

热带亚热带退化生态系统 植被恢复生态学研究

● 余作岳 彭少麟 主编

Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation
of Tropical and Subtropical
Degraded Ecosystems

● Edited by
Yu Zuo Yue Peng Shao Lin
● Guangdong Science & Technology Press



广东科技出版社

热带亚热带退化生态系统 植被恢复生态学研究

余作岳 彭少麟 主编

余作岳
彭少麟

傅声雷 廖崇惠

广东科技出版社

后...日期本...

Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation of Tropical and Subtropical Degraded Ecosystems

Edited by

Yu Zuo Yue Peng Shao Lin

Contributors

Ding Ming Mao Ren Hai Li Zhi An

Yu Zuo Yue Zhang Wen Qi Zhou Guo Yi

Zhao Ping Yi Wei Min Peng Shao Lin

Fu Sheng Lei Liao Chong Hui

Guangdong Science & Technology Press

序

由于科学技术的飞跃进步,人类的物质文明臻于新的高峰。但随着人口增加和工业的扩展,人类对可更新资源开发利用过度,对植被的大面积的破坏,许多生态系统出现严重的退化。相应地引起自然生态环境的恶化、严重的水土流失、地力的衰退、水源的枯竭,从而严重地制约着农业生产的发展和影响人类生存空间的质量。近年来全球平均每年有500万 hm^2 土地,由于过度利用、侵蚀、盐渍化、污染等原因,已不能再生粮食;全世界每年以5~7万 km^2 的惊人速度使土地荒漠化;全世界的热带森林,每年达2%的破坏率,到2020年就不复存在了;20世纪以来,全世界3800多种哺乳动物中,已有110种和亚种消失了,9000多种鸟类中已有139种和39亚种消失了,还有600种动物和2.5万多种植物正面临绝灭的危险。人类对植被自然资源的盲目与掠夺式的开发和利用,其恶果是极其严重的。

中国自然生态系统的退化也十分严重。由于人类过度活动的影响,工业化和城市的加速发展,加之缺乏合理的开发利用,忽视生态保护和环境整治,使原有的自然生态系统遭到很大的破坏。据统计,我国退化土地约150万 km^2 。北方的黄土、南方的花岗岩风化壳红土,是中国境内侵蚀最严重的地质—地貌单元。例如华南地区,每年有500~600万 hm^2 的土地失去再生产能力。如何进行综合整治,使退化生态系统得以恢复,这是改善生态环境、提高区域生产力、使资源得以持续利用、经济得以持续发展的关键。实践上的迫切要求,已使恢复生态学研究成为当前国内外生态研究的热点和国际科学前沿之一。

恢复生态学是一门综合性很强的学科,也是一项十分复杂的系统工程,许多生态学理论均可以在这个过程得以检验和完善。不仅在生态学内与其它分支——从传统的遗传生态学、生理生态学、种群生态学和群落生态学,到现代的生态系统生态学、景观生态学、保护生态学等有密切联系,而且与生态学外的许多相关学科,如地理学、土壤学、生物气象学、环境化学、工程学、甚至经济学等保持着广泛的学科交叉。因此,有关退化生态系统恢复与重建的研究,需要组织多部门多专业进行综合研究。中国科学院小良水土保持试验推广站自1959年开始就组织多学科多专业的科研人员,在广东热带沿海侵蚀地上开展恢复生态学研究,是我国最早开展这方面研究的定位站之一。1984年,这项研究工作从热带扩展到南亚热带的中国科学院鹤山丘陵综

合试验站, 研究地点跨越了近两个纬度, 研究对象、研究内容和研究深度也得到扩展。

30多年来, 小良站和鹤山站的科研人员先后承担了国家、中国科学院、广东省的重大科研课题12项, 系统地研究了退化生态系统恢复过程中水、土、气、生等因子的变化和机理, 总结出了国内外先进的集水区法, 植被恢复分三步法和时空替代法等行之有效的方法; 论证了热带极度退化的生态系统, 经过人工的启动, 恢复热带雨林的可行性; 筛选了以豆科植物为主的一批先锋树种和适合于林分改造的优良品种; 探讨了生物多样性与生态系统稳定性的关系, 论证了植物多样性是森林生态系统稳定性的基础。这些研究成果在学术上丰富和发展了人工恢复与重建森林生态系统的理论, 在实际应用中产生了巨大的生态、经济和社会效益。研究成果在热带亚热带区域得以大面积推广, 对区域的经济的发展起了重要的作用。曾先后荣获中国科学院科技进步一等奖、国家科技进步二等奖和广东省自然科学二等奖。研究结果引起了美、英、法、德、澳等30余国的广泛关注。本书各章节以上述研究为基础, 把理论与实践紧密结合起来, 对我国热带亚热带退化生态系统的形成、恢复与重建过程的机理进行了比较全面、系统的探讨, 是恢复生态学领域中一本内容丰富、资料翔实的专著。

