

国家科技支撑计划项目 (2012BAC16B03)

水陆交错带 生态修复体系构建及 生态系统管理

王冬梅 王晶 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家科技支撑计划项目 (2012BAC16B03)

水陆交错带 生态修复体系构建及 生态系统管理

王冬梅 王晶 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书在漓江流域水陆交错带生态修复关键技术及示范研究的基础上,基于水陆交错带退化程度分析、生态功能评估和生态系统健康评价,诊断水陆交错带生态问题,集成研究了水陆交错带生态修复技术,以漓江水陆交错带为例进行了生态修复体系的构建。在生态退化机制诊断和生态系统健康的基础上,根据水陆交错带的自然特点、环境现状、旅游发展需要和保护与恢复生态功能的要求,提出了生态系统管理策略。全书分为水陆交错带生态修复理论基础、漓江水陆交错带概况及研究方法、水陆交错带生态问题诊断、水陆交错带生态系统健康评价、水陆交错带生态修复体系构建、水陆交错带生态修复技术研究、水陆交错带生态系统管理策略等。

本书可供从事生态修复的技术人员参考,也可供有关科研、教学单位的技术人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水陆交错带生态修复体系构建及生态系统管理 / 王冬梅, 王晶著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017.4
ISBN 978-7-5170-5352-1

I. ①水… II. ①王… ②王… III. ①生态恢复—研究 IV. ①X171.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第080455号

书 名	水陆交错带生态修复体系构建及生态系统管理 SHUILU JIAOCUODAI SHENGTAI XIUFU TIXI GOUJIAN JI SHENGTAI XITONG GUANLI
作 者	王冬梅 王晶 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 7.75印张 250千字
版 次	2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

桂林漓江发源于灵川、兴安两县交界的猫儿山，流经兴安、灵川、桂林、阳朔，至平乐县，汇入西江，全长 437km，其中从桂林到阳朔江段为漓江游览风景区，长 83km，俗称“漓江百里画廊”，是桂林山水的精髓，是世界岩溶峰林景观发育最完善的典型地区，为国家重点风景名胜区，不仅兼有“山青、水秀、洞奇、石美”四绝，而且还有“深潭、险滩、流泉、飞瀑”等佳景，是桂林旅游的精华之一。

近年来，随着工农业的快速发展，旅游开发力度的加大，人民生活水平的迅速提高，漓江生态环境问题日趋严重。乱采乱挖导致河床毁坏，河水渗漏，严重破坏了漓江独特的自然景观和旅游资源。沿岸旅游业的盲目开发直接破坏了漓江植被，直接污染了漓江水质，造成漓江水资源的变黄、变质和浪费。汛期洪水泛滥、枯水期径流量变小、时间延长，滩地裸露时间加长，河流自净能力降低，景区环境污染加重，水质变差，景区美景度和旅游承载力下降，植被生态系统退化。漓江流域是生态脆弱带以及旅游重点区域，植被景观直接影响其旅游价值，生态修复技术的应用更能体现在生态价值上的旅游价值。通过漓江水陆交错带生态恢复关键技术的试验，促进改善漓江水质、提高生态功能以及提升旅游景观品质，为漓江社会经济可持续发展，尤其旅游业发展，提供科技支撑。针对水陆交错带退化景观的主要类型及其退化程度，提出切实可行的生态修复对策，筛选出适宜的生态修复模式，构建水陆交错带植被配置及整体景观优化技术。

本书针对漓江流域水质下降和生态系统退化的关键问题，以植被修复与优美旅游景观营造为目标，结合漓江不同类型待修复水陆交错带的地形与土壤特征，以漓江水陆交错带退化生态系统修复为目标，选择漓江典型水陆交错带的退化区域，开展水陆交错带生态修复关键技术体系的构建研究和关键生态修复技术研究，促进改善漓江水质、提高生态功能以及提升旅游景观品质，为漓江水陆交错带景观植被恢复提供技术参考和科学依据，为漓江社会经济可持续发展提供科技支撑。采用定位观测和盆栽试验的方法，从植物抗逆性强、景观优美、季节搭配合理等角度出发，开展漓江水陆交错带适生植物的筛选与优化，采用技术手段实现生态植被快速营造，研究水陆交错带植被配置类型、模式与

技术，遴选和优化漓江水陆交错带生态修复配置模式，为漓江水陆交错带生态修复提供关键技术。

本书基于人为干扰的漓江水陆交错带退化程度分析、生态功能评估和生态系统健康评价，在生态退化机制诊断和生态系统健康评价的基础上，根据漓江水陆交错带的自然特点、环境现状、旅游发展需要和保护与恢复生态功能的要求，利用生态系统管理理念探讨水陆交错带生态系统修复的生态系统管理，提出基于人为干预的漓江水陆交错带生态管理的措施和生态系统管理的政策建议，为漓江社会经济可持续发展，尤其是旅游业发展，提供科技支撑。

