

自然湿地生态恢复研究综述

张永泽¹, 王烜²

(1. 中国环境科学研究院科技处, 100012, 北京; 2. 北京师范大学环境科学研究所, 100875, 北京)

摘要:湿地由于具有丰富的资源、独特的生态结构和功能而享有“自然之肾”之称。为了更好地保护和开发利用湿地, 世界各国都在积极采取措施阻止湿地的退化或消失, 湿地的生态恢复与重建问题已成为生态学和环境科学的研究热点。在全面综述国内外湿地生态恢复研究进展的基础上, 对湿地生态恢复研究的重点和热点进行了探讨和分析, 指出我国为做好湿地生态恢复工作尚需进一步加强湿地生态恢复的方法学、基础理论、应用技术和示范推广等方面的研究。

关键词:湿地; 生态恢复; 恢复生态学

A review of ecological restoration studies on natural wetland

ZHANG Yong-Ze¹, WANG Xuan² (Department of Science and Technology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Wetland is viewed as “Kidney of the Nature” due to its abundant resources and unique ecological structure and functions. In order to protect effectively and utilize reasonably the rare wetland resources, many measures have been taken by worldwide countries to prevent the degradation or disappearance of wetland, thereby the study on the ecological restoration and creation of wetland has been paid great attention by specialists in ecology and environmental science. Based on the review of the international and domestic studies of wetland restoration, the emphases of the study on wetland ecological restoration are discussed. It is pointed out that the methodologies, basic theories, applied technologies and demonstration projects of wetland ecological restoration should be studied further to carry out effectively the wetland ecological restoration in China.

Key words: wetland; ecological restoration; restoration ecology

文章编号: 1000-0933(2001)02-0309-06 中图分类号: Q178.5.X17 文献标识码: A

湿地是分布于陆生生态系统和水生生态系统之间具有独特水文、土壤、植被与生物特征的生态系统。按拉姆萨尔(Ramsar)公约, 湿地的定义为: “湿地是指不问其为天然或人工、长久或暂时性的沼泽地、泥炭地、水域地带、静止或流动的淡水、半咸水、咸水体, 包括低潮时水深不超过 6 米的水域。”湿地在调节气候、涵养水源、蓄洪防旱、控制土壤侵蚀、促淤造陆、净化环境、维持生物多样性和生态平衡等方面均具有十分重要的作用, 有“自然之肾”之称^[1]。我国是世界上湿地类型多、面积大、分布广的国家之一。湿地面积约 2500 万 hm^2 , 仅次于加拿大和俄罗斯, 居世界第三位^[2]。从寒温带到热带, 从沿海到内陆, 从平原到高原山区均有湿地分布, 包括沼泽、泥炭地、湿草甸、浅水湖泊、高原咸水湖泊、盐沼和海岸滩涂等多种类型, 其中, 具有独特生态功能的青藏高原湿地, 通过涵养水源, 孕育了长江、黄河、雅鲁藏布江等亚洲主要江河。

近几十年来, 随着工农业的迅猛发展, 人口的大量增加和城市化进程的不断加快, 我国的湿地正面临着区域生态环境破坏、自然景观消失、生物多样性减少、气候条件变化、生态系统结构和功能丧失等多种生

基金项目:国家重点科技攻关项目(编号 96-911-08-04)和中国环境科学研究院科技发展基金课题(编号: 9905)

收稿日期: 2000-02-13; **修订日期:** 2000-05-24

作者简介: 张永泽(1969~), 男, 云南邱北人, 博士, 副研究员。主要从事环境管理与规划、生态环境保护等研究。

态灾难,从而严重制约了湿地的进一步开发利用和湿地生态系统的保护。为了有效地保护湿地和合理开发利用湿地资源,我国从 50 年代起便对湿地进行了大量的研究^[3~11],研究的类型包括滨海湿地、沼泽湿地、湖泊湿地和人工湿地等^[12],研究成果可概括为以下几个方面^[13]:①湿地资源的综合考察;②湿地的生物多样性和珍稀动植物资源调查;③人类活动对湿地环境的影响及湿地的保护与资源持续利用研究;④湿地生态系统的结构、功能与生物生产力的定位研究;⑤人工湿地的研究。上述研究大多侧重于湿地的资源、环境、生物多样性及其保护与利用等方面,而对受损湿地的生态恢复研究得较少。本文将在全面综述国内外湿地生态恢复研究进展的基础上,对湿地生态恢复研究的重点和热点进行探讨和分析。

