



洞庭湖退田还湖区 生态修复研究

周金星 孙启祥 崔明 汤玉喜 等著

中国林业出版社

China Forestry Publishing House

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

洞庭湖退田还湖区生态修复研究

周金星 孙启祥 崔 明 汤玉喜 等著

中国林业出版社

China Forestry Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

洞庭湖退田还湖区生态修复研究 / 周金星等著 . —北京: 中国林业出版社, 2014. 2
ISBN 978-7-5038-7303-4

I. ①洞… II. ①周… III. ①洞庭湖 - 湖区 - 生态恢复 - 研究 IV. ① X321.264.013

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 300898 号



出版发行 中国林业出版社
地 址 北京西城区刘海胡同 7 号
邮 编 100009
E - mail 896049158@qq.com
电 话 (010) 83225108
经 销 全国新华书店
制 作 北京大汉方圆图文设计制作中心
印 刷 北京北林印刷厂
版 次 2014 年 2 月第 1 版
印 次 2014 年 2 月第 1 次
开 本 889mm × 1194mm 1/16
字 数 500 千字
印 张 16.5
彩 插 6 页
印 数 1~1000 册
定 价 99.00 元

《洞庭湖退田还湖区生态修复研究》

著者名单

周金星	孙启祥	汤玉喜	崔 明	郑景明
王月容	王昭艳	马 涛	漆良华	杨 祎
李永进	吴 敏	唐 洁	秦疏影	杨永峰
张健康	方健梅	朱晓荣	郭红艳	卢 楠
唐夫凯	李晓明	闫 帅	李桂静	周 薇

内 容 提 要

本书在对洞庭湖实施退田还湖工程前后自然资源概况及生态环境问题充分调研的基础上,阐明了洞庭湖区滩地的自然发育与植被演替过程,深入系统地分析了滩地生态系统的自然植被群落特征与土壤环境特征,以及洞庭湖滩地的典型土地利用方式:杨树人工林、芦苇地、苔草地、农田等不同时间尺度的土壤呼吸变化规律;并应用遥感、GIS等先进技术手段分析退田还湖生态修复工程对整个洞庭湖区土地利用变化的影响,提出了退田还湖工程对单退垸、双退垸土地利用结构影响及景观适宜性评价的指标体系及判别方法;同时,针对滩地多效人工林生态系统构建,总结完善了抗逆性树种、新品种选育、生态系统优化结构配置及可持续经营技术,并探讨洞庭湖湿地生态恢复模式及其综合效益评价,为洞庭湖退田还湖区生态修复、滩地林业血防生态工程建设提供了理论支持以及新的思路和方法。本书所用材料来源于著者所主持的“十一五”科技支撑课题“洞庭湖退田还湖区生态修复与综合治理技术试验示范”(2006BAD03A1503)和国家自然科学基金项目“滩地林业血防生态工程抑螺防病机理研究”(41071334)的部分内容。

前言

洞庭湖是我国第二大淡水湖泊,位于长江中游荆江段南岸,为“吞吐型”过水湖泊,接纳湘、资、沅、澧四水,具有巨大的调蓄功能,对于长江中下游地区的防汛调洪具有极其重要的作用。由于湖区山地坡面水土流失,导致湖泊泥沙淤积严重,水面减少,加上人为的围湖造田,其水面面积已由秦汉时期超过 6000km² 骤减到目前天然湖泊面积仅 2684km²。洞庭湖水体面积大幅减少,造成湖泊调蓄功能严重下降,洪涝灾害频繁,钉螺滋生,血吸虫蔓延,生物多样性丧失,生态功能逐渐退化。1998 年长江流域发生特大洪水后,政府适时提出了“封山植树、退耕还林、平垸行洪、退田还湖、以工代赈、移民建镇、加固干堤、疏浚河湖”的治理方针,洞庭湖区全面启动了“平垸行洪、退田还湖”生态修复工程。学术界对此高度重视,先后开展了多项研究。本书结合著者承担的科研项目,在大量第一手资料及科研数据的基础上,对洞庭湖退田还湖区各种生态修复措施进行了系统总结,旨在为洞庭湖生态修复及区域生态安全建设提供科学参考和有益借鉴。

