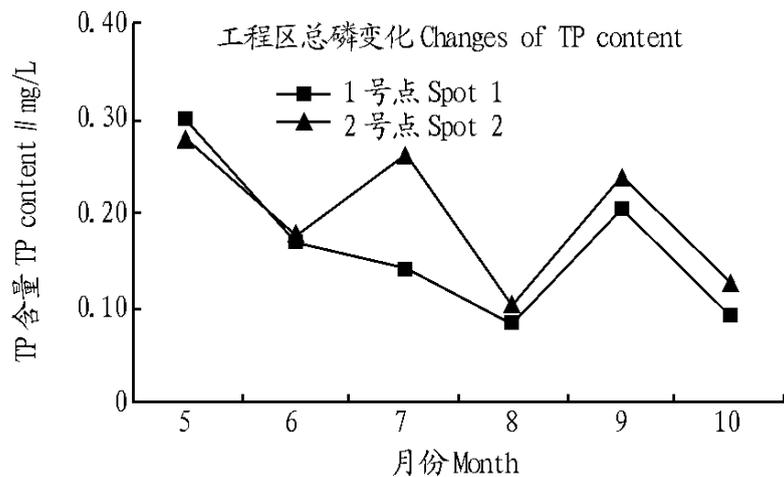


图2 工程区内营养盐的变化情况

Fig.2 Changes of nutritional salts in project area

育出高密度的浮游动物群落。浮游动物能够大量捕食藻类，也间接地控制藻类的数量。沉水植物密集的枝叶与水体有着庞大的接触面积，能够吸附水体中的悬浮颗粒。一些种类

由图3可以看出，从5月到10月，水体中的叶绿素含量也明显下降。这主要是因为同为水体的初级生产者，沉水植物和藻类在营养物质和光照等方面存在排斥竞争，因此水体中若有发育良好的沉水植物就可强烈地抑制藻类的生长。首先是沉水植物通过竞争生长资源（即大量固定水体中的氮、磷营养），使藻类生长受到抑制。其次，一些沉水植物可分泌针对藻类生化敏感的物质杀死藻类或抑制其生长<sup>[6]</sup>。另外，沉水植物为浮游动物提供庞大的栖息表面积，从而抚

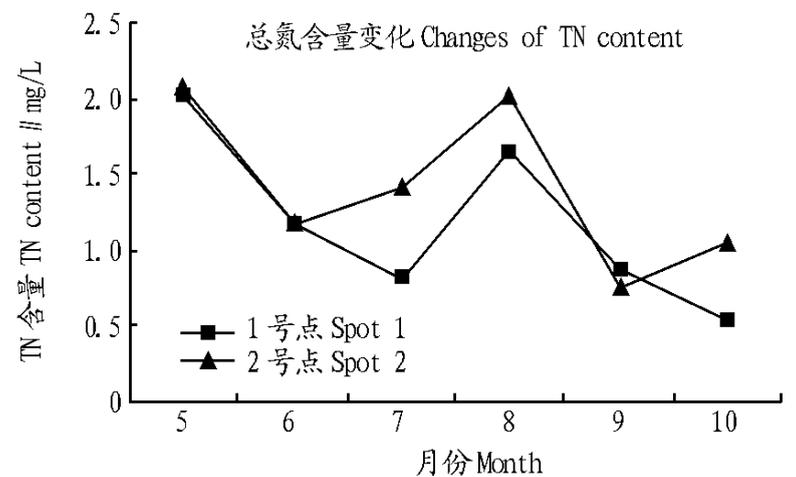


图2 工程区内营养盐的变化情况

Fig.2 Changes of nutritional salts in project area

的沉水植物还可以分泌助絮物质，促进中小颗粒的沉降<sup>[6]</sup>，从而使水体的透明度提高（图3）。除此之外，沉水植物好氧的根系环境也可以起到固定底泥、减少氮磷释放的功能。