我国的热带亚热带地区是人口最为集中的区域之一, 也是自然生态系统破坏与退化非常严重的区域。目前, 我国热带亚热带地区由于森林遭反复破坏而形成的退化荒坡面积约46.7百万 hm^2 , 占这个地区土地总面积的四分之一。随着改革开放的深入, 我国的经济水平将越来越高, 对环境的压力也将越来越大。因而研究本区域中退化生态系统的恢复与重建, 是最具有理论和实践意义的课题之一。这本专著反映了以余作岳、彭少麟研究员为代表的两代科研人员为我国恢复生态学的发展作出的贡献。但对于学科研究来说, 这仅仅是开始, 退化生态系统的恢复与重建是一项长期的工作, 希望有更多的年青学者加入到这一研究领域, 迎接21世纪的挑战!

陈宜瑜

1996年6月18日

陈宜瑜: 中国科学院院士、中国科学院副院长、IGBP中国全国委员会主席

目 录

1 绪论	1
1.1 退化生态系统恢复与重建的概念及意义	1
1.1.1 主要概念	1
1.1.2 退化生态系统的类型	2
1.1.3 退化生态系统恢复与重建的意义	2
1.2 主要定位研究站点简介	4
1.2.1 退化生态系统人工恢复与重建主要研究站点	4
1.2.2 退化生态系统自然恢复与演替主要研究站点	5
1.2.3 用以比较研究的其它站点	8
1.3 热带亚热带退化生态系统恢复与重建定位研究简述	8
2 热带亚热带退化生态系统恢复和重建的生态学理论	10
2.1 与物质相关的生态原理的应用	10
2.1.1 主导生态因子原理	10
2.1.2 元素的生理生态原理	11
2.2 与能量有关的生态原理的应用	12
2.3 与空间有关的生态原理的应用	12
2.3.1 种群密度制约的原理	12
2.3.2 种群的空间分布格局原理	13
2.3.3 边缘效应原理	13
2.3.4 生态位原理	14
2.4 与时间有关的生态原理的应用	14
2.4.1 演替顶极和演替过程	14
2.4.2 演替的进展趋势与逆行演替	15
2.4.3 演替的机理	15
2.4.4 演替模型	23
2.4.5 与多样性有关的生态原理的应用	25
2.4.6 干扰理论	26
3 植被与生态系统恢复的方法与步骤	31
3.1 极度退化生态系统的恢复	31
3.1.1 退化生态系统的整治	31
3.1.2 退化生态系统的恢复与重建	31

3.2 次生林地生态系统的恢复	35
3.2.1 封山育林	35
3.2.2 进行林分改造	35
3.2.3 透光抚育	35
4 热带亚热带退化生态系统植被的恢复与重建	36
4.1 热带亚热带植被恢复与重建过程的种类组成的发展	36
4.1.1 小良热带荒地植被恢复与重建过程物种结构的发展	36
4.1.2 鹤山亚热带植被人工恢复过程物种结构的发展	43
4.1.3 白云山亚热带植被自然恢复过程物种结构的发展	45
4.2 热带亚热带植被恢复与重建过程群落结构的变化	51
4.2.1 植被恢复与重建过程垂直空间结构变化	51
4.2.2 植被恢复与重建过程水平空间结构变化动态	53
4.3 热带亚热带植被恢复与重建过程森林群落的组织水平结构变化	55
4.3.1 群落组织水平结构的测定方法	55
4.3.2 小良退化生态系统恢复演替过程群落组成结构的发展	59
4.3.3 鹤山亚热带荒坡植被恢复与重建过程组织水平结构的发展	60
4.3.4 白云山森林群落自然恢复演替过程中组成结构变化	61
4.3.5 鼎湖山马尾松林群落与厚壳桂群落演替过程中组织水平结构的变化	62
4.4 干扰对热带人工林组成结构发展的影响	63
4.4.1 研究的科学问题	63
4.4.2 人类干扰对窿缘桉林种类组成的影响	63
4.4.3 人类干扰对窿缘桉林群落结构的影响	64
4.4.4 人类干扰对窿缘桉林群落生物量的影响	65
4.4.5 人类干扰对窿缘桉林生态系统其他组分的影响	65
5 植被恢复过程中建群植物的生理生态学特性	67
5.1 方法与观测仪器	68
5.1.1 植物叶片相对含水量与饱和亏缺的测定方法与仪器	69
5.1.2 叶绿素含量的测定	69
5.1.3 气孔仪与植物蒸腾强度的测定	70
5.1.4 CO ₂ 红外分析仪与植物气孔气体交换的测定	70
5.1.5 植物叶面积的测定及叶面积仪	71
5.1.6 辐射强度的测定	71
5.2 植物的水分关系	71
5.2.1 植物叶片的含水量和萎蔫	72
5.2.2 植物蒸腾的日变化	73
5.2.3 植物的气孔传导率与植物蒸腾	74
5.3 植物光合作用的特性	75