1 国内外湿地生态恢复研究概况

1996 年 9 月在澳大利亚西海岸的佩斯召开了第五届国际湿地会议,大会的主题是“湿地的未来”,主要议题是讨论如何增强湿地效益,防止和解决湿地丧失、功能衰退、生物多样性减少等问题及保护与重建湿地的策略和措施^[14]。从本次大会来看,湿地的恢复与重建已成为世界各国科学家普遍关注的热点。

湿地的生态恢复是针对退化的湿地生态系统而进行的,因而取决于湿地生态特征的变化。湿地生态特征的变化是指湿地生态过程及功能的削弱或失衡^[15],包括湿地面积变化、湿地水文条件改变、湿地水质改变、湿地资源的非持续利用及外来物种的侵入等多种类型^[16]。上述变化都可能导致湿地的退化或消失。

针对湿地的退化情况,世界各国都在积极采取措施进行湿地的生态恢复。美国自殖民时期以来,已经有 50% 的湿地消失,即使是现在,湿地仍然以每年 8000~16000hm² 的速度消失^[17]。为了保护湿地,美国于 1977 年颁布了第一部专门的湿地保护法规。美国国家委员会、环保局、农业部和水域生态系统恢复委员会于 1990 年和 1991 年提出了在 2010 年前恢复受损河流 64 万 km²,湖泊 67 万 hm²,湿地 400 万 hm² 的庞大生态恢复计划^[18]。1995 年,美国开始实施一项总投资为 6.85 亿美元的湿地项目,旨在重建佛罗里达州大沼泽地,该项目计划到 2010 年完成^[19,20]。联邦政府划拨了 2 亿美元的专项经费用于密西西比河上游的生态恢复,湿地的生态恢复是其中重要的组成部分。在美国明尼苏达的北部地区,通过筑坝重建和恢复湿地,湿地面积已从 1940 年的 2183hm² 增加到 1988 年的 3687hm²^[21]。由于水文状况的改变和过度放牧,佛罗里达州 Charlotte 县原有的 113hm² 湿地已经退化。为了保护 and 恢复该湿地上生存的野生动植物,从 1988 年开始,利用两年的时间,该县在另一地区重建了一片面积为 23hm² 的沼泽。据观测,原湿地上拥有的野生动植物已出现在重建的湿地上,并呈现了一定的多样性^[22]。

加拿大湿地面积 12700 万 hm²,占世界湿地资源的 24%,居世界第一位。为了有效地保护湿地资源,加拿大于 1992 年颁布了联邦湿地保护政策^[23]。英国的莱茵河流域是欧洲人口最稠密、污染最严重的流域。为了恢复莱茵河下游河漫滩(湿地)的功能,拟将夏季的堤坝拆除,以使洪水能够顺畅流动,从而改善水质和动植物群落。同样地,为了防洪、提高生物多样性和生态多样性、改善水质等,拟恢复莱茵河上游以前河漫滩(湿地)的天然性^[24]。在瑞典,30% 的地表为湿地、湖泊和河流。由于大量水生植物芦苇的入侵,许多湿地和湖泊已经迅速老龄化,芦苇覆盖的面积已达 100 000 到 200 000hm²。为了恢复浅水湖泊和湿地,Larsson 等^[25]提出了抬高水位和降低湖底的建议,同时还要求砍掉芦苇,并清除其根系。在澳大利亚 Capel 附近修建的一个用于沉积稀有金属矿砂的湖泊群,通过种植水生植物,目前已被恢复为一个湿地生态系统^[26]。印度的 Rihand 河由于大量伐林、筑坝、工业化和露天采矿等,其河岸生态系统正迅速退化。目前通过采取禁止放牧、禁挖草坪、污水分流及处理等保护措施,较好地恢复了土著植被,改善了日益退化的河岸生态系统^[27]。越南 Mekong 三角洲在战争期间大量排水,导致了 750 000hm² 的潮汐淡水湿地严重的水文和生态退化。为了恢复该湿地,从 1988 年开始,通过筑坝围水对一片 7000hm² 湿地的天然水文过程进行恢复^[28]。在哥斯达黎加,为了恢复一片 500hm² 的湿地,从 1980 年开始便对香蒲进行清除,经过 10a 的努力,终于将香蒲全部清除,为 60 多种水鸟提供了良好的栖息和越冬场所^[29]。

