

# 湖滨带生态修复研究进展

柴培宏<sup>1,2</sup>, 代嫣然<sup>1,2</sup>, 梁威<sup>1</sup>, 成水平<sup>1</sup>, 吴振斌<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

[摘要] 介绍了湖滨带的定义和功能, 阐述了湖滨带生态系统恢复的不同阶段及管理方法, 并对国内外的研究概况和发展趋势进行了综述和展望。

[关键词] 湖滨带; 生态恢复; 研究进展; 展望

[中图分类号] X171.4 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)06-0032-04

## 1 前言

湖滨带又被称为水陆生态交错带, 是连接湖泊水域生态系统与陆地生态系统的功能过渡区, 其空间范围主要取决于周期性水位涨落时湖滨干湿交替变化的空间结构<sup>[1]</sup>。按地形条件可划分为河口型、堤防型、滩地型(如湖滨湿地)和陡岸型(如岩岸和砾石岸)等类型。随着工农业发展、人口增长以及人类不合理开发活动的加剧, 越来越多的湖滨交错带结构、生态过程受到干扰和破坏, 生态功能下降, 外在表现为生物多样性下降及自然景观的退化<sup>[2]</sup>。

湖滨带生态恢复是指通过对湖滨带生态系统退化原因及其机理的诊断, 运用生物、生态工程的技术, 逐步使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽可能恢复到原有的或更高的水平<sup>[3,4]</sup>, 最终达到生态系统自我维持和良性循环状态。

## 2 湖滨带的功能

湖滨带在涵养水源、蓄洪防旱、促淤造地、净化水体、维护生物多样性和保持生态平衡等方面有重要的作用, 具体表现为<sup>[5-7]</sup>: a. 对水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流起过滤器和屏障作

用; b. 保持生物多样性并为野生动植物提供栖息地或其他特殊地; c. 稳定湖岸、控制土壤侵蚀; d. 创造资源丰富、用途多样的娱乐场所和舒适的环境。

## 3 湖滨带恢复与重建的不同阶段

湖滨带生态系统的恢复与重建主要分为前中后三个阶段。阶段一: 主要是根据湖滨带的具体情况, 通过模拟和综合评估提出最佳的恢复方案; 阶段二: 主要是恢复与重建过程的实施, 根据具体情况选择一种或多种技术相结合的工程方案, 以期达到最好的效果; 阶段三: 主要是施工后的综合管理, 这一过程的主体一般多由政府机关或社会团体来完成<sup>[8-10]</sup>, 具体各项技术对比见表 1。

表 1 湖滨带生态系统恢复与重建技术<sup>[11]</sup>

Table 1 The technologies of ecological restoration and reconstruction of lakeside zone

项目	模拟技术	工程技术	管理技术
实现方法	计算机 (VR, VB, VC, GIS 等)	机械或其他外力	政府及其他行政机构
作用时段	前后期	中期	全程

[收稿日期] 2009-12-18

[基金项目] 国家重大科技专项 (2008ZX07106-003, 2008ZX07316-004); 江苏省科技惠民项目 (BE2008651); 中科院天津专项 (TJZX2-YW-07)

[作者简介] 梁威 (1971-), 男, 河南商城县人, 中国科学院水生生物研究所副研究员、博士, 主要研究方向为人工湿地、水体生态修复、环境微生物; E-mail: wliang@ihb.ac.cn

续表

项目	模拟技术	工程技术	管理技术
实施对象	投资、工程方案的选取、规划等	路向、水向辐射带、水位变幅带	资源、公众的环境意识等
典型技术	建立在不确定性理论的投资优化技术、可视化技术、多目标规划技术等	人工浮岛技术、水生植被恢复技术、火烧技术、人工湿地技术等	基于 Grounded 理论的资源管理技术、行政法规及舆论的监督

水质控制技术主要有湿地面源污染控制技术、高营养底泥疏浚技术及引水冲洗等。其中引水冲洗可以打破藻类生长—磷释放的循环<sup>[15]</sup>, pH 也相应降低,同时可快速提高湖水的透明度,有利于沉水植物的生长和生态系统的恢复<sup>[16]</sup>。湖泊的水位、风浪均对水生植被的恢复有着重要的影响<sup>[17]</sup>,因此,在湖泊敞水区采取工程措施进行风浪控制是十分必要的。