5.3.1 植物光合速率的地带性差异	75
5.3.2 植物光合作用的日变化	75
5.3.3 植物的叶绿素含量与光合速率	76
5.3.4 植物年平均净光合速率与生物量	77
5.3.5 阔叶树混交林光能利用特点	80
5.4 人工林群落CO ₂ 浓度梯度变化	80
5.4.1 群落内CO ₂ 浓度的日变化	81
5.4.2 群落内CO ₂ 浓度的垂直变化	83
5.5 结语	83
6 热带亚热带退化生态系统恢复与重建过程能量生态学研究	85
6.1 研究概况	85
6.2 能量生态学的主要研究方法	85
6.2.1 辐射梯度的观测	85
6.2.2 小气候梯度的观测	86
6.2.3 冠层结构的测定	87
6.2.4 生物量和热值研究法	87
6.2.5 植物光合作用与呼吸作用速率研究法	88
6.3 森林生态系统恢复过程中冠层结构与辐射的变化	89
6.3.1 不同类型群落的冠层结构	89
6.3.2 不同群落的冠层辐射分析	92
6.3.3 个体结构与群落结构	94
6.4 森林生态系统恢复过程中温、湿度的变化	94
6.4.1 不同恢复阶段群落内温度的变化	94
6.4.2 不同恢复阶段群落内湿度的变化	95
6.5 森林生态系统恢复过程中群落优势种的光合、呼吸速率	96
6.6 森林生态系统恢复过程中群落的生物量研究	97
6.6.1 部分群落优势种的单株生长式	97
6.6.2 不同恢复阶段群落各部分生物量分布	97
6.6.3 不同恢复阶段群落的生物量年增量和净初级生产力	99
6.6.4 不同恢复阶段森林群落凋落物的比较	100
6.7 森林生态系统恢复过程中群落优势种各器官的热值	101
6.8 不同恢复阶段群落的能量现存量与净固定量	101
6.9 森林生态系统恢复过程中群落的光能利用效率	102
6.10 南亚热带的热量平衡	104
6.10.1 热量平衡的月进程	105
6.10.2 热量平衡的日进程	106
6.11 气候生产力模型模拟情况	107
6.11.1 基本理论	107

6.11.2 模拟结果·····	108
6.12 结语·····	110
7 在退化土地上重建的复合农林业生态系统的营养循环 ·····	111
7.1. 试验地概况·····	111
7.2 材料和方法·····	111
7.2.1 生物量测定·····	111
7.2.2 林地凋落物及地被物层测定·····	112
7.2.3 土壤及塘泥测量·····	112
7.2.4 水系统的测定·····	112
7.2.5 样品的化学分析·····	112
7.3 结果与分析·····	112
7.3.1 营养元素在复合生态系统内的贮存·····	112
7.3.2 营养元素的流动·····	115
7.3.3 营养元素的平衡·····	116
7.3.4 土壤微生物营养库的研究·····	120
7.4 小结和讨论·····	122
8 恢复生态学中的水热问题 ·····	124
8.1 概论·····	124
8.2 集水区径流场的建立与水热观测方法·····	124
8.2.1 集水区径流场的建立·····	124
8.2.2 集水区水热研究的常规测定·····	126
8.3 水热联系对退化生态系统的作用·····	128
8.3.1 生态系统的水热量度·····	128
8.3.2 鹤山、小良几个生态系统的水热条件·····	128
8.3.3 水热对退化生态系统恢复的限制作用·····	129
8.3.4 从水热的角度谈退化生态系统恢复的措施·····	130
8.4 系统的水分平衡·····	131
8.4.1 降水及其资料整理·····	132
8.4.2 林冠对大气降水的截留作用·····	133
8.4.3 土壤水分与地下水·····	139
8.4.4 地表径流作用·····	147
8.4.5 蒸发散潜力和蒸发散·····	148
8.5 土壤侵蚀情况·····	151
8.6 热量平衡·····	152
8.6.1 辐射状况·····	152
8.6.2 系统的热量平衡·····	152

