

三峡库区

生态系统诊断与修复

Diagnosis and Restoration
of Ecosystems in the Three Gorges Reservoir Area

李昌晓 魏 虹 / 著



科学出版社

三峡库区生态系统诊断与修复

李昌晓 魏虹 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书将三峡库区作为一个生态系统整体进行研究,在概述三峡库区生态系统的基础上,综合评价三峡库区生态系统的健康状况、脆弱性及其服务价值时空变化;诊断分析三峡库区生态系统的退化及存在的问题;有针对性地提出三峡库区生态系统的修复技术体系,并提出利用公私伙伴关系(PPPs)创新三峡库区生态环境修复的策略。

本书可供资源、环境、农业、林业、水利、生态、地理、管理等专业领域的高等院校师生、科研院所研究人员、政府部门管理人员和企事业单位技术人员阅读和使用。

图书在版编目(CIP)数据

三峡库区生态系统诊断与修复 / 李昌晓, 魏虹著. —北京: 科学出版社, 2015.12

ISBN 978-7-03-046662-4

I. ①三… II. ①李… ②魏… III. ①三峡水利工程-生态系统-研究 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 306616 号

责任编辑: 杨 岭 刘 琳 / 责任校对: 韩雨舟

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年3月第一次印刷 印张: 10.25

字数: 300千字

定价: 69.00元

课 题 支 撑

本书得到国家科技部国际合作专项(2015DFA90900);重庆市林业重点科技攻关项目(渝林科研 2015-6);重庆市基础与前沿研究计划重点项目(CSTC2013JJB00004);中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2013A011)及中央财政林业科技推广示范项目(渝林科推[2014-10])资助。

前 言

生态系统是人类赖以生存的环境基础，维持生态系统的平衡才能使社会得到更好的发展。爱护生态系统，为子孙后代留下美丽景色，是我们义不容辞的责任。近 10 年来，我国对生态保护方面的投入不断加大，投入规模史无前例。然而，我国的生态系统管理严重滞后，生态系统服务功能继续退化。提高我国生态系统的服务能力，科学规范地对生态系统进行务实管理已成为当务之急。

长江，作为我国第一大河，创造了全国 40% 的 GDP，其安全健康程度将对我国的政治、经济、文化产生重要影响。三峡工程是在长江中上游段建设的特大型水利枢纽工程，同时也是一项宏伟的环境工程，在长江流域甚至全国的可持续发展中有着重要的战略地位和作用。三峡工程能在防洪、发电、航运、旅游等方面产生巨大的经济效益，可对流域内的资源、生态、环境进行人工调控。与此同时，三峡工程也深刻地影响着库区的自然演化过程与生态系统的结构和功能，使得三峡库区的生态系统变得十分脆弱。随着工程的完工和全面运行，三峡库区的环境问题日益显现。尽管国家和地方政府已加大对三峡库区生态环境方面的研究投入，但三峡库区的环境污染、生态系统退化、水土流失严重的现象仍未得到根本遏制。已有研究表明，这一地区生态系统功能处于局部改善、整体退化甚至恶化的状态。生态退化已经成为制约三峡库区经济社会发展的重要因素，同时也对周围地区的生态安全构成严重威胁。因此，深入开展三峡库区环境保护与生态修复的研究，对确保三峡工程长期安全运营、发挥巨大经济效益、保障库区经济可持续发展以及库区群众的身体健康、促进人与自然和谐相处等方面有着极其重要的意义。

本研究是对三峡库区退化生态系统修复实践的总结和理论的丰富，具有前瞻性和可操作性。此书力求反映国内外退化生态系统修复研究的最新进展，结合在三峡库区生态修复实践中的运用实例，力求为库区退化生态系统修复提供理论依据和技术指导。希望此书能够引起人们对三峡库区更多的关注，使之积极投身到三峡库区生态系统的保护和修复之中，共同维护三峡库区的持久与安全运行。

参与本书研究工作的还有马骏、杨予静、李帅、任庆水、王朝英、马朋、丽娜、缪祥斌、李玉龙、胡莉珍等研究生，在此对他们的参与和贡献表示衷心感谢。

著 者

2015 年 10 月

目 录

第一章 三峡库区生态系统概况	1
第一节 生态系统概述	1
一、生态系统的概念	1
二、生态系统的结构及功能	1
第二节 三峡库区生态系统概况	4
一、三峡库区生态系统	4
二、三峡库区库岸生态系统	7
第二章 三峡库区生态系统评价	10
第一节 生态系统评价概述	10
一、生态系统评价及分类	10
二、生态系统评价方法	10
第二节 三峡库区生态系统健康评价——以汝溪河流域为例	16
一、汝溪河流域概况	16
二、汝溪河流域生态系统健康评价指标体系的构建	18
三、汝溪河流域生态系统健康评价方法	19
四、汝溪河流域生态系统健康评价	21
第三节 三峡库区(重庆段)生态系统脆弱性评价	26
一、三峡库区(重庆段)生态系统脆弱性评价指标体系构建	26
二、三峡库区(重庆段)生态系统脆弱性评价指标数据库	27
三、三峡库区(重庆段)生态系统脆弱性评价方法	29
四、三峡库区(重庆段)生态系统脆弱性评价	32
第四节 三峡库区(重庆段)生态系统服务价值时空变化	42
一、三峡库区(重庆段)生态系统服务价值评价方法	42
二、三峡库区(重庆段)生态系统服务价值评价	45
第五节 三峡库区(重庆段)生态系统综合评价	51
一、三峡库区(重庆段)生态系统评价指标体系构建	51
二、三峡库区(重庆段)生态系统的评价	55
第三章 三峡库区生态系统退化分析	64
第一节 生态系统退化概述	64
一、生态系统退化的实质	65
二、生态系统的退化类型	65
三、生态系统退化的特点	66
第二节 三峡库区生态系统退化	67
一、退化过程	68