全书包含 12 章,其内容及负责编写人员为:第一章,生态修复国内外研究进展由周金星、孙启祥、崔明、李晓明、卢楠、秦疏影、周薇、李桂静等编写;第二章,洞庭湖区概况由孙启祥、秦疏影、张健康、崔明等编写;第三章,洞庭湖滩地自然发育与植被演替由郑景明、王昭艳、孙启祥、郭红艳、唐夫凯等编写;第四章,退田还湖工程对滩地土壤质量影响由漆良华、周金星、王月容、杨永峰等编写;第五章,退田还湖工程对土壤呼吸规律的影响由周金星、马涛、张健康、王昭艳、崔明等编写;第六章,退田还湖工程对洞庭湖湿地景观格局的影响由崔明、朱晓荣、周金星、张健康等编写;第七章,退田还湖工程对洞庭湖区典型区域土地承载力及生态安全的影响由王月容、漆良华、崔明、郑景明、周金星等编写;第八章,洞庭湖区滩地造林立地类型划分与立地质量评价;第九章洞庭湖区滩地多效人工林生态系统构建树种选择、第十章洞庭湖区滩地多效人工林生态系统优化结构配置与可持续经营技术、第十一章洞庭湖区滩地多效人工林生态系统效益监测与评价研究等由汤玉喜、李永进、周金星、吴敏、孙启祥、唐洁、卢楠、杨永峰等编写;第十二章,洞庭湖湿地生态恢复模式与综合效益评价研究由崔明、杨祎、周金星、闫帅、张健康等编写。

本书是国家“十一五”科技支撑项目重大专题“洞庭湖退田还湖区生态修复试验与示范”(2006BAD03A1503)及国家自然科学基金项目(41071334)研究成果的部分总结,对科技部、国家自然科学基金委员会、国家科学技术学术著作出版基金委员会及国家林业局科技司给予的项目资助表示感谢。

由于著者水平有限,错误之处在所难免,谨祈读者和专家批评指正。

著者

2013 年 8 月

目 录

前 言

第一章 生态修复国内外研究进展	(1)
1.1 生态修复与生态恢复	(1)
1.1.1 生态修复与生态恢复的联系	(1)
1.1.2 生态修复与生态恢复的区别	(1)
1.2 生态修复的原则	(2)
1.2.1 适宜性原则	(2)
1.2.2 以自然恢复为主, 人工措施为辅的原则	(2)
1.2.3 与发展经济改善民生紧密联系的原则	(2)
1.3 生态修复的方法	(3)
1.3.1 物理修复	(3)
1.3.2 化学修复	(3)
1.3.3 生物修复	(4)
1.4 河流生态修复	(4)
1.5 湖泊生态修复	(5)
1.6 生态修复的意义	(5)
第二章 洞庭湖区概况	(7)
2.1 自然条件	(7)
2.1.1 水 文	(7)
2.1.2 地貌特征	(8)
2.1.3 气 候	(8)
2.1.4 土 壤	(9)
2.1.5 动植物资源	(9)
2.2 社会经济状况	(9)
2.3 洞庭湖的演变历史	(10)
2.3.1 自然演变阶段	(10)
2.3.2 人类活动与自然复合作用演变阶段	(10)
2.3.3 人类活动对洞庭湖生态环境的影响	(11)
2.4 洞庭湖湿地主要生态环境问题	(13)
2.4.1 泥沙淤积、人工围垦导致洪水水位升高、天然湿地退化和调蓄功能下降	(13)
2.4.2 抗洪能力薄弱, 洪涝灾害频繁	(13)
2.4.3 湿地天然植物群落向人工植物群落转化	(14)
2.4.4 湿地调节小气候效应降低	(14)

2.4.5 生物多样性下降, 珍稀物种濒危	(14)
2.4.6 生物灾害加重和外来物种入侵	(14)
2.4.7 工业生产水平低, 水体富营养化, 环境污染问题日渐突出	(14)
2.4.8 湿地景观破碎化破坏了生物多样性生存环境	(15)
第三章 洞庭湖湿地自然发育与植被演替	(16)
3.1 洞庭湖洲滩地的形成过程	(16)
3.2 洞庭湖洲滩湿地的类型及人类的影响	(17)
3.3 洞庭湖湿地植被的主要群落类型	(19)
3.3.1 南荻草甸	(19)
3.3.2 短尖苔草草甸	(19)
3.3.3 紫芒草甸	(20)
3.3.4 狗牙根草甸	(20)
3.3.5 牛鞭草草甸	(20)
3.3.6 藨草草甸	(20)
3.3.7 单性苔草草甸	(21)
3.3.8 红穗苔草草甸	(21)
3.3.9 双穗雀稗草甸	(21)
3.3.10 辣蓼草甸	(21)
3.3.11 藜蒿草甸	(21)
3.3.12 灯心草草甸	(21)
3.3.13 鸡婆柳群落	(22)
3.3.14 杨树群落	(22)
3.4 洞庭湖滩地植被的功能	(22)
3.4.1 生态功能	(22)
3.4.2 经济功能	(22)
3.4.3 社会功能	(22)
3.5 洞庭湖湿地植被演替规律	(23)
3.5.1 洞庭湖湿地的演替规律及驱动力	(23)
3.5.2 洞庭湖湿地植物群落的自然演替模式	(24)
3.5.3 洞庭湖湿地植物群落的演替轨迹	(24)
第四章 退田还湖工程对滩地土壤质量影响	(27)
4.1 洞庭湖区退田还湖工程概况	(27)
4.2 洞庭湖湿地土壤的理化性质	(28)
4.2.1 洞庭湖湿地土壤物理性质	(28)
4.2.2 洞庭湖湿地土壤化学性质	(32)
4.3 土壤质量研究进展	(41)
4.3.1 土壤质量的概念与内涵	(41)
4.3.2 土壤质量表征指标	(42)
4.3.3 土壤质量评价	(43)
4.4 土壤质量变化研究方法	(46)
4.4.1 土壤样品采集	(46)