9 热带亚热带人工植被恢复与土壤肥力发育之关系	155
9.1 森林土壤养分概述	155
9.2 研究方法	157
9.2.1 林型布局	157
9.2.2 取样技术	157
9.3 鹤山人工林土壤剖面及其发育	158
9.4 荒坡草地造林与土壤肥力发育	160
9.4.1 土壤养分动态	160
9.4.2 土壤效应值比较	160
9.4.3 土壤物理性状变化	162
9.5 侵蚀土壤与造林的改土效应	164
9.6 几种人工林土壤展望	165
9.7 不同营林措施对按林土壤的影响	168
9.8 植物与P的关系	169
9.9 结语	170
10 退化生态系统恢复过程中微生物学的研究	172
10.1 木本豆科植物共生固N的研究	172
10.1.1 木本豆科固N植物(乔木, 灌木和木质藤本)资源的调查	172
10.1.2 豆科人工森林生态系统的结瘤固N	177
10.1.3 根瘤菌的分离和回接	180
10.2 VA菌根的调查研究	181
10.3 土壤微生物的研究	185
10.3.1 土壤微生物数量及其种群组成	185
10.3.2 土壤微生物生物量及其养分归还	188
10.3.3 小结和讨论	191
11 热带亚热带退化生态系统恢复过程中动物群落的演替与功能	192
11.1 前言	192
11.2 动物群落的物种多样性与生物量发展	192
11.2.1 小良植被重建三个阶段的动物多样性变化	193
11.2.2 人工林土壤动物群落的早期演替	194
11.2.3 人工针阔叶混交林节肢动物群落的多样性与稳定性	200
11.3 有害动物的发生与发展	202
11.3.1 人工林早期的虫害	203
11.3.2 鼠类对造林早期的破坏	204
11.3.3 鼠害的发生与植被的变化关系	204
11.4 动物对植物的保护与传播作用	205
11.4.1 大型森林蜘蛛的捕虫能力	205

11.4.2 屋顶鼠的捕虫能力·····	206
11.4.3 屋顶鼠传播种子的作用·····	207
11.5 土壤动物在营养及能量循环中的作用·····	209
11.5.1 土壤动物对枯枝落叶的分解·····	209
11.5.2 生态系统中重要土壤动物类群的分解能力·····	211
11.5.3 土壤动物与微生物分解能力的比较·····	212
11.5.4 土壤动物在能量循环中的作用·····	213
 12 中国科学院鹤山丘陵综合试验站信息系统·····	 215
12.1 国内外现状·····	215
12.2 鹤山站的信息系统构成·····	216
12.2.1 鹤山站信息系统的逻辑结构·····	216
12.2.2 鹤山站信息系统的人员组成·····	216
12.3 鹤山试验站数据库管理系统·····	216
12.3.1 系统的计算机硬软件环境·····	216
12.3.2 系统的特点·····	216
12.3.3 数据库文件名的规定·····	217
12.3.4 系统的功能·····	218
12.4 鹤山站数据存贮格式·····	219
12.5 数据管理政策·····	221
12.6 已建立的数据库·····	221
 附录1 鹤山站与小良站的植物名录·····	 223
附录2 鹤山站数据库的库结构·····	248
 主要参考文献·····	 261

Contents

1 Introduction	1
1.1 Concepts and significance of rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystem	1
1.1.1 Main concepts	1
1.1.2 Types of degraded ecosystems	2
1.1.3 Significance of rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystem.	2
1.2 Brief introduction of main field research stations	4
1.2.1 The main research stations for artificial rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystems	4
1.2.2 The main research stations for natural rehabilitation and succession of degraded ecosystems	5
1.2.3 The stations for comparative research	8
1.3 Briefing of location studies on tropical and subtropical rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystems	8
 2 Ecological theories on tropical and subtropical rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystems	 10
2.1 Application of ecological principles relating to matter	10
2.1.1 Principles of dominant ecological factors	10
2.1.2 Ecophysiological principles of element	11
2.2 Application of ecological principles relating to energy	12
2.3 Application of ecological principles relating to space	12
2.3.1 The checking principles of population density	12
2.3.2 The principles of spatial distribution pattern of population	13
2.3.3 The principles of boundary effect	13
2.3.4 The principles of ecological niche	14
2.4 Application of ecological principles relating to time	14
2.4.1 Climax and process of succession	14
2.4.2 Developing tendency of succession and reverse succession	15
2.4.3 Mechanism of succession	15
2.4.4 Models of succession	23
2.4.5 Application of ecological principle relating to diversity	25
2.4.6 Theories of disturbance	26