二、退化及驱动因子	69
第三节 三峡库区(重庆段)人与自然耦联系统退化分析	73
一、三峡库区(重庆段)人口资源承载力分析	73
二、三峡库区(重庆段)土地利用时空变化分析	76
三、三峡库区(重庆段)土壤侵蚀变化分析	80
第四章 三峡库区退化生态系统修复	84
第一节 生态系统修复理论	84
一、生态系统修复的概念	84
二、生态系统修复的方式	85
三、生态系统修复的意义	85
四、生态系统修复的原则	86
五、生态系统修复的步骤	86
第二节 三峡库区生态系统修复的必要性及面临的难题	87
一、三峡库区生态系统修复的必要性与重要性	87
二、三峡库区生态系统修复面临的难题	88
第三节 三峡库区生态系统修复的措施及技术	89
一、三峡库区生态系统修复的措施及技术	89
二、三峡库区库岸生态系统修复	93
第四节 三峡库区退化土地的修复	97
一、退化土地修复	97
二、三峡库区退化土地修复措施	99
三、三峡库区退化土地修复实例——以消落带植被修复重建为例	109
四、三峡库区退化土地修复成效	121
第五章 利用公私伙伴关系创新三峡库区生态修复	124
第一节 “公私伙伴关系”概述	124
一、公私伙伴关系的定义	124
二、公私伙伴关系的基本模式	126
三、利用 PPPs 开展三峡库区生态系统修复的必要性与重要性	127
四、三峡库区公私伙伴关系的类型	128
五、三峡库区退化生态系统修复公私伙伴关系发展现状	129
六、三峡库区退化生态系统修复 PPPs 特征分析	133
第二节 通过公私伙伴关系创新库区退化生态系统修复	137
一、建立三峡库区退化生态系统修复公私伙伴关系的一般方法	137
二、利用公私伙伴关系创新三峡库区退化生态系统修复的政策优势明显	139
三、三峡库区退化生态系统修复公私伙伴关系的良性循环	141
参考文献	143

第一章 三峡库区生态系统概况

第一节 生态系统概述

一、生态系统的概念

生态系统(ecosystem)作为一个科学概念,最早由英国生态学家 Tansley 于 1935 年提出,指“整个系统,它不仅包括生物复合体,而且还包括人们称为环境的各种自然因素的复合体。我们不能把生物与其特定的自然环境分开,生物与环境形成一个自然系统。”正是这种系统构成了地球表面上具有不同大小和类型的基本单元,这就是生态系统。

在“生态系统”概念被提出后,很多生态学家对生态系统的概念从不同方向和角度给出了解释和定义。目前普遍认可的定义是:在一定的空间和时间范围内,共同栖居着的所有生物(即生物群落)与其环境之间通过不断的物质循环和能量流动过程而相互作用形成的具有一定格局、统一的整体。

生态系统的概念在应用时对其范围和大小没有严格限制。小到一棵树,大到一片森林,甚至整个地球上的生物圈都可以称为一个生态系统。生态系统的边界可能很清楚,也可能模糊不定,随研究问题的特征不同而发生改变。生态系统类型的划分也没有统一的原则,可以从不同的研究角度进行划分,从形成上可将生态系统分为自然生态系统、人工生态系统和复合生态系统。自然生态系统包括森林、草原、荒漠和苔原、海洋、淡水和湿地等。人工生态系统包括城市、农田、果园、池塘等。此外,由于人为活动的加强,有些自然生态系统逐步发展为自然和人工的复合生态系统。

地球上大部分生态系统具有维持自身平衡、稳定的特性。一个生态系统内,各种生物之间、各种生物与环境之间存在一种平衡关系,任何外来物种或物质侵入这个生态系统,都可能会破坏这种平衡。而在平衡被破坏后,可能会逐渐达到另一种平衡状态。如果生态系统的平衡被严重破坏,可能会造成永久的失衡,如在人类不合理活动的影响下,生态系统可能会失去平衡。

二、生态系统的结构及功能

生态系统结构与其功能相辅相成,存在辩证统一的关系(蔡晓明,2000)。两者相互依存,一定的结构产生一定的功能,一定的功能总是由一定的系统结构表现;两者相互制约、相互转化,系统结构决定功能,结构的改变必然导致功能的变化,反过来功能变化也会影响结构。