#### 4 湖滨带恢复与重建的主要内容

湖滨带生态系统恢复与重建的主要内容大体上可以归结为生境恢复、群落结构恢复和生态系统功能恢复等 3 个方面<sup>[12]</sup>。

##### 4.1 生境恢复

生境恢复主要包括湖滨带底质修复、湖泊水文和水质条件的改善等。

底质修复的主要工作之一是淤泥的疏浚,清除含高营养盐的表层沉积物及其表面由营养物质形成的絮状胶体、半休眠状活体藻类和植物残骸等<sup>[13]</sup>,进而降低内源污染。疏浚时要防止密闭和抽吸扰动底泥而降低疏浚效果。底质修复的另一项主要工作是营造沉水植被恢复的环境条件,湖滨带的地形地貌、受光量、水温、水深和水动力条件等都影响水生植物生长和繁殖<sup>[14]</sup>。

##### 4.2 群落结构恢复

群落结构恢复应优先选用适应环境条件、净化和抗干扰能力强的土著种<sup>[14]</sup>;群落空间配置要根据湖滨带形态、底质、气候和水文条件等因素,合理配置不同生活型植物<sup>[18]</sup>;同时应结合优势种的季节变动性,保证水生植物具有周年连续性<sup>[19, 20]</sup>。

##### 4.3 生态系统功能恢复

生态系统功能恢复主要包括生态系统结构、功能的优化配置和调控、生态系统稳定化管理、景观设计及建立生态监测指标体系等。生态系统的调控是以生态演替理论为基础,通过对生态系统施以人为作用,促使其结构和功能向人们需要的方向演替,在对太湖及滇池围隔实验研究中,通过配置不同食性鱼类,围隔内浮游植物及水生微管束植物的种类组成和群落结构发生了显著变化<sup>[21, 22]</sup>。表 2 为湖滨带生态系统恢复与重建技术体系的详细介绍。

表 2 湖滨带生态系统恢复与重建技术体系<sup>[12]</sup>

Table 2 The technological systems of ecological restoration and reconstruction of lakeside zone<sup>[12]</sup>

恢复类型	恢复对象	技术体系	
生境条件	土壤	基底恢复	物理基底改造技术、生态堤岸技术、生态清淤技术等
		水土流失控制	坡面水土保持草林复合系统技术、土石工程技术等
		土壤肥力恢复	少耕、免耕技术,生物培肥技术等
	土壤污染控制	土壤生物自净技术、废弃物的资源化利用技术等	
水体	水文条件恢复	湖泊水位调控、河流廊道恢复、配水工程技术等	
	水质改善	污水处理、湖泊富营养化控制、人工浮岛等技术	
生物因素	物种	物种引入、恢复与保护	物种选育和培植技术、先锋物种引入技术、土壤种子库引入技术、物种保护技术等
	种群	种群行为控制	种群扩增及动态调控技术,种群竞争、他感、捕食等行为控制技术
	群落	群落演替控制与恢复	群落演替控制与恢复技术、群落结构优化配置与组建技术等
生态系统	结构与功能	生态系统结构与功能恢复	生态系统结构及功能的优化配置与调控技术、生态系统稳定化管理技术、景观设计技术

#### 5 湖滨带生态系统恢复与重建的判定

判定一个生态系统的功能是否恢复应包括以下两个方面<sup>[23]</sup>:公众社会感觉到的恢复和已被科学证明的恢复,主要包括:恢复基本的生境条件,减少和

控制内外源污染;实现湖滨带的基底稳定,保证生态系统发育与存在的基本载体;调整生物类群组成结构,增加湖滨带的生物多样性,提高生态系统的生产力和自我维持能力;增加视觉和美学享受,提供适宜的休息环境等。

## 6 湖滨带的管理

湖滨带的管理应考虑以下方面:a. 按生态敏感程度实施分区管理,湖滨带水位变幅区宜保持自然特征,陆地和水域可进行有限度的、合理的开发;b. 实行整体性管理,按照景观尺度而不是以简单的行政区划和局部视野来管理湖滨带;c. 设立湖滨植被缓冲带,有步骤地实施退田还湖还林还草计划<sup>[24]</sup>;d. 在生态评价的基础上划定湖滨带保护区,确定湖滨带最适宽度,制定湖滨带缓冲区设计标准及管理要求,为湖滨带保护提供理论依据;e. 湖滨带生态保护应由个别专业部门管理向一体化、社区化管理转变,促进公众参与湖滨带的管理<sup>[12]</sup>。