本书在编写过程中得到了广西水利厅、桂林科技局、广西植物研究所、北京林业大学和广西师范大学有关领导和专家的大力支持，特别是得到国家科技计划“漓江流域水陆交错带生态修复关键技术与示范”（2012BAC16B03）课题组成员的帮助，在此深表感谢。

受学识和水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2017 年 4 月

目 录

前言

第一章 水陆交错带生态修复理论基础	1
第一节 河流健康及生态修复	1
第二节 水陆交错带生态修复	3
第三节 水陆交错带生态系统管理	6
第二章 漓江水陆交错带概况及研究方法	10
第一节 研究区范围	10
第二节 自然环境	11
第三节 社会经济情况	14
第四节 水陆交错带干扰因素	15
第五节 现状研究	18
第六节 研究方法	18
第三章 水陆交错带生态问题诊断	26
第一节 漓江水陆交错带生态现状	26
第二节 漓江水陆交错带生态问题诊断	37
第四章 水陆交错带生态系统健康评价	42
第一节 漓江水陆交错带生态功能评估	42
第二节 漓江水陆交错带生态系统健康评价	48
第五章 水陆交错带生态修复体系构建	51
第一节 生态修复目标	51
第二节 水陆交错带立地类型划分	52
第三节 漓江水陆交错带生态修复试验研究	66
第四节 漓江水陆交错带生态修复体系构建	76
第六章 水陆交错带生态修复技术研究	91
第一节 生态修复类型划分	91
第二节 生态修复技术研究	92
第三节 生态修复技术集成与优化	99

第七章 水陆交错带生态系统管理策略 103

第一节 水陆交错带生态系统管理遵循的原则 103

第二节 水陆交错带生态系统管理的现状及问题 104

第三节 水陆交错带生态系统管理的对策措施 105

第四节 典型水陆交错带生态系统管理 108

参考文献 110

第一章 水陆交错带生态修复理论基础

第一节 河流健康及生态修复

一、生态系统健康研究

多年来,学者们进行了生态系统健康方面的深入研究。1989年,Rapport首次针对生态系统健康开展研究,分析了其具体内涵(Rapport,1989),指出生态系统健康是生态系统稳定,能维持组织结构有效发挥作用,并且具有自我恢复能力的生态系统状态。1992年,Costanza等提出了健康的生态系统为能够维持发展活力、长时间维持稳定的状态(Costanza,1992)。此后,Kart借助生态完整性指数对鱼类多样性及其对水体生态系统的健康状态进行了分析(Kart,1993),Rapport等对草地生态系统健康状况进行了研究(Rapport,1995)。Jorgensen、Cushman提出以(结构)活化能和生态缓冲量作为评价生态系统是否健康的指标(Jorgensen,1995;Cushman,2009)。我国生态系统健康研究起步较晚,但在各个生态系统类型中都进行了生态系统健康方面的研究,并提出了评价方法。崔保山总结了湿地生态系统健康的概念(崔保山,2001)。马克明等人研究得出,可从生态系统是否具有活力、组织结构是否完整、恢复力是否有效等方面进行生态系统健康定义(马克明,2001)。袁兴中等建立了生态系统健康评价指标分类方案(袁兴中,2001)。刘建军等认为构建能评价生态系统功能失常的分类方法和指标体系是生态系统健康评价的关键(刘建军,2002)。孔红梅等提出了环境管理目标是从健康生态系统到健康社会发展,提供了生态系统健康评价和环境管理的新思路(孔红梅,2002)。彭建等界定了区域生态系统健康评价概念(彭建,2007)。

二、河流健康研究

近年来,河流健康问题研究已成为河流相关研究的热点。河流健康概念是相对模糊的概念(赵彦伟,2005),是相对意义的健康,不同区域、规模、类型、时期的河流,其健康的评价标准和指标不同。河流健康及其评价研究成果丰硕,但仍然处于起步阶段,评价的标准、尺度、方法和指标等都还有待进一步进行研究(孙雪岚,2007)。

河流与陆地生态系统进行物质和能量交换时,其作为维护陆地生态系统良性循环的物质和能量传输载体,过多污染和干预会引发河流生态系统健康危机。影响河流健康的因素包括自然因素和人为因素,人为因素是主要因素(王光谦,2007)。多年来,人类建设水利工程、排放污染物等都给河流生态系统、水量、水质等带来了强烈的人为干扰。影响河流健康的评价指标因素可分为形态因素、动力因素、生态环境因素、社会经济因素等,形态因素包括岸坡条件、基底条件、周边条件;动力因素包括流动条件、泥沙条件;生态环境因素包括污染源、水质、物种多样性、环境多样性;社会经济因素包括人口数量、GDP



等(王光谦, 2007)。为了筛选出一些基本的、易于量化的主要评价指标来揭示河流健康基本状况和变化趋势, 邓晓军进行了城市河流健康评价指标体系构建(邓晓军, 2014), 冯彦对河流健康评价指标体系进行了整理和归纳, 筛选出了河流健康的指标(冯彦, 2012)。