4.4.2 土壤样品分析	(47)
4.4.3 评价指标体系	(47)
4.4.4 基于AHP的土壤质量综合评价	(48)
4.5 退田还湖对不同土地利用方式土壤水分物理性质的影响	(51)
4.5.1 土壤容重	(51)
4.5.2 土壤孔隙状况	(51)
4.5.3 土壤水分状况	(52)
4.5.4 土壤团聚体	(53)
4.5.5 土壤物理性质灰色关联分析	(55)
4.6 退田还湖对不同土地利用方式土壤养分库的影响	(57)
4.6.1 土壤有机质	(57)
4.6.2 土壤氮磷钾含量	(58)
4.6.3 土壤养分库综合指数	(59)
4.6.4 土壤养分相关性分析	(61)
4.7 退田还湖对不同土地利用方式土壤微量元素有效性的影响	(62)
4.7.1 土壤微量元素有效态含量	(63)
4.7.2 土壤微量元素有效性评价	(64)
4.7.3 土壤有效微量元素与土壤理化性质的相关性	(65)
4.7.4 土壤微量元素有效性的主导因子方程	(65)
4.8 退田还湖对不同土地利用方式土壤生物学性质的影响	(66)
4.8.1 土壤微生物数量	(66)
4.8.2 土壤酶活性	(68)
4.8.3 土壤微生物数量及酶活性的典范相关分析	(69)
4.9 退田还湖对不同土地利用方式土壤重金属空间分布与污染累积的影响	(72)
4.9.1 土壤重金属含量及相关性	(72)
4.9.2 土壤重金属污染累积评价	(73)
4.9.3 土壤重金属影响因子主成分分析	(76)
4.9.4 土壤重金属主导因子方程	(76)
4.10 钱粮湖垸不同土地利用方式土壤质量综合评价结果	(78)
4.10.1 不同土地利用方式土壤质量综合评价结果	(78)
4.10.2 土壤质量评价指标排序聚类	(78)
第五章 退田还湖工程对滩地土壤呼吸规律的影响	(81)
5.1 土壤呼吸试验点概况	(81)
5.2 实验数据的测定与分析	(82)
5.2.1 土壤呼吸测定方法	(82)
5.2.2 土壤样品的采集及测定	(83)
5.2.3 土壤微生物的取样及测定	(83)
5.2.4 环境因子的测定	(83)
5.2.5 植被生物量的取样及测定	(83)
5.2.6 试验数据分析	(83)
5.3 不同土地利用方式土壤呼吸变化	(83)