近 20a 来,我国对东湖、巢湖、滇池、太湖、洪湖、保安湖、鸭儿湖、白洋淀等浅水湖泊的富营养化控制和生态恢复进行了大量的研究,获得了许多成功的经验^[30~36]。三江平原是我国平原区沼泽面积最大、最集中的地区,自建国以来经过 40 多年的开发,湿地面积减少了近 340 万 hm²,湿地垦殖率达 64%。自 50 年代末开展湿地研究工作以来,这一区域湿地资源的合理开发利用与保护一直是我国学者们研究的重点^[37~40]。通过采用

适当的水土调控技术,合理确定农业开发的规模与模式,成功地将湿地的生态恢复与生态农业建设有机地结合起来。洞庭湖湖群是我国面积最大的湖泊湿地,面积 87.7 万 hm^2 ,于 1992 年被列入《世界重要湿地名录》。从 50 年代至今,洞庭湖湖群的垦殖率已高达 50% 以上。由于泥沙淤积和人类活动干扰,湿地生态系统退化十分严重,调蓄洪水的功能在逐渐衰退。为了恢复并合理利用湿地,王克林^[1]提出了洞庭湖的湿地景观结构和生态工程模式,设计了浅水水体农业、过水洲滩和淡水低湖田等不同类型湿地的生态工程模式。通过湿地生态工程,建设高效复合的生态系统。通过入湖河流上游的生态建设,减少入湖泥沙量,并通过生物物种的合理配置,减缓湖泊淤塞过程,稳定湿地面积,保障湖泊的调蓄功能。在云南洱海湖滨带的生态恢复研究中,叶春^[12]基于物理基底设计、生物种群选择、生物群落结构设计、节律匹配设计和景观结构设计等原则,采用生境和生物对策,提出了滩地模式、河口模式、陡岸模式、鱼塘模式、农田模式、堤防模式等 6 种湖滨带生态恢复工程模式,归纳了湖滨湿地工程技术、水生植被恢复工程技术、人工浮岛工程技术、仿自然型堤坝工程技术、人工介质岸边生态净化工程技术、防护林或草林复合系统工程技术、河流廊道水边生物恢复技术、湖滨带截污及污水处理工程技术、林基鱼塘系统工程技术等 9 项湖滨带生态恢复技术。

我国在湿地生态恢复方面最为成功的例子是贵州威宁的草海。为了扩大耕地面积,1970 年曾排水疏干草海,湖中的鱼类、贝类、虾和水生昆虫等几乎绝灭,所剩水禽也寥寥无几,地下水位下降,农业减产,自然生态失去平衡。1980 年政府决定恢复草海,实施蓄水工程,恢复水面面积 20 km^2 ,平水期可达 29 km^2 。目前,生物物种已得到恢复^[43],浮游植物有 8 门 91 属;高等植物 20 科 26 属 37 种,组成了多种挺水植物群落、浮叶植物群落和沉水植物群落。浮游动物有 9 纲 74 属 115 种;鱼类 9 种;两栖类 14 种,特别是鸟类丰富,有 179 种,其中水禽有 68 种。黑颈鹤、白头鹤、白鹤、灰鹤、游隼、白琵鹭等 16 种国家一、二级保护鸟类的数量日渐增多,湿地恢复效果良好,被国外专家视为中国湿地生态恢复的成功典范。该湿地作为我国特有物种黑颈鹤的主要越冬栖息地,目前已被建立为国家级自然保护区。

2 湿地生态恢复研究浅析

与其它生态系统相比,湿地生态系统具有水陆相兼的特殊地带性分布规律。因此,湿地的生态恢复研究应在充分考虑湿地生态系统特点和功能的基础上,按照恢复生态学的理论和方法进行研究。