河流健康评价的方法从评价原理角度看, 主要可分为预测模型法和多指标法, 评价所采用的模型主要为综合健康评价指数法和模糊综合评价法。预测模型法是假设河流在没有人为干扰条件下理论上应该存在与实际的比较。对比评价河流的健康状况, 具有一定的局限性, 无法反映河流真实状况。多指标法是对河流的生物、化学、物理等特征指标打分, 累计总分作为评价河流健康状况的依据(孙雪岚, 2007)。

三、河流生态修复研究

人类对河流的破坏导致了河流健康状况受损。针对河流健康出现的不同问题, 人们采取了不同的修复方法(嵇晓燕, 2008)。采取建设水利工程并调节运行调度的方式进行水量等水文特征的修复; 保持其形态多样性, 保持河床生态化等河流结构形态修复; 采用植物措施进行镶嵌或优化改造进行种群结构修复等。河流生态修复采用的方法应具体分析河流受损的程度, 因地制宜地选择修复方法(嵇晓燕, 2008; 马新萍, 2011)。河流系统是个复杂的系统, 河流健康修复是一个复杂的过程, 需要对河流进行长期的监测, 并进行评估, 必要时调整和完善修复措施, 评价河流治理修复成效, 并及时总结治理和修复工程的经验教训(嵇晓燕, 2008)。1938年, 德国首先提出近自然河溪治理的概念, 20世纪60年代起, 西欧和北美开展了有关河道生态修复的相关实验研究, 并运用于工程实践。主要有修建生态河堤, 修复河道形态, 河流连续性恢复, 河岸带生态修复等。H. B. Li 提出采用生物反应器、植物浮床以及生态水草对河口平原河网进行生态修复(H. B. Li, 2011); Joseph F. Becker 提出利用河流转向结构来建立稳定河流结构和蜿蜒形态, 加强水生生态系统功能(Joseph F. Becker, 2013)。RAO Lei 发现人工生态浮床可应用于江河湖泊的修复, 因为其能改善河道的水力特征(RAO Lei, 2014)。学者们认为生物多样性和完整性才是河流生态修复的最终目的。

我国河流生态修复方面的研究起步较晚, 仍处于探索阶段, 虽已开展了一些河流生态修复模式研究, 但大多仅基于其研究区域的工程示范, 推广应用难, 大多停留在模仿国内外已有案例的初步尝试和探索阶段, 较少深入研究生态系统。研究主要集中在河流生态系统功能、河流整治、河岸带功能及管理、受污染河道生态修复等方面。近年来, 我国学者已经认识到水利工程对河流污染产生的影响, 开展了河流生态修复研究和实践活动, 随着研究的深入, 我国的河流生态修复研究由理论探讨阶段向修复方法和技术方面转变(陈兴茹, 2006)。董哲仁提出了生态水工学概念, 并提出了一些河流治理以及生态修复理论研究(董哲仁, 2004)。王如松提出了共轭生态修复概念, 是指在保育生态系统的前提下, 进行生态工程和生态管理技术等自然和人工生态修复(王如松, 2001)。河流生态修复研究存在的问题在于缺少修复机理研究和缺少整体生态系统修复研究。河流生态系统具有复杂性的特点, 河流生态修复应该将水利工程规划与生态学相融合, 掌握关键生态因子, 研究不同的河流生态修复技术和方法, 加强学科融合并用于生态修复工作, 维护生态系健



康(陈兴茹, 2006)。河流生态修复的实践很多, 取得了良好的生态效应和社会效应(王文君, 2012)。取得的生态修复工程经验未能得到总结、分析和评价, 定量化分析评价河流生态修复工程是迫切需要, 夏继红进行了生态河岸带综合评价理论的研究, 建立了一套生态河岸带综合评价指标体系(夏继红, 2005)。

第二节 水陆交错带生态修复

水陆生态交错带是水生态系统与陆地生态系统之间的界面, 是陆地生态系统和水生态系统的联络纽带, 生物多样性高(Nilsson C., 1989; Naiman R. J., 1993)。世界上约有20%的水陆交错带植被已经退化消失, 而剩余部分也在迅速衰减中(Naiman R. J., 2005)。“生态交错带”的概念在1905年提出, 20世纪前几十年研究中, 生态交错带的内涵主要指群落交错带, 特别是明显大尺度上的交错带, 如地带性植被交错带、海陆交错带等, 主要体现在IBP、MAB等全球性生态学研究中。80年代后, 一些生态学家致力于生态交错带理论的深入探索, 1987年SCOPE会议关于生态交错带的定义“相邻生态系统间过渡带, 它具有由特定时间、空间、尺度以及相邻生态系统相互作用程度所确定的一系列特征特性”沿用到现在。水陆生态交错带就是水域与陆地生态系统间的过渡带, 它具有水—陆生态系统相互作用程度所确定的一系列特征特性。