5.3.1 土壤呼吸速率日变化	(83)
5.3.2 土壤呼吸速率季节变化	(85)
5.3.3 土壤呼吸速率年变化	(86)
5.3.4 温度对土壤呼吸速率的影响	(88)
5.3.5 土壤含水量对土壤呼吸速率的影响	(90)
5.3.6 温度和土壤含水量对土壤呼吸速率的综合影响	(90)
5.3.7 土壤养分对土壤呼吸速率的影响	(92)
5.3.8 土壤微生物数量对土壤呼吸速率的影响	(93)
5.3.9 植被生物量对土壤呼吸速率的影响	(94)
5.3.10 土壤剖面不同层次土壤呼吸速率特征	(96)
5.4 土壤呼吸变化规律	(99)
第六章 退田还湖工程对洞庭湖湿地景观格局的影响	(101)
6.1 景观格局研究进展	(101)
6.1.1 景观与景观生态学	(101)
6.1.2 景观生态学的主要研究方法	(102)
6.1.3 景观格局分析方法	(103)
6.1.4 景观格局动态变化	(105)
6.2 洞庭湖区湿地遥感分类	(107)
6.2.1 分类系统的建立	(107)
6.2.2 解译标志的建立	(108)
6.2.3 几何校正	(109)
6.2.4 遥感影像的拼接与裁剪	(109)
6.2.5 波谱组合的选取	(109)
6.2.6 监督分类	(109)
6.2.7 人工解译	(110)
6.2.8 分类后处理	(110)
6.2.9 精度评价	(110)
6.3 洞庭湖区湿地景观变化与分析	(111)
6.3.1 湿地景观动态变化研究体系	(111)
6.3.2 洞庭湖区景观格局变化分析	(114)
6.4 湖区湿地景观变化原因分析	(118)
6.4.1 湿地演替	(118)
6.4.2 泥沙淤积	(120)
6.4.3 退田还湖	(120)
第七章 退田还湖工程对洞庭湖区典型区域土地承载力及生态安全的影响	(122)
7.1 典型双退垸的景观格局变化和自然植被恢复过程	(122)
7.1.1 集成垸退田还湖前后景观格局比较	(123)
7.1.2 青山垸退田还湖后湿地生态恢复过程	(124)
7.2 双退垸的生态安全规划思考	(127)
7.2.1 双退垸的湿地恢复与血吸虫防控问题	(127)
7.2.2 洞庭湖区兴林抑螺工程背景	(128)

7.2.3 集成垸的生态安全设计	(129)
7.3 典型单退垸—钱粮湖垸退田还湖前后景观格局变化分析	(130)
7.3.1 遥感影像解译分类与精度评价	(130)
7.3.2 景观指标选取与计算	(131)
7.3.3 钱粮湖垸斑块水平的景观格局变化	(133)
7.3.4 景观水平的景观格局变化	(135)
7.3.5 景观要素类型转移矩阵与贡献率	(135)
7.3.6 景观格局变化的驱动机制	(137)
7.4 典型单退垸土地利用格局优化与可持续性研究	(137)
7.4.1 土地承载力研究进展	(138)
7.4.2 钱粮湖垸土地利用格局优化与土地承载力可持续性研究	(142)
第八章 洞庭湖区滩地造林立地类型划分与立地质量评价	(148)
8.1 洞庭湖区滩地资源现状与特点	(148)
8.1.1 洞庭湖区滩地资源现状	(148)
8.1.2 滩地植被自然分布特征	(148)
8.1.3 滩地水文特点	(148)
8.1.4 滩地人工林的发展	(149)
8.2 洞庭湖区滩地造林立地选择的原则与方法	(150)
8.2.1 滩地造林立地选择原则	(150)
8.2.2 滩地造林立地选择方法	(151)
8.3 滩地杨树造林立地质量评价体系研究与应用	(152)
8.3.1 滩地杨树立地指数表的编制	(152)
8.3.2 滩地杨树数量化地位指数得分表的编制	(156)
8.3.3 滩地杨树立地类型划分及立地质量评价	(160)
第九章 洞庭湖区滩地多效人工林生态系统构建树种选择	(162)
9.1 树种选择的原则	(162)
9.2 滩地多效人工林生态系统构建树种选择	(162)
9.2.1 杨 树	(163)
9.2.2 苏 柳	(165)
9.2.3 旱 柳	(165)
9.2.4 枫 杨	(165)
9.2.5 乌 柏	(166)
9.2.6 重阳木	(166)
9.2.7 池 杉	(166)
9.3 滩地造林美洲黑杨抗逆性新品种选育	(166)
9.3.1 美洲黑杨无性系生态适应性、基因型稳定性研究	(166)
9.3.2 美洲黑杨无性系生长、材性及抗病性状综合选择	(168)
9.3.3 美洲黑杨新无性系生根性状的遗传分析	(170)
9.3.4 淹水胁迫对美洲黑杨无性系保护酶系统的影响	(171)
9.3.5 淹水胁迫下美洲黑杨新无性系苗期光合特性	(173)
9.3.6 美洲黑杨杂交新无性系ISSR分子标记	(174)