(一)生态系统结构

生态系统的结构主要指构成生态系统的诸要素及其量比关系,各组分在时间、空间

上的分布以及各组分间能量、物质、信息流的途径与传递关系(Rapport, 1998)。生态系统结构主要包括组分结构、时空结构和营养结构三个方面(徐治国等, 2006)。

1. 组分结构

组分结构是指生态系统中由不同生物类型或品种以及它们之间不同的数量组合关系所构成的系统结构(谢红勇等, 2004)。组分结构中主要讨论生物群落的种类组成及各组分之间的量比关系。生物种群是构成生态系统的基本单元, 不同物种(或类群)以及它们之间不同的量比关系构成了生态系统的基本特征。即使物种类型相同, 只要各物种类型所占比重不同, 也会产生不同的功能。此外, 环境构成要素及状况也属于组分结构。

2. 时空结构

时空结构也称形态结构, 是指各种生物成分或群落在空间上和时间上的不同配置和形态变化特征, 包括水平分布上的镶嵌性、垂直分布上的成层性和时间上的发展演替特征, 即水平结构、垂直结构和时空分布格局(杨清伟等, 2005)。空间结构可分为水平结构和垂直结构, 水平结构是因地理位置原因而使环境要素形成纬向或经向的水平渐变结构或由社会原因所形成的同心圆的水平分布。垂直结构又称立体结构, 环境因子可因海拔高度、土层和水层深度等变化形成垂直渐变结构, 在不同的垂直环境中有不同的生物类型或数量。生态系统的结构和外貌会随时间不同而变化, 这反映出生态系统在时间上的动态。可以用三个时间量度: 一是长时间尺度, 以生态系统的进化为主要内容; 二是中尺度, 以群落演替为主要内容; 三是小尺度(如昼夜、季节、年份), 这种最为普遍。如绿色植物白天光合作用, 夜间呼吸作用。

3. 营养结构

生态系统中各种成分之间最本质的联系是通过营养来实现的, 即通过食物链把生物与非生物、生产者与消费者、消费者与消费者连成一个整体(张虹, 2008)。所谓食物链是指生态系统内不同生物在营养关系中形成的一环套一环似链条式的关系。中国的古语, “螳螂捕蝉, 黄雀在后”, 实际上就是一条食物链。生态系统中的食物链很少是单条、孤立出现的, 它往往是交叉链索, 形成复杂的网络结构, 即食物网。正是通过食物营养, 生物与生物、生物与非生物环境才有机地连结成一个整体。生态系统中能量流动和物质循环正是沿着食物链(网)这条渠道进行的。

(二) 生态系统功能

生态系统功能即生态系统的过程或性质。生态系统过程(ecosystem process)就是指生态系统的生物及非生物因素为达到一定的结果(物质、能量和信息的传输)而发生的一系列复杂的相互作用(Lyons et al., 2005)。因而生态系统具有了物质循环、能量流动和信息传递三大基本功能。除此之外, 生态系统还存在生物生产、资源分解作用等过程。在生态系统间同样发生着物种流动, 加强了不同生态系统间的交流和联系。在人工复合生态系统中, 生态系统是依赖于人类而存在, 在这类生态系统中由于人类的参与, 具有直接为人类提供服务的能力, 即具一定价值。因此, 生态系统具有生物生产、资源分解、物种流和价值流等功能(蔡晓明, 2000)。

1. 生态系统的物质循环

生物圈是由物质构成的,生态系统中的物质(主要是组成生物体的C、H、O、N、P、S等必需的各种营养元素)在生态系统中不断进行着从无机环境到生物群落,又从生物群落回到无机环境的循环过程,这就是生态系统的物质循环,是生态系统功能的一个重要体现。物质的循环又叫生物地理化学循环。在物质循环中比较典型和有代表性的有水循环、C循环、N循环和S循环等。

2. 生态系统的能量循环

生态系统中生命系统与环境系统在相互作用的过程中,始终伴随着能量的流动与转化(蔡晓明,2000)。能量是一切生态系统的动力,也是生态系统存在和发展的基础,生物圈中每一个完整的生态系统都是一个能量输入、传递和输出的系统,这是生态系统功能的一个重要体现。能量在生态系统中流动具有两个明显的特点:单向流动和逐级递减。

单向流动主要表现在三个方面:①太阳辐射进入生态系统后,不再以光能的形式返回,而是通过光合作用被植物所固定;②生态系统的能量流动只能从第一营养级流向第二营养级,再依次流向后面的各个营养级,不能逆向流动,也不能循环流动;③能量只是一次性的流经生态系统,是不可逆的。

逐级递减是指输入到一个营养级的能量不可能百分之百地流向后一营养级,能量在沿食物链流动的过程中是逐级减少的。一般来说,在输入到某一营养级的能量中,只有10%~20%的能量能够流动到后一营养级。