2.1 湿地生态系统的特点

湿地通常处于陆生生态系统和水生生态系统之间的过渡区域,一般由湿生、沼生和水生植物、动物、微生物等生物因子以及与其紧密相关的阳光、水分、土壤等非生物因子构成。湿地生态系统具有以下特点^[14-15]:①脆弱性。湿地特殊的水文条件决定了湿地生态系统易受自然及人为活动干扰,生态极易受破坏,且受破坏后难以恢复。②高生产力和生物与生态多样性。湿地多样的动、植物群落决定其具有较高的生产力和丰富多样的生物物种与生态系统类型。③过渡性。湿地既具有陆生生态系统的地带性分布特点,又具有水生生态系统的地带性分布特点,表现出水陆相兼的过渡性分布规律。湿地水陆交界的边缘效应是湿地具有高生产力和丰富生物多样性的基本原因。湿地的上述特点决定了其在调节气候与水文情势、净化环境、维持生物多样性和生态平衡、提供资源等方面具有重要的功能。因此,在对湿地进行生态恢复研究时,应充分考虑湿地生态系统的特点和功能。

2.2 湿地生态恢复理论

湿地生态恢复的理论基础是恢复生态学。恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复和重建的技术与方法、生态学过程与机理的科学^[44]。所谓生态恢复是指根据生态学原理,通过一定的生物、生态以及工程的技术与方法。人为地改变和切断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及其外界的物质、能量和信息的流动过程和时空次序,使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快成功地恢复到一定的或原有乃至更高的水平^[45]。

生态恢复的概念源于生态工程或生物技术^[24],恢复生态学在一定意义上是一门生态工程学,或是一门在生态系统水平上的生物技术学^[46]。生态恢复过程是按照一定的功能水平要求,由人工设计并在生态系统层次上进行的,因而具有较强的综合性、人为性和风险性^[50]。目前生态恢复的基本思路是根据地带性规律、生态演替及生态位原理选择适宜的先鋒植物,构造种群和生态系统,实行土壤、植被与生物同步分级恢复,

以逐步使生态系统恢复到一定的功能水平^[51,52]。湿地水文条件是湿地最重要的决定因素,它不仅直接影响湿地生态环境的理化性质及营养物质的输入输出,而且也是最终选择湿地生物群落的主要因素之一,可以说没有水也就不存在湿地。因此在对湿地进行生态恢复时,除考虑土壤、植被、生物的恢复外,还应考虑水文条件的恢复。

湿地生态恢复的总体目标是采用适当的生物、生态及工程技术,逐步恢复退化湿地生态系统的结构和功能,最终达到湿地生态系统的自我持续状态。但对于不同的退化湿地生态系统,其侧重点和要求也会有所不同。总体而言,湿地生态恢复的基本目标和要求如下^[53]:①实现生态系统地表基底的稳定性。地表基底是生态系统发育和存在的载体,基底不稳定就不可能保证生态系统的演替与发展。这一点应引起足够重视,因为中国湿地所面临的主要威胁大都属于改变系统基底类型的,这在很大程度上加剧了我国湿地的不可逆演替^[54]。②恢复湿地良好的水状况,一是恢复湿地的水文条件,二是通过污染控制,改善湿地的水环境质量。③恢复植被和土壤,保证一定的植被覆盖率和土壤肥力。④增加物种组成和生物多样性。⑤实现生物群落的恢复,提高生态系统的生产力和自我维持能力。⑥恢复湿地景观,增加视觉和美学享受。⑦实现区域社会、经济的可持续发展。

湿地生态系统的恢复要求生态、经济和社会因素相平衡。因此,对生态恢复工程除考虑其生态学的合理性外,还应考虑公众的要求和政策的合理性^[26]。湿地生态恢复应遵循的主要原则如下^[32]:①地域性原则。我国湿地分布广,涵盖了从寒温带到热带,从沿海到内陆,从平原到高原山区各种类型的湿地。因此应根据地理位置、气候特点、湿地类型、功能要求、经济基础等因素,制定适当的湿地生态恢复策略、指标体系和技术途径。②生态学原则。生态学原则主要包括生态演替规律、生物多样性原则、生态位原则等。生态学原则要求根据生态系统自身的演替规律分步骤分阶段进行恢复^[55],并根据生态位和生物多样性原则构建生态系统结构和生物群落,使物质循环和能量转化处于最大利用和最优循环状态,要求达到水文、土壤、植被、生物同步和谐演进。③最小风险和最大效益原则。国内外的实践证明,退化湿地系统的生态恢复是一项技术复杂、时间漫长、耗资巨大的工作。由于生态系统的复杂性和某些环境要素的突变性,加之人们对生态过程及其内部运行机制认识的局限性,人们往往不可能对生态恢复的后果以及最终生态演替方向进行准确的估计和把握,因此,在某种意义上,退化生态系统的恢复具有一定的风险性。这就要求对被恢复对象进行系统综合的分析、论证,将风险降到最低程度,同时,还应尽力做到在最小风险、最小投资的情况下获得最大效益,在考虑生态效益的同时,还应考虑经济效益,以实现生态、经济、社会效益相统一。