第十章 洞庭湖区滩地多效人工林生态系统优化结构配置与可持续经营技术	(176)
10.1 滩地多效人工林生态系统优化结构配置	(176)
10.1.1 造林地选择	(176)
10.1.2 苗木培育	(177)
10.1.3 造林技术	(178)
10.1.4 采伐更新	(182)
10.2 可持续经营造林模式	(182)
10.2.1 林—农经营模式	(183)
10.2.2 林—农—渔模式	(183)
10.2.3 林—农—渔—禽模式	(184)
10.2.4 混交林模式	(184)
10.2.5 异龄林模式	(184)
10.3 病虫害防治	(184)
10.3.1 杨树病虫害的防治	(184)
10.3.2 苏柳病虫害的防治	(185)
第十一章 洞庭湖区滩地多效人工林生态效益监测与评价研究	(187)
11.1 滩地人工林生态系统生物多样性	(187)
11.1.1 林龄对林下草本植物层数量特征的影响	(187)
11.1.2 林龄对草本植物层物种多样性的影响	(188)
11.2 防浪护堤林效益监测	(189)
11.3 多效人工林生态系统土壤呼吸效益监测	(190)
11.3.1 杨树人工林土壤呼吸动态	(190)
11.3.2 不同土地利用方式的土壤呼吸动态	(190)
11.4 滩地杨树人工林土壤健康状况监测	(190)
11.4.1 连栽对杨树人工林土壤理化性质的影响	(190)
11.4.2 杨树人工林对滩地重金属污染的修复	(191)
11.4.3 多效人工林对洞庭湖退田还湖滩地土壤中DDT的影响	(192)
11.4.4 洞庭湖区滩地不同土地利用方式对土壤微生物数量的影响	(193)
11.5 抑螺防病林效益监测	(193)
11.5.1 钉螺种群消长与抑螺防病林工程治理模式的关系	(194)
11.5.2 滩地钉螺密度分布与挖沟抬垄整地造林措施	(194)
11.5.3 钉螺种群消长与抑螺防病林造林密度的关系	(195)
11.5.4 钉螺种群消长与林分抚育管理措施的关系	(195)
11.5.5 钉螺种群消长与抑螺防病林林龄的关系	(196)
11.5.6 滩地钉螺密度分布与高程—水因子关系	(196)
11.6 滩地多效人工林综合效益	(196)
11.6.1 防护林网	(196)
11.6.2 滩地杨树抑螺林对地下水位的影响	(196)
11.6.3 直接经济效益	(197)
第十二章 洞庭湖湿地生态恢复模式与综合效益评价研究	(198)
12.1 湖泊湿地	(198)

12.1.1 东洞庭湖国家级自然保护区	(199)
12.1.2 南洞庭湖省级自然保护区	(199)
12.1.3 横岭湖国家级自然保护区	(199)
12.1.4 西洞庭湖省级自然保护区	(200)
12.1.5 青山垅有机渔业	(200)
12.2 河流湿地	(201)
12.2.1 珍珠蚌养殖	(201)
12.2.2 网箱养殖	(201)
12.3 洲滩及沼泽湿地	(202)
12.3.1 杨树栽培	(202)
12.3.2 芦 苇	(204)
12.4 人工湿地及堤垸农业	(205)
12.4.1 水 稻	(205)
12.4.2 莲	(206)
12.4.3 棉 花	(206)
12.4.4 苧 麻	(207)
12.5 洞庭湖湿地生态恢复模式评价指标体系的建立	(208)
12.5.1 指标选取原则	(208)
12.5.2 洞庭湖湿地生态恢复模式综合效益评价指标体系	(209)
12.6 评价模型的确定	(210)
12.7 指标权重计算	(210)
12.7.1 权重计算方法介绍	(210)
12.7.2 运用层次分析法确定指标权重	(211)
12.7.3 指标权重的计算	(213)
12.8 评价指标评分标准与赋值	(217)
12.9 洞庭湖湿地生态恢复模式综合效益评价结果	(224)
12.10 洞庭湖湿地生态恢复模式探讨	(237)
参考文献	(243)
彩 插	

第一章 生态修复国内外研究进展

1.1 生态修复与生态恢复

1.1.1 生态修复与生态恢复的联系

生态修复研究的历史可追溯到 19 世纪 30 年代，但将生态修复作为生态学的一个分支进行系统研究是从 19 世纪 80 年代才开始的。虽然经过了几十年的发展研究，但是目前对生态修复的概念尚未形成统一的定义。周启星等人认为，生态修复是在生态学原理指导下，以生物修复为基础，结合各种物理修复、化学修复以及工程技术措施，通过优化组合，使之达到最佳效果和最低耗费的一种综合的污染环境修复方法。焦居仁认为，为了加速被破坏生态系统的恢复，还可以辅助人工措施为生态系统健康运转服务，而加快恢复则被称为生态修复。杨爱民把生态修复定义为：在特定的区域、流域内，依靠生态系统本身的自组织和自调控能力的单独作用，或依靠生态系统本身的自组织和自调控能力与人工调控能力的复合作用，使部分或完全受损的生态系统恢复到相对健康的状态。