我国水陆交错带面积约有10万 km^2 。水陆交错带的健康尤其是植物群落的稳定直接影响河流生态功能(贺金生, 1998)。水陆生态交错带从交错带来看有宽度、外形、垂直性三个要素, 从景观水平看有对比度、内部异质性、镶嵌体大小、镶嵌体多样性、密度、分维等要素。水陆生态交错带利用空隙度、稳定性、回复性、环境变化行为等功能要素起通道、过滤器、源、库、栖息地等功能作用, 水陆交错带具备保持物种多样性、拦截和过滤物质流、稳定比邻生态系统、净化水体等生态功能, 同时又是相对脆弱的地带, 具有较大的生态、社会、经济和旅游价值, 具有廊道、缓冲带和护岸三大功能。

为了恢复和重建受到人为破坏的水陆交错带, 充分发挥生态功能, 国外在水陆交错带植被结构和功能方面开展了一些工作, 也取得了一定的成效。国内刚刚起步, 而且存在很多问题, 理论研究多, 应用研究少; 定性分析多, 定量分析少。

一、水陆交错带生态恢复与重建研究

目前, 我国河岸带生态系统受损严重, 受损河岸带恢复重建研究很有必要。水陆交错带受损后会导致水体富营养化、水质下降、水土流失等。人为干扰会破坏河岸生物群落, 如果干扰强度和范围很大, 河岸系统恢复不到干扰之前的水平, 就只有通过生态重建的方法来达到恢复的目的(张建春, 2001)。

受损河岸带生态恢复与重建要在不同的河段河岸采取不同的恢复措施, 上游河岸带减少河坝、河堤等人为干扰, 尽可能恢复与重建原有景观, 保护和提高生物多样性, 适当发展林牧副业生产; 中下游河岸带, 加强防洪工程建设, 重建河岸带生态系统和植被, 减少非点源污染物对河流的污染(张建春, 2001)。受损河岸带生态系统修复目前的研究主要集中在恢复重建后生物多样性变化、土壤结构及养分变化、小气候变化、功能评价以及修复



材料、高分子化合物为主的软体排和土工膜袋护岸新技术等方面。受损河流生态修复效果的生态评价指标尚未建立,需在今后的实验中进一步观测、研究。

国外学者对河岸带植被恢复与重建进行了大量研究,指出植被重建过程中要减少各类干扰因子对植被的损害。1965年,Emst Bittmann在德国莱茵河使用柳树和芦苇搭配种植进行了生态护岸实验(Gray, 1992),瑞士河川保护建设局利用“多自然河道生态修复技术”恢复和重建植被,之后,此方法在欧美及日本推广(陈兴茹, 2011)。国内学者进行了一些水陆交错带的生态修复模式研究,如安徽潜水退化水陆交错带恢复区“元竹+枫杨+苔草”模式、“意杨+紫穗槐+河柳+苔草”模式(张建春, 2003);洱海湖水陆交错带生态系统恢复模式按照人类开发利用程度分为自然、人工和专有三种模式(倪喜云, 2001)等。

二、水陆交错带植物修复研究

河岸带植被是陆地和水生生态系统的活动边界(张建春, 2003)。河岸带植被的护岸功能主要表现在降低河水的侵蚀、提高河岸稳定性、防止漂浮物对河岸的影响等三个方面。河岸带植物从水流阻力、抗冲刷能力、沙洲淤积、流木壅塞、凹岸沉积等方面影响着河床演变和河流地貌(张建春, 2002)。

河岸植被缓冲带是指河岸由树木及其他植被组成的过渡区域,其作用主要是截断或减少地表径流、废水和地下径流所带来的有机质、沉积物、污染物等进入河流(邓红兵, 2001; Lee P., 2004; 左俊杰, 2011; Mcneish R. E., 2012)。河岸植物在削减径流流速、巩固堤岸和净化水质方面起着非常重要的作用,对地表径流和地下水都有一定的滞留作用,其中河岸植物树冠可吸附或滞留空气中悬浮的粗砂粒,地被物可以储蓄径流,沉积侵蚀物(王庆锁, 1997)。小颗粒的沉淀物主要是被渗透移除(Dorioz, 2006),河岸植被缓冲带可以通过吸附、渗透来减少由农田流失到河流的杀虫剂总量(Arora, 2003)。地表径流很大时,截留作用不显著。植物缓冲带可以控制面源污染、减少水土流失、提高带内生物多样性(Lin, 2004; Gassman, 2006)。Lowrance基于物质的输入和滞留研究表明,河岸森林可截获大量的N、Ca、P和Mg。地下水硝酸盐的浓度在河岸森林处锐减。可溶性Al因pH值的升高而减少,接近河流段的硝酸盐浓度最低。Wolaver研究表明河岸带对来自表层水的 NH_4^+-N 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} ,溶解有机N和P,颗粒N和P有净吸收,有亚硝酸盐输出。表层水pH值、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度在交错带变化很大,电导率急剧下降,此区可截留重金属。在大西洋海岸平原,通过植被缓冲带后,氮的浓度降低了90%(Gilliam, 1997),有效减少了沉淀物中的磷(Gilliam, 1994)。尹澄清等认为,健康的水陆交错带可以对水流及营养物质截留和过滤。芦苇群落可有效地截留河的陆源营养物质,特别是对 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 和 NH_4^+-N 截留比率最大(尹澄清, 1995)。Schnabel R. R.研究表明16m宽的河岸森林交错带硝酸盐可被截留50%以上(Schnabel R. R., 1986),Pinay G. 和 H. Decamps研究表明30m宽河岸森林可去除绝大多数硝酸盐(Pinay G., 1988),Chauvet E. 和 H. Decamps研究表明群落越成熟滞留作用越高(Chauvet E., 1989)。滨海河口盐沼湿地在去除石油烃、农药、重金属等污染物植物修复方面取得了一定进展,修复技术成本低,同时能增加湿地景观功能,许多植物修复技术目前还处在试验