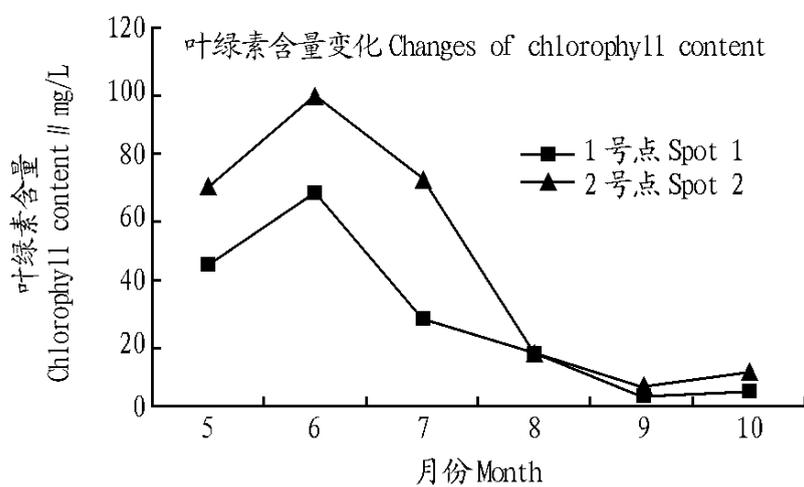


图3 工程区内叶绿素和透明度的变化

Fig.3 Changes of chlorophyll content and transparen in project area

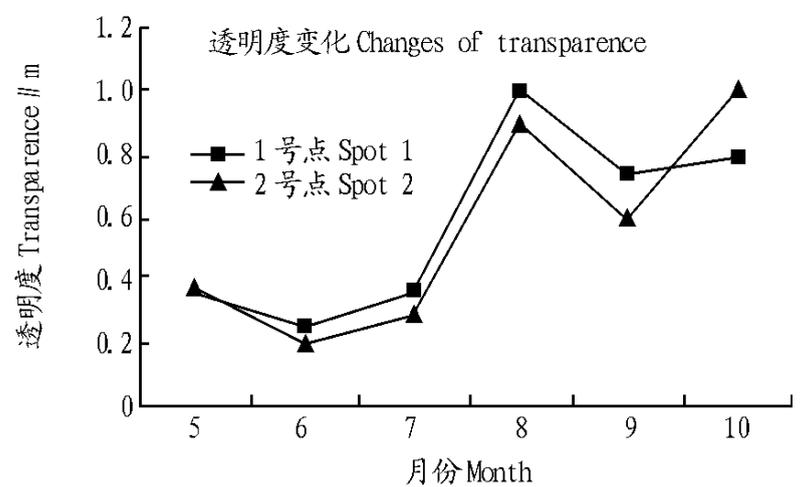


图3 工程区内叶绿素和透明度的变化

Fig.3 Changes of chlorophyll content and transparen in project area

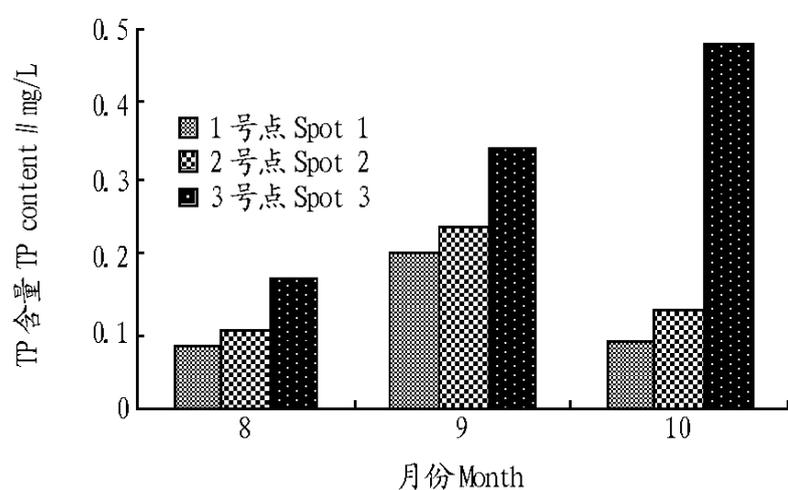


图4 中试区和非工程区的营养盐对比

Fig.4 Contrast on nutritional salts between pilot area and non-project area

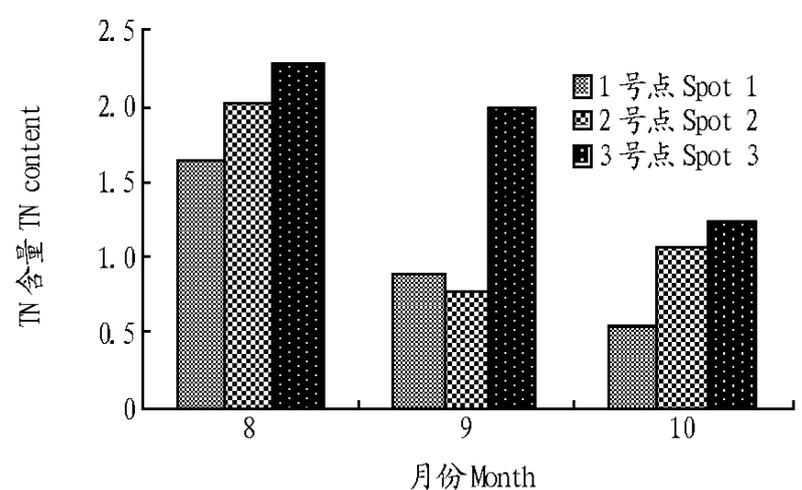


图4 中试区和非工程区的营养盐对比

Fig.4 Contrast on nutritional salts between pilot area and non-project area

**2.2 中试区与非工程区对比组的变化** 通过对中试区和非工程区的监测对比，发现两者水体的理化指标有很大的区别。水生态系统，特别是水生植被有2种演替方式：原生演替和逆向演替。水生环境中的演替路径为藻类—沉水植被—浮叶植被—挺水植物—沼生植被—陆生植被。原生演替

的结果是水生植被和水体消失。逆向演替也称为退化，其演替方向与原生演替相反，其演替的结果是植被结构趋于简化、生物多样性下降，环境干扰是逆向演替产生的原因<sup>[7]</sup>。中试区通过排除人工干扰、人工恢复水生植被、调节生态结构，水质的理化指标均有不同程度的好转，营养盐大幅度降

低,与非工程区形成鲜明的对比(图4)。

由表2可以看出,工程区水体的其他各项理化指标和营养指数(TII)均有不同程度的下降。浮游植物的数量不断减少,而沉水植物增长迅速,说明工程区的演替方式呈向原生态演替的趋势。而非工程区的沉水植物几乎不存在,叶绿素含量高达90.66  $\mu\text{g/L}$ ,与工程区恰恰相反。

表2 中试区非工程区各样点理化指标和营养指数

Table 2 The physicochemical properties and nutritional indices for each spot in pilot area and non project area