大多数学者认为生态修复是从生态恢复的概念中演化细分出来的。1935 年，美国的 Leppold 在一块废弃的土地上进行试验，得出了人类过度放牧等致损因素造成的废弃地在一定条件下可以恢复到原来的生境状况的结论。此后，生态恢复又在采矿、地下水开采等造成的生态破坏和环境污染等方面的修复上取得了良好的效果。此后在不断的研究、认识过程中，又陆续引出了“生态修复”“生态重建”等概念。生态恢复和生态修复都是在退化生态学的基础上提出来的。但是在我国随着土地复垦、恢复生态学等学科的发展，生态修复中环保领域的污染环境修复和农林等方面的生态工程技术出现了交叉渗透，形成了中国特色生态工程技术。同时“生态修复”和“生态恢复”的概念产生了混淆。王治国指出，欧美国家的“生态恢复”与日本的“生态修复”概念类似，并认为生态修复的概念应包括生态恢复、改建和重建，其内涵大体上可以理解为：通过外界力量使受损（开挖、占压、污染、全球气候变化、自然灾害等）的生态系统得到恢复、改建或重建（不一定完全与原来的相同）。这与欧美国家的“生态恢复”和日本的“生态修复”概念类似，但不同于环境生态修复的概念。按照这一概念，生态修复涵盖了环境生态修复，即非污染的退化生态系统。生态修复可以理解为“生态的修复”，即应用生态系统自组织和自调节能力对环境或生态本身进行修复。

笔者认为，生态修复就是在遵守自然规律的前提下，最大限度地减少人为干扰，利用生态系统的自我修复能力，辅以人工措施，使遭到破坏的生态系统向良性循环方向发展的一门学科。其核心原理就是生态控制论，即采用近自然、生态友好型的技术措施，扭转生态系统恶化的趋势，使其生态系统的服务功能得到有效提高和持续发展。

1.1.2 生态修复与生态恢复的区别

美国自然资源委员会（The US Natural Resource Council, 1995）把生态恢复定义为：使一个生态系统恢复到较接近于受干扰前状态的过程。国际恢复生态学（Society for Ecological Restoration, 1995）先后提出 3 个定义：生态恢复是修复被人类损害的原生生态系统的多样性及动态的过程（1994）；生态恢复是维持生态系统健康及更新的过程（1995）；生态恢复是帮助研究生态整合性的恢复和管理过程的科学，生态系统整

合性包括生物多样性、生态过程和结构、区域及历史情况、可持续的社会时间等广泛的范围(1995)。

生态恢复较有代表性的定义是美国生态学会给予的定义:生态恢复就是人们有目的地把一个地方改建成明确的、固有的、历史上的生态系统的过程。这一过程的目的是竭力仿效那种特定生态系统的结构、功能、生物多样性及其变迁的过程。

恢复是一个自然的过程,是指恢复到原来的状态。在这个过程中,更强调的是自然的作用,在整个过程中不加人为的干扰仅靠自然的力量使被干扰、破坏的生态环境修复使其尽可能恢复到原来的状态。它是一个纯自然的过程。实际上,任何一个原始的生态系统遭到干扰或者破坏之后即使经过人工的措施和长时间的恢复使得生态系统的功能超过原有水平,也不可能使得系统的形式与结构与原来的系统完全相同。

修复是利用大自然的自我修复能力,辅助以必要的人工措施,恢复生态系统原有的功能。它不需要使生态系统恢复到原始的状态,而是指通过修复使生态系统的功能不断地得到完善。生态修复是以整个生态系统为出发点和立足点的,是生态系统结构与功能整体上的恢复与改善,是一种宏观的理念与思路,要求人与自然的和谐共处。

焦居仁认为,生态修复指停止人为干扰,解除生态系统所承受的超负荷压力,依靠生态系统自身规律演替,通过其休养生息的漫长过程,使生态系统向自然状态演化。在其界定的定义中,生态恢复仅依靠生态系统本身的自组织和自调控能力,完全可以依靠大自然本身的推进过程,恢复原有生态的功能和演变规律。

当生态系统遭受的损害没有超过负荷并且是可逆的情况下,移去干扰之后恢复可在自然状态下进行;但是当生态系统遭受的损害超过了负荷并且是不可逆的情况下就必须辅助以人工的措施,从而使得受损的状况得到控制和修复(崔爽,周启星,2008)。生态恢复是一个以纯自然过程为主的行为;生态修复中则采用了各种工程措施强调了人的主观能动性。