## 7 国内外湖滨带生态系统恢复研究进展

从1975年以来,美国政府连续拨款支持湖泊恢复的研究和技术发展,包括湖泊营养状况分类、恢复计划实施的可行性研究及恢复项目实施的反应评价等。1976—1980年6000多万美元用在湖泊分类和恢复项目的实施上,1981—1985年又增加了3300万美元的拨款作为EPA(Environmental Protection Agency,美国环境保护局)湖泊恢复计划的预算,由于生态恢复计划的实施,华盛顿湖富营养化水质控制与改善方面取得了明显的效果,被视为湖泊生态恢复的范例<sup>[25-27]</sup>。加拿大大湖地区的8个州和Ontario省开展了对大湖修复实施计划,内容包括地理范围的界定、修复效益、问题原因、修复措施及具体实施等<sup>[28]</sup>。1993年丹麦计划在近几年内分别降低湖泊氮和磷50%和80%<sup>[29]</sup>;瑞典的Trummen湖通过生态工程的综合治理,水质得到很大改善<sup>[30]</sup>。

中国科学院水生生物研究所对长江中下游典型浅水型湖泊,如武汉东湖、洪湖和保安湖等的生态系统特征、湖泊富营养化机理和水域生产力等进行了长期的调查研究,积累了丰富的资料<sup>[31-35]</sup>;中国科学院南京地理与湖泊研究所、中国科学院生态环境研究中心对江苏太湖、安徽巢湖的富营养化形成与发展进行了系统的研究分析,提出了流域控制规划和多水塘系统净化技术<sup>[36,37]</sup>;中国科学院南京地理与湖泊研究所和中国环境科学研究院分别在云南滇池和洱海开展了湖滨带生态恢复工程,以抑制蓝藻生长,改善水质和岸边景观<sup>[38,39]</sup>。中国科学院动物研究所与天津市汉沽区环保部门将沿海滩涂荒地修建的污水库改造成多级人工可控氧化塘,净化城市化工

废水和生活污水,改善蓟运河河口和渤海湾的生态环境状况<sup>[40]</sup>;中国科学院地理研究所、动物研究所和生态环境研究中心在对河北白洋淀生态系统特征进行深入细致的研究基础上,提出白洋淀区域水污染控制、水域生态系统修复的综合技术方案<sup>[41]</sup>。

## 8 问题和展望

我国湖滨带恢复的工作必须符合本国国情,可以借鉴国外先进的经验和技術,但不能完全照搬。无论我国的人口压力、生产规模与方式、经济和财政实力,还是自然环境类型、水域生态系统的特性等诸多方面都与国外存在较大差异,应根据不同的功能制定不同的评价指标和标准,采取不同的恢复措施。

### 参考文献

- [1] Huang G H, Xia J. Barriers to sustainable water - quality management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2001, 61(1): 1 - 23
- [2] 彭少麟,任海,张倩媚. 退化湿地生态系统恢复的一些理论问题[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 2026 - 2030
- [3] 章家恩,徐琪. 生态退化研究的基本内容与框架[J]. *水土保持通报*, 1997, 17(6): 46 - 53
- [4] 张永泽,王焄. 自然湿地生态恢复研究综述[J]. *生态学报*, 2001, 21(2): 309 - 314
- [5] 尹澄清. 内陆水—陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景[J]. *生态学报*, 1995, 15(3): 331 - 335
- [6] Gregory S V, Swanson F J, Mckee W A, et al. An ecosystem perspective of riparian zones[J]. *BioScience*, 1991, 41(8): 540 - 551
- [7] Naiman R J, Decamps H, Pollock M. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity[J]. *Ecological Applications*, 1993, 3(2): 209 - 212
- [8] Hall J W, Davis J P. Sources and implications of uncertainty for coastal managers [J]. *Water and Environmental Management*, 2001, 15(2): 103 - 108
- [9] Emery Roe, Michel van Eeten. Threshold - based resource management: A framework for comprehensive ecosystem management [J]. *Environmental Management*, 2001, 27(2): 195 - 214
- [10] Christopher F. Past perceptions of the great American wetland: Florida's everglades during the early twentieth century[J]. *Environment History*, 2000, 5(3): 378 - 396
- [11] 卢宏伟,曾光明,金相灿,等. 湖滨带生态系统恢复与重建的理论、技术及其应用[J]. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(6): 91 - 93
- [12] 颜昌宙,金相灿,赵景柱,等. 湖滨带的功能及其管理[J]. *生态环境*, 2005, 14(2): 294 - 298
- [13] Bakker J P, Grootjans A P, Hermy M, et al. How to define targets for ecological restoration? [J]. *Applied Vegetation Science*, 2000, 3: 3 - 6
- [14] 杨龙元,梁海棠,胡维平,等. 太湖北部滨岸带区水生植被自然修复观测研究[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(1): 60 - 66