阶段,没有进行实地实施验证(窦勇,2012)。此外,河岸带中的植物还可作为河流的有机碳源,护岸林生态效应研究也有一定进展。

护岸带植物配置可根据河流的土壤侵蚀程度及土地利用情况来确定,在岸坡上可营造乔灌混交林,靠近水位可栽3~5行灌木,岸坡土壤侵蚀和崩塌不太严重且岸坡平缓,紧靠灌木营造20~50m宽乔木护岸林带,若洪水蔓延的范围很大,林带应加宽。另外还有利用建造柳坝、柳盘头等生物工程防冲缓流固持河岸。草本植物可以有效抵御短期洪水侵蚀和频繁的水位变化(张建春,2001)。三峡库区涪陵段的河岸缓冲带上种植的撑绿竹不仅能较好地固持水土,而且具有一定的经济效益,护岸林宽度在50m左右,撑绿竹密度在900丛/hm²时生态效益最好(王晶,2004)。

植物筛选应选择环境适应能力较强的,并且有大的生态效益和社会效益。植物筛选应该在广泛调查的基础上,开展试验研究后再作出选择。选择植物应该优先选用本土植物,选择去污能力强、净化效果好的植物,选择根系发达、生物量大、抗逆性强的植物,选择有景观作用或一定经济价值的植物,并合理搭配不同植物物种(梁雪,2012)。研究和实践上常用的湿地植物有芦苇、蘆草、蔗草、水葱、水毛草、灯心草、蘆草、蒲草、莎草、蓼衣草、荻、茭白、苕菜、菱等。Gerberg等研究发现蘆草、芦苇对污水中氨氮和BOD₅的去除能力明显高于香蒲(成水平,2002)。

三、水陆交错带基质修复研究

基质是植物生长的前提,也是生态恢复的关键。水陆交错带岸坡导致缺少基质或基质不稳定,关系到植物的生长,基质的造价变幅大,基质加固或重建是关键。综合考虑生态修复工程的生态性、景观性、安全性、经济性,首先要稳定边坡,加固或增加基质,这是水陆交错带生态修复技术实施主要考虑的问题之一(陆鹏,2012)。

我国河流护岸过去只考虑工程耐久性和施工便利性,多采用混凝土材料,结果导致人工构造物隔断了水、陆生态系统联系,破坏了河流的物质循环和能量流动,导致河流自净能力降低、自我恢复能力降低、水质恶化、物种减少等河流生态系统的退化(封福记,2004)。研究河岸生态修复材料不可或缺,在植物选择上,应选择既能耐碱又能够耐水湿的物种,既能保证河道护岸工程的安全性及耐久性,同时又能保证动植物及微生物和谐共存的生态修复材料,它们具有很大的应用价值。

生态修复首先要修复土壤或基质,优良的基质要具有适合植被生长的元素,三相比较合理,有机质肥配比要合理(陆鹏,2012)。保水剂、黏合剂、土壤改良剂、缓释肥、有机质、草炭土、土壤、普通硅酸盐水泥、羧甲基纤维素、秸秆、锯末、糠醛渣等是生态修复工程较为常用的基质,混合当地种植土,为植被提供良好的种植条件。另外还有一些新技术有新的基质添加,如将植物生长的基础土壤与有机基材、高分子黏结剂、保水剂、肥料和种子等,按一定比例混合,经过机械充分搅拌均匀后,喷射到坡面;树枝、树叶、秸秆等再加工形成的木纤维等有机材料作为液压喷播基质;有效改善土壤结构的椰粉砖等新兴基质。在进行基质修复时,应在研究当地气候环境、植被品种、土壤结构等条件下,本着生态、景观、安全及经济性的原则,合理地选择绿化基质、调配基质。



四、快速绿化技术研究

快速绿化研究主要集中在裸露边坡植被绿化、草皮铺植、快速育苗（大规格苗木移植快速培育、扦插快速育苗、无土栽培等）、插花等快速恢复植被方面。未来的研究方向集中在绿化成本对比研究、植物筛选、边坡景观规划、边坡绿化施工后的评价与管理、工程建设对生态系统健康的影响以及一些绿化技术的研究。