3. 生态系统的信息传递

生态系统包含着大量复杂的信息,既有系统内要素间关系的“内信息”,又存在着与外部环境关系的“外信息”的系统。信息是生态系统的基础之一,没有信息,也就不存在生态系统。信息传递不像物质流那样是循环的,也不像能流那样是单向的,而往往是双向的。信息传递有利于沟通生物群落与非生物环境之间、生物与生物之间的关系,正是由于信息流,生态系统产生了自动调节机制。

(三)生态系统的稳定性

经过长期的自然演化,每个区域的生物和环境之间、生物与生物之间,都形成了一种相对稳定的结构,具有组成、结构和功能的稳定性,这就是人们常说的生态系统的稳定性。生态系统的稳定性指生态系统经过长期演化,逐步形成的生物与非生物物质和能量之间、生物与生物之间相对稳定的状态(Wei, 2010)。这种相对稳定平衡可以用食物链来举例。一个“草→羊→狼”简单生态系统模型中,羊群吃草量增多,羊的数量增加,同时由于羊吃草,草的数量会降低,在此过程中狼的捕食作用也使得羊的数量减小。在草量和狼群两者共同作用下,羊的数量被限制在一定范围之内,最终三者的数量都保持在一定范围以内。上述例子说明,当生态系统发生一定变化时,由于生态系统自身的调节能力,生态系统各个组成部分能够调整数量,克服变化的干扰,维持相对稳定和平衡的状态。这种自我调节能力是生态系统稳定性的一个重要因素。

第二节 三峡库区生态系统概况

一、三峡库区生态系统

(一) 三峡库区生态系统概况

三峡库区(Three Gorges Reservoir Region)是一个特定的区域概念(长江水利委员会, 1997), 是指三峡水利枢纽工程蓄水之后淹没所涉及的范围(邵田等, 2008), 泛指按照三峡大坝正常蓄水位 175m 淹没范围所涉及重庆和湖北长江两岸的 20 余县、市(区)。位于北纬 $28^{\circ}56' \sim 31^{\circ}44'$, 东经 $106^{\circ}16' \sim 111^{\circ}28'$ 之间, 总面积约为 $57\,802\text{km}^2$ 。北依大巴山脉, 南靠武陵山脉, 东起湖北宜昌, 西至重庆江津。具体包括湖北省的夷陵、兴山、秭归、巴东, 重庆市的巫山、巫溪、奉节、云阳、开县、万州、忠县、石柱、丰都、武隆、涪陵、长寿、渝北、江北、渝中、南岸、巴南、大渡口、九龙坡、沙坪坝、北碚、江津等共 26 个县(市、区)(图 1-1)。

三峡库区是长江三峡工程兴建而产生的较新的一个地域空间名词。三峡工程开始于 1994 年, 截流于 1997 年 11 月 8 日, 2003 年开始蓄水, 当年 6 月蓄水至 135m, 9 月蓄水至 156m, 2008 年 9 月试验性蓄水至 172.3m, 2009 年蓄水位达最大 175m。

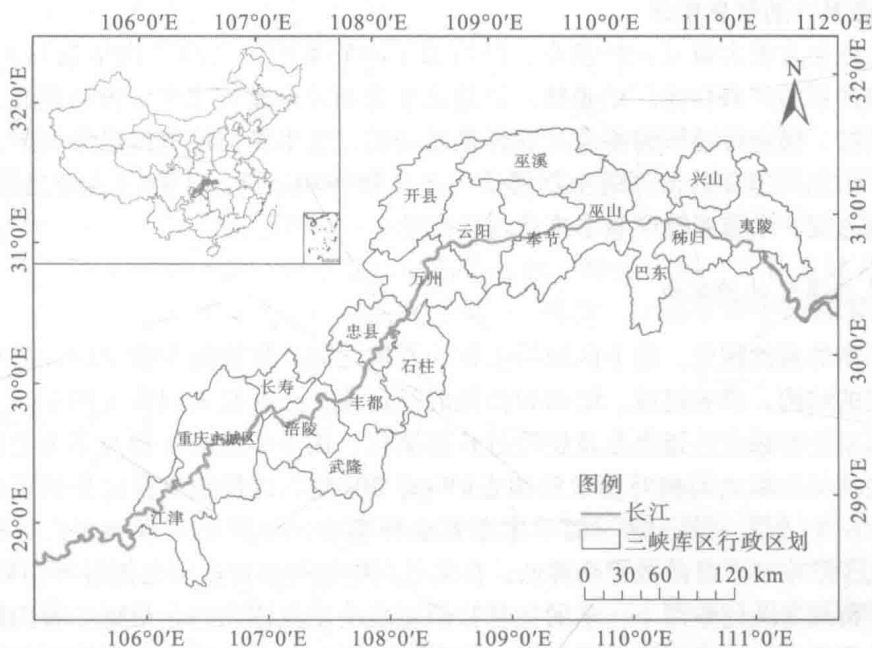


图 1-1 三峡库区地理位置及行政区划

三峡库区生态系统是介于自然和人工之间的一种生态系统, 处于陆地和水域交接的过渡区和生态交错区(廖玉静等, 2009), 其组成结构包含着湿地生态系统的一部分, 也包含着人工水库建筑的一部分, 属于复合生态系统。由于三峡库区生态系统是建立在水这个维持湿地功能和人工设施的相互依存的物质之上, 因此该生态系统对水文条件的要