目前,湿地生态恢复的理论研究还十分薄弱,很难支撑湿地生态恢复工作的全面开展。一是缺乏对湿地生态系统退化机理的研究(如退化湿地生态系统恢复力、演替规律研究,不同干扰条件下湿地生态系统的受损过程及其响应机制研究等);二是缺乏对湿地生态系统退化的景观诊断及其评价指标体系的研究;三是缺乏对湿地生态系统退化过程的动态监测、模拟及预报研究等。

2.3 湿地生态恢复技术

根据湿地的构成和生态系统特征,湿地的生态恢复可概括为:湿地生境恢复、湿地生物恢复和湿地生态系统结构与功能恢复3个部分,相应地,湿地的生态恢复技术也可以划分为三大类:

(1)湿地生境恢复技术 湿地生境恢复的目标是通过采取各类技术措施,提高生境的异质性和稳定性。湿地生境恢复包括湿地基底恢复、湿地水状况恢复和湿地土壤恢复等。湿地的基底恢复是通过采取工程措施,维护基底的稳定性,稳定湿地面积,并对湿地的地形、地貌进行改造。基底恢复技术包括湿地基底改造技术、湿地及上游水土流失控制技术、清淤技术等。湿地水状况恢复包括湿地水文条件的恢复和湿地水环境质量的改善。水文条件的恢复通常是通过筑坝(抬高水位)、修建引水渠等水利工程措施来实现;湿地水环境质量改善技术包括污水处理技术、水体富营养化控制技术等。需要强调的是,由于水文过程的连续性,必须严格控制水源河流的水质,加强河流上游的生态建设。土壤恢复技术包括土壤污染控制技术、土壤肥力恢复技术等。

(2)湿地生物恢复技术 主要包括物种选育和培植技术、物种引入技术、物种保护技术、种群动态调控技术、种群行为控制技术、群落结构优化配置与组建技术、群落演替控制与恢复技术等。

(3)生态系统结构与功能恢复技术 主要包括生态系统总体设计技术、生态系统构建与集成技术等。

湿地生态恢复技术的研究既是湿地生态恢复研究中的重点,又是难点。目前急需针对不同类型的退化湿地生态系统,对湿地生态恢复的实用技术(如退化湿地生态系统恢复关键技术,湿地生态系统结构与功能的优化配置与重构及其调控技术、物种与生物多样性的恢复与维持技术等)进行研究。

2.4 湿地生态恢复方案确定

湿地生态恢复工程一般都是耗资巨大的复杂工程,如美国佛罗里达州大沼泽地重建项目,总投资为6.85亿美元。因此在确定湿地生态恢复方案之前,应对功能设计、操作程序、风险评价、指标体系、恢复技术等系统进行全面的研究和具体规划。Henry等^[21]对湿地生态恢复工程提出如下3点要求:①加强对生态恢复合理性的论证;②确定精确适当的恢复目标和恢复成功与否的判定指标;③监测恢复前后生态系统的变化情况,并与参考生态系统进行比较。湿地生态恢复方案的确定一般包括以下步骤:①确定被恢复对象及其系统边界;②湿地生态系统退化成因分析,识别退化主导因子、退化过程、退化类型、退化阶段与强度等;③确定生态恢复目标;④生态恢复技术的分析与选择;⑤建立优化模型,进行生态规划与风险评价,提出具体实施方案;⑥方案自然-社会-经济-技术可行性分析;⑦实地实验、示范与推广等。

在对多方案进行优化比较时,通常采用生态经济系统能值分析法^[54]。能值分析方法通过建立生态模型,模拟分析系统中的能流、物质流、信息流、货币流等,对生态工程在能量、环境、经济上进行综合评判和决策。该法已被Ton等^[57]成功地用于美国佛罗里达州钢城湾湿地恢复工程方案的优选。