快速复生绿色植被技术是将植物所需基质、植物纤维、生长素、胶黏剂等添加剂和植物种子混合喷射到裸露地进行绿化，缩短绿化时间。

藤本植物在生态修复方面起重要作用，也可以缩短绿化时间，达到快速绿化的目的。对藤本植物进行扦插繁殖，并进行生根期管理和移栽，参照草坪毯的生产方法，将藤本植物制作成藤毯，绿化时直接铺装即可成覆盖成景。分点铺式、带铺式、满铺式等藤毯绿化模式。

草块铺植能在短时间内覆盖坡面，成坪迅速，故能极早发挥防护功能。使用草皮卷铺植草坪，具有施工时间短、见效快、效果好等优点。

快速育苗包括扦插（嫩枝扦插、硬枝扦插、根插）、快速育苗技术、容器育苗、大规格苗木移植、快速培育技术等。植物非试管快繁技术是目前投资最省的工厂化育苗新技术，技术实用性强，易操作。容器育苗培育，可延长育苗生长期，实现当年育苗当年造林。

大树移植技术普遍应用于改善生态环境与景观方面，也是一种快速绿化技术，包括树木移植前准备、树木移植挖运种及移植后的养护管理等。

屋顶绿化，是在结构板上的绿化形式，能有效弥补城市绿化的不足，屋顶绿化技术的研究和应用取得了不少成果，屋顶绿化植被快速恢复技术可借鉴。

插花艺术，指将剪切的植物枝、叶、花作为素材，经过修剪、整枝、弯曲等技术和构思、造型、设色等艺术加工，重新配置的景观艺术。插花艺术是一种成本较高，但景观性极强的快速绿化技术。在旅游核心区可以适当使用此快速绿化技术。

第三节 水陆交错带生态系统管理

人类对生态系统管理的理解源于对生态系统的认识。“综合生态系统管理”有时简称生态系统管理。生态系统管理是经济、社会、生物、自然之间非常复杂的相互作用和关系。自然资源管理的延续发展与完全不同于自然管理的两种对生态系统管理的观点交织（Lackey, 1998）。生态系统管理学是多学科的交叉科学，主要研究如何通过有效的管理技术维持良好的生态系统结构和服务功能，保护生物多样性，保障可持续发展等。

国内外关于生态系统管理研究的重点在于脆弱的、生态意义重大的生态系统等，研究集中在自然保护区生态系统管理的理论性探讨阶段。对重点区域生态系统管理的科学问题开展专题和综合研究非常必要，以阐明关键生态学过程和特征，构建可持续的综合生态系统管理模式（于贵瑞，2001）。



一、生态系统管理沿革

生态系统管理起源于传统的林业资源管理(赵云龙, 2004)。生态系统管理无论是作为理论还是实践至今仍处于发展中。1935年, Wright和Thompson对美国黄石国家公园进行了深入的研究, 提出了一些系统管理思想。Leopold认为人类应把土地当作一个完整的生物体予以关爱, 这是世界上第一个描述生态系统管理的概念(Leopold, 1949)。20世纪80年代, 大量生态系统管理方面的研究成果出现, 此时期美国倡导对生态系统要进行科学管理(任海, 2000)。1988年, 第一本生态系统管理专著出版, 标志着生态系统管理学的诞生。进入20世纪90年代, 生态系统管理研究进入了比较繁荣的时期, Grumbine全面论述了生态系统管理概念、结构框架(Grumbine, 1994)。20世纪末和21世纪初我国才开始引进国外生态系统管理的研究思维, 并进行了生态系统管理的相关研究(于贵瑞, 2001; 汪诗平, 2003; 杨理, 2004)。河岸带生态系统管理是生态系统管理研究的热点(陈吉泉, 1996; Edward, 2003)。21世纪以来, 综合生态系统管理理论成为解决人口、资源、环境、经济、社会复合系统的重要理论。生态数学、系统生态学、生态承载力分析、生态健康评价、生态规划、恢复生态学、保护生态学、生态法学等理论与技术的研究, 为生态系统管理研究提供了重要的理论、技术与实践支撑, 并将成为生态管理科学的主干体系。综合生态系统管理采用多学科方法有机结合, 发展综合可持续的社会环境系统, 其作为一种有发展前景的“工具”, 已经越来越多地引起关注。综合生态系统管理可以为制定环境政策与管理措施提供方法(何婷, 2008)。

二、水陆交错带生态系统管理尺度

生态学尺度是实现生态系统管理的有效手段, 要达到管理目标, 必须确定合适的研究尺度。水陆生态交错带生态系统管理研究应从多个尺度上识别交错带地形、水文和植被关系以及生态过程, 在识别结果的基础上进行多尺度综合管理。河岸带景观研究从区域、流域、河流廊道、生态区几个尺度上开展(郭怀成, 2007)。