1.2 生态修复的原则

1.2.1 适宜性原则

据全国第二次遥感普查数据显示,我国有水土流失面积 356 万 km^2 , 占国土面积的 37%;目前风蚀沙化面积仍以 2460 万 km^2/a 的速度在扩大;此外,每年因生产建设还将造成 1 万 km^2 新的水土流失面积。因此,我国水土保持工作任务繁重。由于我国幅员辽阔,自然条件、气候状况丰富多样,不可能找出一条放之四海而皆准的原则。但是有以下几个标准可供参考:①生态修复必须满足植被生长的条件,即有适宜的水、土资源条件和气候条件;②一般认为适宜生态修复的对象主要是人类活动干扰程度较低、人口密度相对较低的地区。

1.2.2 以自然恢复为主,人工措施为辅的原则

生态系统遭受的损害可以分为两种情况,一种情况是生态系统遭受的损害没有超过它本身所能够承受的负荷,除去干扰之后生态系统可以靠自然的演替过程实现自我恢复。另一种情况是生态系统受到严重的破坏,停止人为干扰后仍然不能够实现自我恢复。在这种情况下就必须辅助以人工措施,加快生态系统向良性演替的进程。

1.2.3 与发展经济改善民生紧密联系的原则

生态修复区域不可能都是无人居住的地区,而生态修复往往会采取禁牧、禁伐等措施,这必然会对当

地群众的生活造成影响。封禁之后如何解决群众的吃饭、花钱等经济发展的问题,就必须制定相应的政策保证群众的生活,促进经济的发展。例如建立牧民定居点,以电代柴,生态移民的配套措施。同时需要与退耕还林、退田还湖等国家政策相结合,发挥整体作用,提高综合效益。

1.3 生态修复的方法

退化的生态系统往往是遭受了人类的干扰和破坏,可以分为两类:一类是没有受到污染的生态系统,在这类生态系统的修复中强调通过工程措施恢复被破坏生态系统的功能,最终达到人与自然的和谐共处。这种情况下往往采用封禁等水土保持生态修复部分的原理与技术。第二类是环境遭受了污染,有污染物存在于土壤、水体之中,此种情况下使用污染生态修复的原理进行修复,主要的修复方法如下文所列。但是事实上,受损的生态系统往往都会遭受污染物的侵害。

物理化学方法都是传统的修复方法,在许多方面已经有了成熟的技术并且被广泛地应用。这两者都是利用温、水、光、土等环境要素,根据污染物的理化性质,通过机械分离、蒸发、电解、加热、氧化—还原、吸附—解吸等物理化学反应,使环境中的污染物被清除或者转化为无害物质。这两者与生物修复的结合是生态修复必不可少的要素,往往作为生物修复的前处理阶段。能否合理利用物理与化学修复直接关系到生态修复的效果与成败。

1.3.1 物理修复

物理修复主要包括以下几种方法:①物理分析修复技术。即借助物理手段将含有污染物的颗粒从环境介质中分离开来的方法,适用于生态修复的前处理技术。常见的有粒径分离法、水动力学分离法、密度分离法、磁分离法等。②蒸汽浸提修复技术。即在污染介质中引入清洁空气产生驱动力将污染物转化为气态形式排出,适用于高挥发性化学污染的修复。主要有原位蒸汽浸提技术、异位蒸汽浸提技术、多项浸提技术等。③固定/稳定化修复技术。即防治或降低污染介质释放有害物质的修复技术,常用于重金属和放射性物质污染的无害化处理。一般来说包括原位固定/稳定化修复技术、异位固定/稳定化修复技术。④玻璃化修复技术。即利用热能或高温条件,使污染的介质成为玻璃产品或者玻璃状物质,而使其中的污染物固化不再释放的过程。这一技术最早用于核废料和其他放射性物质的处理。有原位玻璃化技术和异位玻璃化技术两种。⑤热力学修复技术。即利用热传导或辐射实现对污染土壤、沉积物以及其他介质的修复,包括高温原位加热修复、低温原位加热修复和原位电磁波加热修复等。这里的高温加热修复与玻璃化相比仍然是相对较低的温度。⑥热解吸修复技术。指通过直接或间接的热交换,将污染介质及其所含有的有机污染物加热到足够的温度,使有机污染物从污染介质上得以挥发或分离的过程。热解吸技术分成两大类即加热温度为150~315℃的低温热解吸技术和315~540℃的高温热解吸技术。⑦冰冻修复技术。即将温度降低到足够低,使得环境介质中的有害污染物失去活性或得到固定的过程。这是新型的污染环境修复技术。⑧隔离包埋技术。即将污染介质中的污染物与其周围环境隔开,减少其对周围环境的污染。