理化指标	1号点	2号点	3号点
Physicochemical properties	Spot 1	Spot 2	Spot 3
总磷TP $\text{ng/L}$	0.090 9	0.126 4	0.474 4
正磷酸盐Orthophosphate $\text{ng/L}$	0.009 5	0.009 5	0.030 7
总氮TN $\text{ng/L}$	0.541 5	1.05	0.925 3
硝氮Nitrate N $\text{ng/L}$	0.266 1	0.383 2	0.191 6
氨氮Ammonia N $\text{ng/L}$	0.196 3	0.190 7	0.295 7
亚硝氮Nitrite N $\text{ng/L}$	0.005 9	0.0098	0.011 4
叶绿素a Chlorophyll a $\mu\text{g/L}$	3.92	10.914	93.663
透明度Transparence m	0.8	1	0.35
COD $\text{ng/L}$	10.4	62.6	40.2
pH值pHvalue	9.22	8.87	8.95
营养指数	46.44	55.65	69.83
Nutritional indices TII			

## 2.3 水生生态系统的变化

### 2.3.1 修复前生态系统情况。

**2.3.1.1 鱼类和底栖动物。**调查表明,西湖鱼类主要包括鲤鱼、鲫鱼、鲢鱼、罗非鱼、鳊鱼、鳙鱼和鲚鱼等7种<sup>[8]</sup>。鲤鱼、鲫鱼、鲢鱼和罗非鱼都为中下层鱼类,食性较杂,对沉积物的扰动较大;鳊鱼、鳙鱼和鲚鱼为中上层鱼类,主食浮游生物。其中,鳊鱼以浮游植物为主,对藻类有一定的控制能力,而鳙鱼和鲚鱼以浮游动物为主要食物,不利于浮游动物的繁殖生长。西湖鱼类以杂食性中下层鱼类为主,几乎无肉食性鱼类,鱼类群落结构不合理,不利于湖泊富营养化控制和湖泊生态系统修复。大型底栖动物仅有铜锈环棱螺<sup>[8]</sup>。

**2.3.1.2 水生维管束植物。**水生维管束植物作为湖泊生态系统中的生产者,不仅能为水体中的部分鱼类、底栖动物、浮游动物等提供饵料和栖息、繁殖场所,并能影响水域中部分理化因子和净化水质,而且它是湖泊演化和湖泊生态平稳的重要调控者。西湖历史上曾经有过“湖溉田数百顷,苇藕蒲鱼之利<sup>[9]</sup>”的记载。笔者发现西湖中水生维管束植物已经消亡,可见惠州西湖生态系统退化严重。