生态区是由河岸带植被形成具有一定宽度的植被带, 生态区具有相同的特征和功能。在此尺度上进行生态系统管理, 需要注重管理的可操作性, 研究的内容可包括植被恢复与重建、物种种源保护、种群动态调控、坡面工程建设、土壤恢复、水土流失控制等(郭怀成, 2007)。

河流廊道是由一个或多个生态区组成的廊道, 在此尺度上的生态系统管理, 应该注重生态连续性、景观异质性、生态系统完整性等。研究的内容可包括河道自然形态恢复、河流水文调控、河岸带与地下潜水相互作用机制、廊道生态系统调控等。

在流域尺度上, 生态系统管理应侧重于分析整个流域的人为干扰过程和生态系统功能等, 全面考虑各个行业, 各个部门, 制定管理策略进行流域综合生态管理。研究内容可包括景观特征及其时空动态变化、水和沉积物的传输规律、生态系统的生物和物理过程、土地利用变化格局、人为干扰等。

在区域尺度上, 生态系统管理应该综合流域尺度的管理内容, 进行尺度转换、资源整合和结构优化, 有效管理生态系统。研究内容可包括: 生态系统综合评价、生态系统可持



续性、生态系统过程模型与尺度转换、生态系统网络集成等（于贵瑞，2001）。

三、水陆交错带生态系统管理技术

生态系统管理具有综合性、系统性以及持续性等特点，需要综合考虑生态、社会、经济等多方面因素，尊重自然发展的客观规律，系统分析生态系统因素及其相互关系，需要跨部门、跨区域、多主体的参与。在管理过程中，应充分利用多种技术和措施对生态系统的结构和过程实施有效干预，进行生态系统保护。生态系统管理需要建立有效的生态系统管理方法体系（田慧颖，2006）。Brussard P. F. 等认为其技术过程分为七步：一是确定边界，找出问题，筛选管理对象；二是确定管理目标；三是了解生态系统，获取数据；四是收集社会经济数据；五是综合分析构建模型，确定方案；六是执行方案；七是跟踪管理，监测评价，及时调整（Brussard P. F., 1998）。建立生态系统目标体系是生态系统管理的首要任务，设定“顶级”目标为综合性总体目标，表达了进行管理的原因，再细化为各层级目标，其是对“顶级”目标的进一步分解和细化。管理体系中的各个目标之间需要通过辨识加以调整，生态系统管理是对复合生态系统的管理，都有复杂的动态特征，它们之间的相互关系极为复杂。通过多种管理方案或措施权衡多角度多层次管理目标，利用系统工程方法进行体系设计、方案制定以及监测评价（田慧颖，2006）。

我国的生态系统保护研究针对不同地区、不同问题取得了很多成果（崔莉，2014）。徐高福等提出了针对不同生态保护等级的差别化生态保护措施（徐高福，2010）。王立龙等揭示了人类活动对生态保护区的影响，提出了保护和修复策略（王立龙，2010）。陈永金等基于塔里木河监测数据，提出了堤防外生态保护的建議（陈永金，2008）。水陆交错带生态系统管理的内容包括：岸带稳定、河漫滩保护、廊道大小、排水沟渠尺度、道路交叉穿越、控制水土流失等。对水情稳定，洪涝灾害不大的河流，可以对河漫滩进行适当开发，而对于径流季节变化大、多次发生洪涝灾害的河流，不轻易对其河漫滩进行大规模开发（邓红兵，2001）。

四、水陆交错带生态系统管理评价

如何对河岸带进行有效的保护和管理，管理措施是否到位，怎样才能更有效地进行生态管理等問題已成为如今生态管理者们考虑的問題。

河流生态系统管理的目的是要维持健康的河流生态系统。目前生态系统管理评价研究成果主要有：赵庆建等对流域生态系统管理进行了研究，指出流域生态系统管理是一门交叉的新兴学科（赵庆建，2010）；邓红兵提出水陆交错带的管理应该针对不同的情况采取相应的措施（邓红兵，2002）；袁吉有等开展了脆弱生态区生态系统的管理研究，提出遏制并减缓生态恶化的措施（袁吉有，2011）；潘明麒等研究表明，洞庭湖地区应该加强管理体制机制创新，加快立法与执法，编制发展规划，促进生态恢复工程的巩固、湿地资源合理利用、湿地产业的开发以及湿地生态（潘明麒，2011）。

我国河岸带生态系统管理的生态学研究很少，还有许多问题亟待解决，缺少系统研究（张建春，2001；王良民，2008）。今后应加强陆地生态系统空间异质性对河道自净化能力的影响研究；重视面向外部复杂环境的参数获取方法的研究；综合河岸生态系统与河道水