3 结语

湿地由于具有丰富的资源、独特的生态结构和功能,其开发利用和保护已引起世界各国的普遍重视。我国湿地资源丰富、面积大、类型多、分布广,但由于自然干扰和人类活动的强烈干预等原因,许多湿地都面临着退化和消失的威胁。如何对退化的湿地进行恢复,使湿地资源能在有效保护的前提下支撑社会的健康、稳定和持续发展,已成为摆在我们面前的一项艰巨课题。根据对国内外湿地生态恢复研究情况的综述和分析,笔者认为应从以下几个方面加强对湿地生态恢复的研究:

(1)方法学研究 借鉴国外成功经验,建立一套适合我国国情的湿地生态恢复研究方法和技术。

(2)基础理论研究 如湿地生态系统结构、功能及生态系统内在的生态学过程与相互作用机制研究,湿地生态系统生产力、恢复力、演替规律、可持续性研究,湿地的环境功能及人类活动对湿地资源与环境的影响研究,不同干扰条件下湿地生态系统的受损过程及其响应机制研究,湿地生态系统退化的景观诊断及评价指标体系研究,湿地生态系统退化过程的动态监测、模拟及预报研究等。

(3)应用技术研究 如退化湿地生态系统恢复关键技术研究,湿地生态系统结构与功能的优化配置与重构及其调控技术研究,物种与生物多样性的恢复与维持技术研究等。

(4)示范推广研究 选取各种类型退化湿地的典型代表,进行生态恢复示范研究。

参考文献

- [1] Edward B.B. et al. Economic valuation of wetlands. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland, 1997.
- [2] 杨朝飞. 保护湿地,改善环境,是我国的一项基本国策. 见:林业部野生动物和森林植物保护司编. 湿地保护与合理利用——中国湿地保护研讨会文集. 北京:中国林业出版社,1996.
- [3] 郎惠卿,祖文辰,金树仁. 中国沼泽. 济南:山东科学技术出版社,1983.
- [4] 陆健健. 中国湿地. 上海:华东师范大学出版社,1989.
- [5] 牛焕光,马学惠. 我国的沼泽. 北京:商务印书馆,1985.
- [6] 黄锡畴主编. 中国沼泽研究. 北京:科学出版社,1988.
- [7] 陈宜瑜主编. 中国湿地研究. 长春:吉林科学技术出版社,1995.
- [8] 郎惠卿,等. 中国湿地保护与研究. 上海:华东师范大学出版社,1998.
- [9] 中国湿地植被编辑委员会编著. 中国湿地植被. 北京:科学出版社,1999.
- [10] 王洪道,等. 中国湖泊资源. 北京:科学技术出版社,1989.
- [11] 殷康前,倪晋仁. 湿地研究综述. 生态学报,1998,18(5):539~546.
- [12] 王礼先,李秀珍. 湿地的国内外研究进展. 生态学杂志,1997,16(1):58~62.
- [13] 佟凤勋,刘兴土. 中国湿地生态系统研究的若干建议. 见:林业部野生动物和森林植物保护司编. 湿地保护与合理利用——中国湿地保护研讨会文集. 北京:中国林业出版社,1996.