求比较高(涂建军等, 2002)。

1. 地形地貌

三峡库区位于大巴山、川鄂湘黔、川东三大褶皱带和黄陵背斜交汇处, 北面是大巴山, 南面紧依云贵高原, 跨越川、鄂中低山峡谷和川东平行峡谷低山丘陵区(查中伟, 2011)。奉节以东属川东鄂西山地, 地貌以大巴山、巫山山脉为骨架, 奉节以西属川东低山丘陵平行岭谷区, 属四川盆地的东部。库区内海拔高差悬殊, 最高峰海拔为 3105m, 低处海拔仅 73m, 相差高达 3032m。地形大势为东高西低, 西部多为低山丘陵地貌, 往东逐渐变为中、低山地貌, 河谷平坝约占总面积的 4.3%, 丘陵占 21.7%, 山地占 74% (彭月, 2010; 常直杨等, 2014)。

2. 气候

三峡库区属中亚热带湿润季风气候, 北有大巴山脉阻挡, 冬季北方寒流不易侵入, 夏季南方湿热气候越过云贵高原产生焚风效应, 致使库区具有冬暖、春早、夏热、秋雨、光照少、云雾多、霜雪少等特征。库区年平均气温 17~19℃, 冬季短, 60~70d, 极端最低气温 -4℃左右, 霜雪很少; 夏季炎热, 长达 140~150d, 最热月七月份平均气温 28~30℃, 极端最高气温 42.6℃, 稳定通过 10℃ 的初日在三月初, 终日在十二月初。海拔 500m 以下的河谷地带的 >10℃ 积温达 5200~6900℃, 无霜期长达 290~340d。受地形影响, 气候垂直变化明显, 一般海拔升高 100m, 平均气温下降 0.4~0.6℃。库区地处长江河谷, 云雾多, 风力小, 年日照 1300~1700h, 日照百分率约为 30%, 年平均雾日达 69d。库区降水丰沛, 年降水量 1000~1200mm, 季节分配不均, 四月至十月为雨季, 春末夏初多雨, 七、八月连晴高温, 库区年平均相对湿度 70%~80%。

3. 水文

三峡库区水系发达, 江河纵横, 除长江干流河系外, 区域内还有流域面积 100km² 以上的支流 152 条, 其中重庆境内 121 条, 湖北境内 31 条。流域面积 1000km² 以上的支流有 19 条, 其中重庆境内 16 条, 湖北境内 3 条(彭月, 2010)。三峡库区多年平均水资源总量 401.8 亿 m³, 目前区域内地表水开发利用量占地表水总量的 10% 左右, 开发利用程度较低。受亚热带湿润季风的影响, 库区降雨比较集中, 大部分河流具有降水丰沛且多暴雨、谷坡陡峻、天然落差大、滩多水急、陡涨陡落等山区河流的特点。

4. 植被和物种

三峡库区物种资源丰富, 具有物种多样性和生态群落、生态系统多样性的优势。库区有维管束植物 6088 种, 其中国家重点保护的珍稀植物达 47 种。陆生脊椎动物 363 种, 其中国家重点保护的野生动物 32 种。植被有常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针叶林、针阔混交林、竹林、灌草丛等植被类型分布, 其中常绿针叶林占库区植被覆盖面积的 27.44%, 是该地区分布最为优势的植被类型。但由于库区开发历史悠久, 经过数千年的垦殖, 目前天然森林植被仅在极少数地区残存, 且多处于次生状态。特别在江岸两侧海拔 1000m 以下地区, 森林植被很少, 绝大部分被开发为梯田、坡耕地以及柑橘(*Citrus reticulata*)、茶叶(*Camellia sinensis*)等种植园, 几乎难以找到能反映原来面貌的植被类型。在 2010 年, 三峡库区森林面积 250.86 万 hm², 森林覆盖率 43.50%, 其中, 有林地 219.67 万 hm², 占 87.57%; 国家特别灌木林 31.19 万 hm², 占 12.43%。活立木总蓄积

12 505.18 万 m^3 , 其中森林蓄积 11 836.59 万 m^3 , 占 94.65%; 疏林地、散生木和四旁树蓄积 668.59 万 m^3 , 占 5.35% (中华人民共和国环境保护部, 2011)。

5. 土壤

三峡库区土壤共有 7 个土类 16 个亚类。主要土壤类型有黄壤、黄棕壤、山地草甸土、紫色土、石灰土、潮土和水稻土。在土壤类型中, 紫色土占土地面积 47.8%, 富含磷、钾元素, 松软易耕, 适宜多种作物, 目前是库区重要柑橘产区; 石灰土占 34.1%, 在低山丘陵有大面积分布; 黄壤、黄棕壤占 16.3%, 是库区地带性土壤, 分布于高程 600m 以下的河谷盆地和丘陵地区, 土壤自然肥力较高。