1.3.2 化学修复

化学修复包括以下几个方面:①化学淋洗修复。借助能促进环境介质中污染物溶解或者迁徙作用的溶剂,通过水力压头推动淋洗液,将其注入被污染介质中,然后将包含有污染物的液体从介质中抽提出来,进行分离和污水处理。这种方法主要用于处理地下水位线以上、饱和区的吸附态污染物,既可以进行原位修复又可以进行异位修复。②溶剂浸提修复技术。利用溶剂将有害物质从污染介质中提取出来或去除的修复技术,又称之为化学浸提技术,包括原位和异位两种方式。③化学氧化修复技术。采用氧化还原剂对受污环境实施修复的过程。④化学还原技术。源于还原脱氯修复技术,利用化学还原剂将污染物还原为难溶态,

从而使污染物在环境介质中的迁移性和可利用性降低;或者把其中有害的含氯分子中的氯原子去除,使之成为低毒性或者没有毒性的化合物。⑤电化学修复技术。利用低能级直流电流穿过污染的土壤,通过电化学和电动力学的复合作用去除环境介质中的污染物的过程。

1.3.3 生物修复

生物修复是对污染环境实施修复、治理的最重要的技术之一,是生态修复的基础,是20世纪80年代以来出现和发展的清除和治理环境污染的生物工程技术。其主要利用生物特有的分解有毒有害物质的能力,去除污染环境如土壤中的污染物,达到清除环境污染物的目的。

狭义的生物修复主要是指微生物催化降解有机污染物,从而修复被污染环境或消除环境中的污染物的一个受控或自发进行的过程。

广义的生物修复一般包括微生物修复、植物修复、动物修复,是利用一切以生物为主体的环境污染治理技术。

(1) 微生物修复。微生物是生态系统中的分解者。利用微生物的代谢活动,可将受污染环境中的有机物降解转化,去除毒性或者使其固定下来。微生物修复包括两种形式:①原位修复。即在不人为移除污染物的情况下在污染现场直接处理污染物,主要的处理方式包括生物通风、生物搅拌、生物冲淋等。②异位修复。是指将污染物移出被污染区域至固定的场所之后再进行的生物修复,以工程生物修复为主。主要的方法有土地填埋法、生物堆腐法、生物泥浆反应器法等。

(2) 植物修复。植物修复就是利用植物对污染物的吸收、恢复或降解等修复作用来治理污染了的环境。凡是利用植物对受污染的大气、土壤、水体进行修复的方式都属于植物修复。它包括植物净化修复、植物提取修复、植物挥发修复、植物稳定修复、植物降解修复、根际圈生物降解修复等形式。

生物修复主要应用于受污染土壤、水体、大气的生态修复中,在重金属污染的修复中也广泛使用。生物修复技术相对简单,费用较低,美化环境,不造成二次污染,对环境扰动少,提取或降解作用可以永久地消除污染,被修复的土壤、水体可以再次利用,符合可持续发展的观点。但也有生物受温度等环境因素的影响,特定的生物只针对特定的污染物有效等缺点。

1.4 河流生态修复

广义的河流生态系统包括了陆域河岸生态系统、水生生态系统、湿地及沼泽生态系统等一系列子系统组合而成的复合系统。河流是人类赖以生存的水环境,也是人类的社会起源。人们对河流的开发利用工程中,往往以防洪为目的,尤其是近100年来利用工程措施修建了大量的人工设施,改变了河流的特征,其结果是对河流生态系统造成了不同程度的破坏。

目前我国河流存在的问题主要有以下几个方面:

(1) 形状直线化、平面化严重。人们往往出于防洪角度考虑,将弯曲的河道裁弯取直,并且对河道实施了硬化措施,改变了河流的天然形状,阻断河流生态系统与陆域河岸生态系统之间的交流,妨碍了地下水与河流水的交流互补。

(2) 污染河流水质。由于工农业的发展以及城市的扩张,盲目追求经济效益导致未处理达标的生产废水和生活废水大量排入河流之中,使得河流遭受了污染,破坏了其自净能力。

(3) 生态系统受损严重。由于河岸的硬化阻断了河流生态系统中各个部分的交流和交换,使得河流生态系统的部分功能丧失甚至瘫痪,各种动植物的数量也大幅度减少。

(4) 缺乏河流景观。由于对河流的改造主要是以防洪为目的,没有考虑景观的需求,使得河流沿岸的景观单调,更由于水质的污染等原因使得河道景观严重不足。