- [14] 王仁卿,刘纯惠,晃敏.从第五届国际湿地会议看湿地保护与研究趋势.生态学杂志,1997,16(5):72~76.
- [15] Tomas V P. *Monitoring Mediterranean wetlands: A methodological guide*. Medwet Publication. Wetlands International, Slimbridge, UK and ICN, Lisbon, 1996.
- [16] 崔保山. 湿地生态系统特征变化及其可持续性问题. 生态学杂志, 1999, 18(2): 43~49.
- [17] Mitsch W J, et al. Wetlands of the old and new world: ecology and management. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [18] U S National Research Council. *Restoration of Aquatic Ecosystems*. Nat Acad Press, Washington D C. 1992.
- [19] Kusler J A, et al. Wetland. *Scientific American*, 1994, 1: 58~62.
- [20] Yong P. The "new science" of wetland restoration. *Environmental Science & Technology*. 1996, 7: 292~296.
- [21] Johnston C A. Ecological engineering of Wetlands by Beavers. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [22] Erwin K L, et al. Successful construction of a fresh water herbaceous marsh in South Florida, USA. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [23] Rubec C D A. Canada's federal policy on wetland conservation: a global model. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [24] Henry C P and Amoros C. Restoration ecology of riverine wetlands: A scientific base. *Environmental Management*. 1995, 19(6): 891~902.
- [25] Larsson T. Contrôle des roseaux et conservation des zones humides. Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse. 1994, 189: 18~21.
- [26] Chambers J M and McComb A J. Establishment of wetland ecosystems in lakes created by mining in Western Australia. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [27] Ambasht R S, Kumar R and Srivastava N K. Strategy for managing the Rihand River riparian ecosystem deteriorating under rapid industrialization. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [28] Beilfuss R D and Barzen J A. Hydrological wetland restoration in Mekong Delta, Vietnam. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [29] McCoy M B and Rodriguez J M. Cattail (*Typha domingensis*) eradication methods in the restoration of a tropical, seasonal, freshwater marsh. In: Mitsch W J ed. *Global wetlands, old world and new*. Elsevier, Netherlands, 1994.
- [30] 刘建康主编. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990.
- [31] 刘建康主编. 东湖生态学研究(二). 北京: 科学出版社, 1995.
- [32] 屠清溪, 等. 巢湖富营养化研究. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990.
- [33] 顾丁锡. 二十年来太湖生态环境状况的若干变化. 上海师范学院学报(环境保护专辑), 1983, 50~59.
- [34] 章申, 唐以剑, 等. 白洋淀区域水污染控制研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1995.
- [35] 金相灿, 等. 中国湖泊环境(第一册). 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [36] 许水启, 黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建研究. 生态学报, 1998, 18(5): 547~558.
- [37] 中国科学院长春地理研究所. 三江平原沼泽. 北京: 科学出版社, 1982.
- [38] 刘兴土. 三江平原湿地及其合理利用与保护. 见: 陈宜瑜主编. 中国湿地研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 108~117.
- [39] 刘兴土, 黄锡畴. 三江平原地区的生态环境和沼泽生态农业开发. 地理学与国土研究, 1989, 5(2): 12~18.
- [40] 杨永兴, 等. 三江平原沼泽区"稻-苇-鱼"复合生态系统生态效益研究. 地理科学, 1993, 13(1): 41~48.
- [41] 王克林. 洞庭湖湿地景观结构与生态工程模式. 生态学杂志, 1998, 17(6): 28~32.
- [42] 叶春. 洱海湖滨带生态恢复工程模式研究. 北京: 中国环境科学研究院, 1999.
- [43] 王献藻. 贵州威宁草海湿地生态系统的保护与利用. 北京: 国家环境保护局中日友好环境保护中心出版, 1995.
- [44] 崔保山. 我国自然湿地的基本特点. 生态学杂志, 1997, 16(4): 64~67.
- [45] 窦鸿生, 等. 太湖流域围湖利用的动态变化及其环境影响. 环境科学学报, 1988, 8(1): 1~9.
- [46] 黄锡畴. 沼泽生态系统的性质. 地理科学, 1989, 9(2): 97~104.
- [47] 余作岳, 彭少麟主编. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究. 广州: 广东科学技术出版社, 1996.
- [48] 章家恩, 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.
- [49] 陈昌笃主编. 持续发展与生态学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [50] 章家恩, 徐琪. 现代生态研究的几大热点问题透视. 地理科学进展, 1997, 16(3): 29~37.
- [51] 邹厚远, 等. 关于黄土高原植被恢复的生态学依据探讨. 水土保持学报, 1995, 9(4): 1~4.
- [52] 阮伏水, 周伏建. 花岗岩侵蚀坡地重建植被的几个关键问题. 水土保持学报, 1995, 9(2): 19~25.
- [53] 章家恩, 徐琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109~113.
- [54] 陈建伟, 朱翔. 中国湿地的现状与我们的任务. 见: 林业部野生动物和森林植物保护司编. 湿地保护与合理利用——中国湿地保护研讨会文集. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [55] 康乐. 生态系统的恢复与重建: 现代生态学透视. 马世骏主编. 北京: 科学出版社, 1990.
- [56] 钦佩, 安树青, 顾松龄编著. 生态工程学. 南京: 南京大学出版社, 1999.
- [57] Ton S, Odum H T and Delfino T T. Ecological economic evaluation of alternative wetland management. International Conference on Ecological Engineering, October 7~11, 1996, Beijing, China.