6. 社会经济

三峡库区总体来说, 社会发展水平依然比较落后, 在国家和地方政府帮扶以及三峡建设所带来的经济发展契机下, 经济发展较为迅速, 人民生活条件有了较大的提高 (陈聪, 2014)。据《长江三峡工程生态与环境监测公报》(中华人民共和国环境保护部, 2013), 2012 年, 三峡库区户籍总人口 1677.65 万人, 比上年增加 0.3%。其中, 农业人口 1135.03 万人, 比上年减少 1.1%; 非农业人口 542.62 万人, 增加 3.3%。非农业人口占总人口的比重为 32.3%。库区实现地区生产总值 5111.05 亿元, 按可比价格计算, 比上年增长 13.9%。其中, 湖北库区 546.79 亿元, 重庆库区 4564.27 亿元, 分别比上年增长 13.5% 和 14.0%。第一、二、三产业分别实现增加值 547.81 亿元、2942.08 亿元和 1621.16 亿元, 分别比上年增长 12.6%、11.6% 和 22.7%。第一、二、三产业增加值比例为 10.7 : 57.6 : 31.7。第一产业比重持续下降, 第三产业增长较快。

(二) 三峡库区生态环境现状

三峡工程深刻地影响着库区的自然演化过程与生态系统的结构和功能。随着工程的建设, 蓄水高度的提升, 三峡库区生态系统变得十分脆弱, 生态环境问题日益凸显。三峡库区生态系统地位特殊, 长期处于脆弱的生态环境之中, 基础较为薄弱, 加之三峡工程较为浩大, 每年能够投入进行生态恢复的资金又有限。虽在库区及其上游的生态环境治理与恢复取得了一定成效, 但目前三峡库区生态系统仍然面临严峻的生态问题。已有研究表明, 这一区域的生态系统功能正处于局部改善、整体退化甚至恶化的不利状态。生态退化已经成为三峡库区经济社会发展的重要制约因素, 对周围地区的生态安全构成了严重威胁。

(1) 三峡库区内坡耕地分布较广, 其中 25° 以上的坡耕地占整个坡耕地的面积比例较高 (刘继根, 2006)。土地耕作频繁, 没有充足的休耕调息, 土壤长期处于裸露和松散的状态 (马利民等, 2009)。坡耕地土壤极易受到侵蚀, 造成严重的水土流失, 使得河流中的泥沙含量不断增高, 影响库区的生态保持 (岑慧贤等, 1999)。不合理的农业开发也造成大量的面源污染进入江河, 加剧了水环境污染 (张国栋等, 2009)。

(2) 三峡库区植被退化现象极为普遍。由于伐林造田和毁林开荒, 库区中大部分处于天然状态的森林遭到破坏性砍伐, 森林覆盖率急剧下降, 使得三峡库区生态系统涵养水源的功能明显降低。同时, 由于没有科学合理的经营管理策略, 多年来草地也一直处于粗犷开放的经营方式, 退化严重。人口增长、植被覆盖率降低、水土流失及泥石流等造成基岩出现大面积裸露, 库区石漠化程度加剧, 导致长江上游江河中的泥沙含量增多,

这不但影响三峡工程的使用寿命和经济效益(陈治谏等, 2004), 更会严重威胁三峡库区和整个长江流域生态系统的健康和生态安全。

(3) 三峡库区河流污染加剧, 水质恶化。通过对库区水体主要断面的水质分析, 发现水体中的悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、总磷等 10 项指标超标(张磊等, 2007)。此外, 三峡库区内的生活垃圾、工业废弃物在岸边任意堆放, 在造成土壤污染的同时, 也很容易被过激的水流带入到水体中。这部分污染物一旦进入河流中, 不但直接对河流水体造成污染, 而且会在底部形成沉淀淤积, 形成底泥污染, 严重威胁水体水质(张虹, 2008)。三峡库区主要入库支流的沿岸生活污水及垃圾有些并未进行有效处理, 水污染的情况日趋严重(陈国阶等, 1995), 造成长江及三峡库区污染进一步加剧, 远不能满足水域功能的实际需求。如果还不采取强有力的经营管理策略及污染源防治措施, 随着工业、农业以及生活等方面的排污量仍呈增加的趋势, 人为因素对生态环境的破坏将继续存在, 势必会给三峡库区生态系统造成更大的压力。

二、三峡库区库岸生态系统

(一) 库岸生态系统

库岸生态系统是生态系统的一个类别, 从属于生态系统, 与其他生态系统相比具有一定的特殊性。由于各种自然、社会、经济因素, 全球很多地区的库岸生态系统正处在退化之中, 亟需进行生态修复。对库岸生态系统的退化及修复机制进行研究, 首先需要对“什么是库岸”、“什么是库岸生态系统”及“与其他生态系统相比, 库岸生态系统有什么特殊之处”进行阐述, 以便于进一步的研究工作开展。