- [15] 李文朝. 浅型富营养湖泊的生态恢复—五里湖水生植被重建实验[J]. 湖泊科学, 1996, 8(增刊): 1-10
- [16] 唐孟成, 贾之慎, 朱荫澍. 西湖沉积物磷释放影响因子的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1997, 23(3): 289-292
- [17] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001
- [18] 颜昌宙, 许秋瑾, 赵景柱, 等. 五里湖生态重建影响因素及其对策探讨[J]. 环境科学研究, 2004, 17(3): 44-47
- [19] 陈中义, 雷泽湘, 周进, 等. 梁子湖六种沉水植物种群数量和生物量周年动态[J]. 水生生物学报, 2000, 24(6): 582-588
- [20] 吴志华, 王晓辉. 巢湖东端湖滨带物理基底及生态修复[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2006, 29(9): 1068-1076
- [21] 杨清心, 李文朝. 高密度网围养鱼对水生植被的影响及生态对策探讨[J]. 应用生态学报, 1996, 7(1): 83-88
- [22] 王海珍. 生物操纵对滇池浮游植物的群落结构和初级生产力的影响研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2002
- [23] Cairns J J, Dickson K L, Derricks E E. Recovery and restoration of damaged ecosystem[M]. Charlottesville: University Press of Virginia, 1977: 1-8
- [24] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954
- [25] Edmondson W T. Recovery of Lake Washington from Eutrophication: In Recovery and Restoration of Damaged Ecosystems[M]. Charlottesville: University Press of Virginia, 1977: 102-109
- [26] Lehman J T. Control of eutrophication in Lake Washington[A]. Ecological Knowledge and Environmental Problem Solving[C]. Washington D C: National Academy Press, 1986. 301-306
- [27] Lane R R, Day J W, Kemp G P, et al. The 1994 experimental opening of the Bonnet Carre spillway to divert Mississippi River water into Lake Pontchartrain, Louisiana[J]. Ecological Engineering, 2001, 17(4): 411-422
- [28] Hartig J H, Thomas R L. Development of plans to restore degraded areas in the Great Lakes[J]. Environmental Management, 1988, 12(3): 327-347
- [29] Kronvang B, Ertebjerg G, Grant R, et al. Nationwide monitoring of nutrients and their ecological effects: State of the Danish aquatic environment[J]. Ambio, 1993, 22(4): 176-187
- [30] Bjork S. Redevelopment of lake ecosystems: a case-study approach[J]. Ambio, 1988, 17(2): 90-98
- [31] 刘建康. 东湖生态学研究(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1990
- [32] 刘建康. 东湖生态学研究(二)[M]. 北京: 科学出版社, 1995
- [33] 梁彦龄, 刘伏泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1995
- [34] 中国科学院水生生物研究所洪湖课题组. 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1991
- [35] 张甫元, 陈锡涛, 谭渝云, 等. 鸭儿湖污染治理研究[J]. 水生生物学集刊, 1983. 8(1): 113-124
- [36] 顾丁锡. 二十年来太湖生态环境状况的若干变化[J]. 上海师范学院学报(自然科学版环境保护专辑), 1983. 50-59
- [37] 屠清瑛, 顾丁锡, 尹澄清, 等. 巢湖: 富营养研究[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990
- [38] 许朋柱, 秦伯强. 太湖湖滨带生态系统退化原因以及恢复与重建设想[J]. 水资源保护, 2002, (3): 31-36
- [39] 颜昌宙, 叶春, 刘文祥. 云南洱海湖滨带生态重建方案研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(7): 459-464
- [40] 黄玉瑶. 汉沽污水库净化能力的初步研究[A]. 全国水生生态及环境微生物学会会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1984: 72-93
- [41] 章申, 唐以剑. 白洋淀区域水污染控制研究(第一集 水陆交错带水环境特征与调控机理)[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 15-22

## Advances of ecological restoration of lakeside zone

Chai Peihong<sup>1, 2</sup>, Dai Yanran<sup>1, 2</sup>, Liang Wei<sup>1</sup>,  
Cheng Shuiping<sup>1</sup>, Wu Zhenbin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

[Abstract] In this paper, the definition and function, together with the different stages of restoration and management methods of lakeside zone were introduced. The research status and prospects were summarized.

[Key words] lakeside zone; ecological restoration; research advances; prospect