体生态系统，系统研究非点源污染在陆—水迁移和水体运移中河道生态系统自净化能力的时空变化特征，从而为开展河道生态系统健康评价、河道生态系统管理提供科学的依据（杨丽蓉，2009）。要加强河岸带管理政策研究，制定河岸带规划，制定管理合理政策。在小尺度上，重点研究河岸带植被生境条件及其相互关系，制定河岸带管理要求；在大尺度角度上，利用 3S 技术及现代数学方法，进行河岸带植被景观的人地关系及其时、空动态变化研究，特别要加强人为活动对水陆交错带生态影响的研究（邓红兵，2001）。生态系统管理是集成多学科、跨部门的可持续性管理，目前我国的生态系统管理还存着一些不足，社会参与性不高，一些科研成果不能及时得到应用，科技支撑能力有待加强。今后开展生态系统管理研究时，生态学应与社会学、经济学相结合，创新生态系统管理模式和框架，多学科知识融合，多部门多行业综合管理，从而维护水陆交错带生态系统健康和生态长期可持续性。

第二章 漓江水陆交错带概况及研究方法

第一节 研究区范围

桂林漓江发源于灵川、兴安两县交界的猫儿山，流经兴安、灵川、桂林、阳朔，至平乐县，汇入西江，全长 437km。其中桂林至阳朔为漓江游览风景区，长 83km，是桂林山水的精髓。漓江河槽宽 100~600m，丰水期江面宽 100~300m，水深 1m 以上，每年 9 月至次年 2 月为枯水期，长达 5 个月，枯水期江面只有 30~50m，水深不足 60cm。近年枯水期漓江两岸山体裸露日趋严重，严重影响生态环境（韩耀全，2007）。漓江是生态脆弱带以及旅游重点区域，两岸植被直接影响其旅游价值。针对漓江水质下降和生态系统退化的关键问题，通过漓江水陆交错带生态恢复关键技术的试验示范，促进改善漓江水质、提高生态功能以及提升旅游景观品质，为漓江社会经济可持续发展，尤其是旅游业发展，提供科技支撑。研究范围为桂林市区至阳朔长 83km 的漓江游览风景区水陆交错带，如图 2-1 所示。

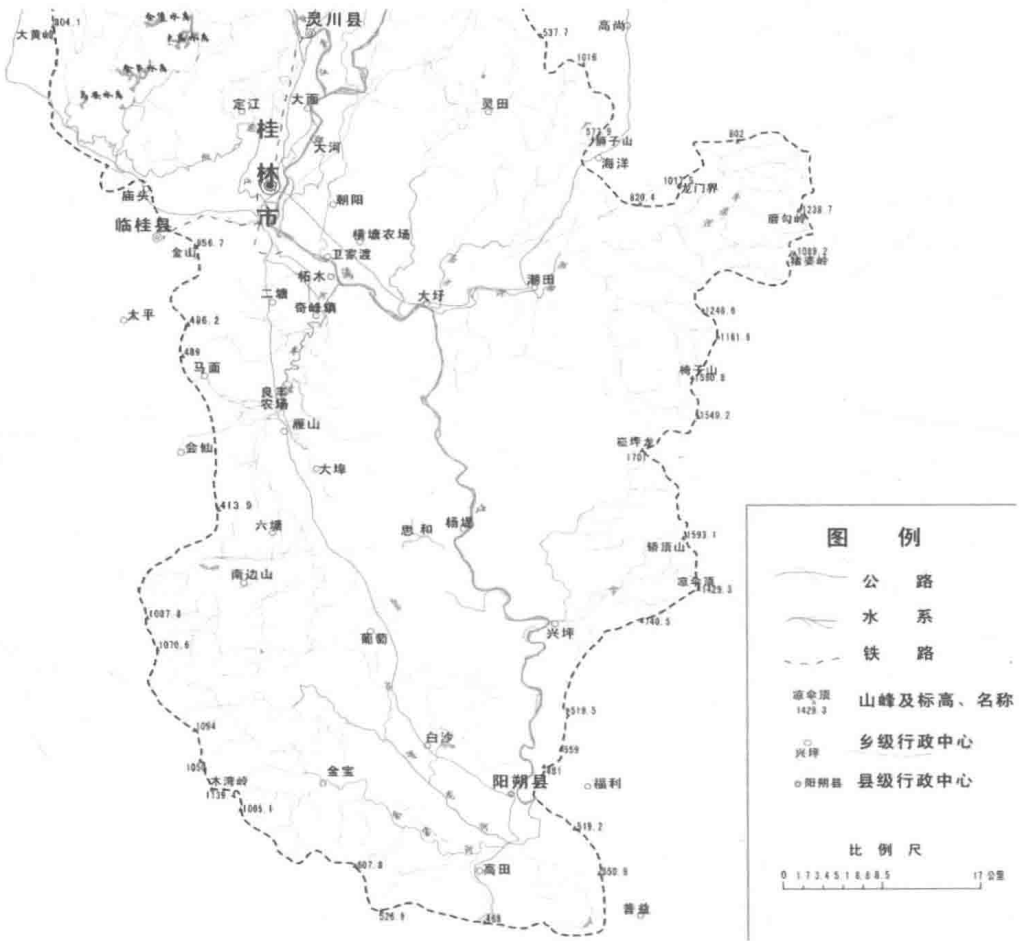


图 2-1 研究区地理位置示意图