为了更好地理解库岸生态系统的概念, 首先, 我们需要对岸边带做一个准确的定义。目前, 定义较为全面的有两种观点, 第一种为美国农业部林业局(USDA-FS)对其下的定义: 水生生态系统和相邻的直接或间接受水体影响的部分陆地生态系统, 包括河流、湖泊、海湾等和与其连接的海峡(Karr, 2000); 另一种为海岸带管理指南(coastal zone management handbook)做出的定义: 沿水体岸边的陆生植被生态群落系统, 这个系统与水生系统进行能量和物质的转化(杨胜天等, 2007)。

1. 库岸区域

20 世纪 70 年代人们开始关注库岸区域(riparian zone)的研究, 对库岸区域的定义主要分为广义和狭义两种。广义上的库岸区域是指靠近水边受水流直接影响的植物群落及生长的环境, 狭义上的库岸区域是指从水陆交界处至河水或湖水影响消失的地带(Meehan, 1997; Robert, 1997; Nilsson, 2000; Wei, 2010)。目前, 学界对库岸区域还没有准确的、被广泛认可的定义。本书对其概念进行如下界定: 库岸区域指水体高低水位之间的河床及高水位之上直至河水影响完全消失为止的地带, 它具有限制水体分布范围的功能。库岸区域主要包括 2 个区域, 即陆向辐射区和水位变幅区(Michael et al., 2003)。陆向辐射区是指受水体影响但未被水淹没的区域, 该区域的土壤水分间隙性饱和。水位变幅区是指被水体周期性淹没的区域, 该区域的土壤水分常处于饱和状态。除此之外, Michael 等(2003)认为库岸区域还包括水向辐射区, 即长期被水体淹没的区域, 该区域的水体深度一般在 2m 以内。

2. 库岸生态系统

“库岸生态系统”是一个新兴的生态学概念,是生态系统中岸边带的概念延伸,本书对“库岸生态系统”进行如下界定:库岸生态系统(riparian ecosystem)是指由库岸区域这一特殊环境及适应并生活在该环境中的生物群落通过不断的物质循环和能量流动过程而形成的生态统一体,是一种特殊的湿地生态系统。陆向辐射区的植被以耐湿的或者中生的乔木或灌木为主,建群种一般是乔木;水位变幅区的植物以耐湿、湿生的乔木、灌木或草本植物为主,建群种一般是灌木或湿生植物;水向辐射区的植物以挺水植物、浮水植物及部分沉水植物为主,建群种一般是挺水植物。

库岸生态系统具有独特的植被、土壤、地形地貌和水文特性。相比其他生态系统,它具有以下特点:①库岸生态系统整体位置邻近水体;②库岸生态系统只是在生态学中的定义,在现实的空间范围中并没有一个准确的界限划分(Rapport, 1999);③由于库岸生态系统属于陆地与水生生态系统交叉形成的中间过渡带生态系统,因此在生态系统的功能上具有边缘效应(James et al., 2006);④库岸生态系统在形状划分中表现为线形状态。⑤库岸生态系统是水域生态系统和陆地生态系统相互作用的产物,与周围的生态系统相比,其动植物物种多样性和丰富度非常高(代力民等, 2002)。库岸区域植被的种类较为独特且丰富。⑥通过能量和物质的交换,库岸生态系统与相邻的水域和陆地生态系统产生极为强烈的相互作用。同时,库岸的再造运动也导致库岸区域的植被呈现斑块状分布(Hawkins et al., 1997)。

目前的研究表明,库岸生态系统具有调节水温,为河流水体提供养分能量,为野生动物提供栖息环境,保护相邻水域水体水质,保持景观连续性,防洪固堤,提供户外休闲娱乐的景观物质和作为农林牧渔业基地等功能(黄凯等, 2007)。除此之外,Knopf等(1988)发现,美国西部的库岸区域只占该区域总土地面积的1%,但拥有的鸟类种类数却比其他所有土地类型都要多。我国学者在国内的二道白河、北坡河(邓红兵等, 2003)、香溪河(江明喜等, 2002)等流域对库岸生态系统的植物群落、植物区系以及物种的丰富程度进行了相关研究,同样证实了库岸生态系统在生物多样性保护中的重要作用。

(二)三峡库区库岸生态系统

三峡库区泛指三峡水库执行175m蓄水方案后,因水位升高而淹没和由于工程建设需要进行移民搬迁安置的区县所在区域,包括东起夷陵,西至重庆沿长江两岸分水岭分布的范围(李光炯, 2006),属于行政上的划分。整个库区面积5.78万 km^2 (张磊等, 2007),而受淹没的陆地面积为632 km^2 ,仅占上述库区总面积的1%,因此实际受库区水位变化影响的区域面积也较小。三峡水库采用枯期蓄水、汛期泄洪这种“冬蓄夏排”的周期性蓄水模式,致使库区水位在145~175m间周期性规律波动,高低水位之间的河床及高水位之上直至河水影响完全消失为止的地带即为三峡库区库岸区域。

三峡库区库岸生态系统属于湿地生态系统,从属于三峡库区生态系统,在整个三峡库区及整个长江流域生态系统中具有重要的作用。但由于水库水位涨跌,导致库岸形成垂直落差达30m的消落带,使得库岸系统在整个三峡库区生态系统中占据着最重要的位置和作用。由于消落带是水位反复周期变化的干湿交替区,它不仅与库区水域系统进行着物质、能量交换,同时,还与库区两岸坡地系统进行着物质和能量的交换。因此,三