**2.3.2 实施生态修复后的情况。**通过对水生植被构建和鱼类调控以及底栖动物的放养,生物链的多样性比修复前提高了2~3倍,水体由原来的浑水态变为清水态。沉水植物的覆盖率达到50%~60%,主要有苦草、黑藻、狐尾藻、马来眼

子菜、金鱼藻、伊乐藻、微齿眼子菜、菹草等。其中,苦草的生物量为2.2  $\text{kg/m}^2$ ,黑藻的生物量为9.6  $\text{kg/m}^2$ 。大型底栖动物的数量也有所增加,螺蛳的密度为15~20个/ $\text{m}^2$ ,河蚌为0.5~1个/ $\text{m}^2$ 。通过放养乌鳢鱼和鳊鱼等肉食性鱼类,野杂鱼类和草食性鱼类的数量得到有效控制。一个相对复杂稳定的生态链已经形成,如图5所示。

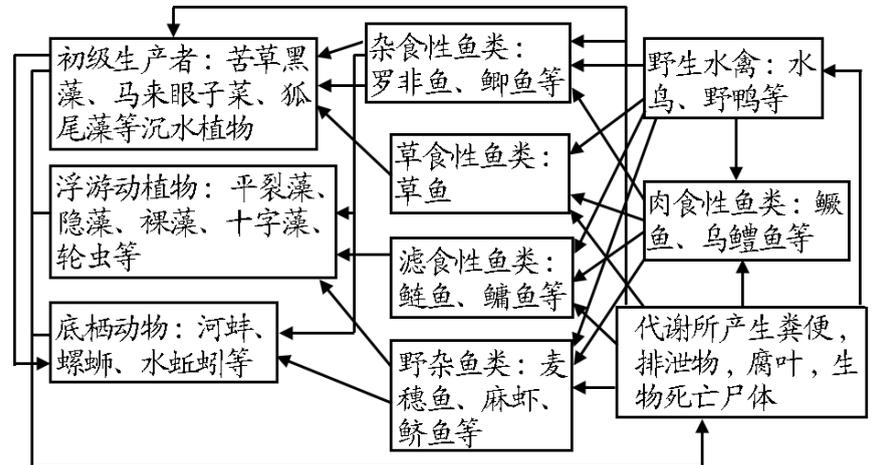


图5 修复后的南湖生物链结构

Fig. 5 Scheme of biological chain after repaired in Hunan Province

## 3 讨论

(1) 水生高等植物(特别是沉水植物)的恢复与重建是西湖水质得到改善与稳定的关键。沉水植物通过有效增加空间生态位、提供避难场所,抑制生物性和非生物性悬浮物,改善水下的光照和溶解氧条件,能缓冲营养循环速度和增加水体稳定性,能有效提高水环境质量<sup>[6]</sup>。通过不断优化生态系统结构,生态环境改善、水质保护和城市发展最大限度的协调统一,建立一个可持续发展的惠州西湖城市景观生态系统是完全可能的。南湖中试工程为西湖其他子湖的治理树立了一个典范。

(2) 截污、清淤、引清这些工程措施并不能从根本上解决惠州西湖水体富营养化现状。恢复并建立相对复杂的水生生态系统,使水生植被的演替由逆向演替转变为原生演替才是解决惠州西湖水体富营养化的根本途径。

### 参考文献

- [1] 刘正文,刘正乾,钟萍,等.惠州西湖水生态系统构建与优化管理规划[M].惠州,2005:15-30.
- [2] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990:286-308.
- [3] 李传红,黄水祥,彭俊杰,等.惠州西湖富营养化现状评价及治理探讨[J].生态科学,2005,23(2):156-159.
- [4] 吴慧芳,陈卫.城市降雨径流水质污染探讨[J].中国给水排水,2002(12):28-30.
- [5] 万洪富,王继增,卓慕宁,等.珠海市非点源污染负荷研究方法初探[J].土壤与环境,2002(4):74-77.
- [6] 种云霄.利用沉水植物治理水体富营养化[J].广州环境科学,2005(9):41-43.
- [7] 刘建康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,1999:229-230.
- [8] 李传红,朱文转,刘振乾.惠州西湖水生态系统初步调查[J].广州环境科学,2006,9(21):38-42.
- [9] 张友志.惠州西湖志[M].广州:广东教育出版社,1989:5-6.