峡库区消落带是库区水域与周边陆地环境的过渡地带，同时具有水、陆两个环境的特点。但消落带区域原有植物由于冲刷和水淹逐渐死亡(图 1-2)，导致泥土和基岩裸露(图 1-3)，水土流失加剧，滑坡问题严重。而在人工调控下，水库的水位涨落速度、幅度和频率与天然河道明显不同，也增加了消落带的不稳定性。随着经济的迅猛发展，工业污染、农业污染、生活污水等对库区消落带的影响将逐渐加大。

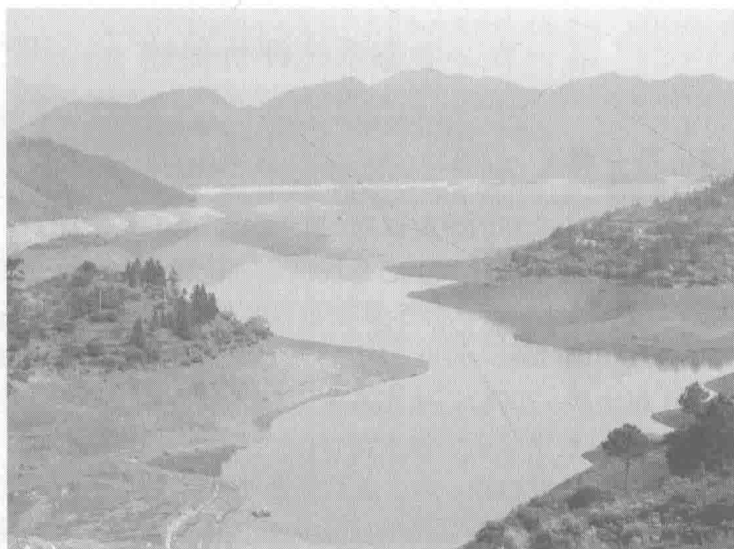


图 1-2 三峡库区消落带因水淹植被退化死亡



图 1-3 三峡库区消落带泥土和基岩裸露状况

因此，研究三峡库区生态系统及库岸生态系统的现状、面临的环境问题与挑战及其生态工程修复方法，已成为当前生态系统研究的前沿内容之一。与此同时，了解三峡库区生态系统的状况及发展变化趋势，对于今后的项目工程建设、物种多样性保护和生态平衡维持等方面具有重要意义。

第二章 三峡库区生态系统评价

第一节 生态系统评价概述

一、生态系统评价及分类

生态系统评价并不是一个全新的研究课题(田永中和岳天祥, 2003), 其发端于美国森林生态系统管理评价, 随后与加拿大生态系统区划理论相结合, 在北美得到了较快发展(卫伟和陈利顶, 2007)。2001年6月5日在世界环境日上启动的“千年生态系统评估”(The Millenium Ecosystem Assessment, MEA)则极大地推动了生态系统评价研究在全球范围的跨越式发展(赵士洞, 2001)。生态系统综合评价是系统分析生态系统的生产及服务能力, 对生态系统进行健康诊断, 做出综合的生态分析和经济分析, 评价其当前状态, 并预测生态系统今后的发展趋势, 为生态系统管理提供科学依据(傅伯杰等, 2001)。对生态系统进行评价不仅能揭示生态系统的质量状态, 还能揭示人类经济社会发展与生态环境的相互影响与相互作用, 促使人类在实践活动中探索资源高效、生态良好、经济持续、社会和谐生态文明之路。

从研究进程来看, 生态评价总体上可以分为两类(田永中和岳天祥, 2003; 卫伟和陈利顶, 2007): 一是对生态系统所处的状态进行评价; 二是对生态系统的服务功能进行评价。于海跃等(2013)又将生态系统所处状态划分为生态系统的质量和所受压力两个部分, 形成了生态系统质量、生态系统压力以及生态系统服务功能三个方面的生态系统评价分类。生态系统质量评价是总体反映区域生态系统质量现状和可持续发展能力, 包括生态系统健康评价、安全评价、脆弱性评价、风险评估、持续性评价、退化评价等多个方面; 生态系统压力评价是外界对生态系统干扰、损害和影响的综合测度, 定量表述和反映生态系统所受外力程度的大小; 生态系统服务功能评价是对生态系统提供产品与服务的定量测算。

二、生态系统评价方法

本书以研究较多的生态系统健康评价、生态脆弱性评价和生态系统服务价值评价为代表对三峡库区生态系统的评价理论和方法进行介绍。

(一) 生态系统健康评价

1. 生态系统健康的概念

生态系统健康概念的提出时间虽然较短, 但发展较为迅速, 目前在国内外还没有统一和固定的有关生态系统健康的定义。众多学者从不同的角度和研究目标对生态系统健康给出了定义, 其中具有代表性的概念如表 2-1(尹连庆等, 2007)。