3 Methods and measures of vegetation and ecosystem rehabilitation	31
3.1 The rehabilitation of extreme degraded ecosystems	31
3.1.1 Renovation of degraded ecosystems	31
3.1.2 Rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystems	31
3.2 Rehabilitation of secondary forest ecosystem	35
3.2.1 Close hillside to facilitate afforestation	35
3.2.2 Remoulding of forest	35
3.2.3 Thinning for nurture of forest	35
 4 Vegetation rehabilitation and reconstruction of tropical and Subtropical degraded ecosystems	 36
4.1 Development of species composition in the process of tropical and subtropical vegetation rehabilitation and reconstruction	36
4.1.1 Development of species structure in the process of tropical vegetation rehabilitation and reconstruction on barren lands in Xiaoliang	36
4.1.2 Development of species structure in the process of subtropical vegetation artificial rehabilitation in Heshan	43
4.1.3 Development of species structure in the process of natural rehabilitation of subtropical vegetation in Baiyunshan	45
4.2 Change of community structure in the process of tropical and subtropical vegetation rehabilitation and reconstruction	51
4.2.1 Change of vertical spatial structure in the process of vegetation rehabilitation and reconstruction	51
4.2.2 Change dynamics of horizontal spatial structure in the process of vegetation rehabilitation and reconstruction	53
4.3 Change of organization level structure of forest community in the process of tropical and subtropical vegetation rehabilitation and reconstruction	55
4.3.1 Measurement methods for organization level structure of community	55
4.3.2 Development of community composition structure in the process of rehabilitation and succession of degraded ecosystems in Xiaoliang	59
4.3.3 Development of organization level structure in the process of subtropical vegetation rehabilitation and reconstruction on abandoned hilly lands in Heshan	60
4.3.4 Change of composition structure in the succession process of natural rehabilitation of forest community in Baiyunshan	61
4.3.5 Change of organization level structure in the succession process of <i>Pinus massoniana</i> community and <i>Cryptocarya chinesis</i> community in Dinghushan	62
4.4 Impact of disturbance on development of composition structure of tropical artificial forest	63
4.4.1 Scientific problem of research	63

4.4.2	Impact of human disturbance on species composition of <i>Eucalyptus exserta</i> forest	63
4.4.3	Impact of human disturbance on community structure of <i>Eucalyptus exserta</i> forest	64
4.4.4	Impact of human disturbance on community biomass of <i>Eucalyptus exserta</i> forest	65
4.4.5	Impact of human disturbance on the other components of <i>Eucalyptus exserta</i> forest ecosystem	65
5	Ecophysiological characteristics of constructive plants during vegetation rehabilitation	67
5.1	Method and equipment for measurement	68
5.1.1	Measurement method and equipment of plant leaf relative water content and saturated water deficit	69
5.1.2	Measurement of chlorophyll content	69
5.1.3	Porometer and measurement of plant leaf transpiration	70
5.1.4	Ultra-red CO ₂ analyzer and measurement of gas exchange of plant leaf stomata	70
5.1.5	Measurement of plant leaf area and leaf area meter	71
5.1.6	Measurement of radiation intensity	71
5.2	Plant water relation	71
5.2.1	Water content of plant and wilting	72
5.2.2	Daily change of plant transpiration	73
5.2.3	Stomatal conductance and transpiration rate of plant	74
5.3	Photosynthesis characteristic of plant	75
5.3.1	Zonal difference of photosynthetic rate of plant	75
5.3.2	Daily variation of plant photosynthesis	75
5.3.3	Chlorophyll content and photosynthetic rate of plant	76
5.3.4	Plant annual net photosynthetic rate and biomass	77
5.3.5	Characters of light utilization of broad-leaf mixed forest	80
5.4	Profile of CO ₂ concentration in artificial forest community	80
5.4.1	Daily variation of CO ₂ concentration in community	81
5.4.2	Vertical variation of CO ₂ concentration in community	83
5.5	Conclusion	83
6	Study on Ecological Energetics during the rehabilitation and reconstruction of tropical and subtropical degraded ecosystems	85
6.1	General situation	85
6.2	The main study method of Ecological Energetics	85

6.2.1 Observation of radiation	85
6.2.2 Observation of microclimate	86
6.2.3 Measurement of canopy structure	87
6.2.4 Estimating of biomass and determination of caloric value	87
6.2.5 Methods for measurement of plant photosynthesis and respiration rates	88
6.3 The change of canopy structure and canopy radiation during the rehabilitation of forest ecosystems	89
6.3.1 The change of canopy structure during the rehabilitation of degraded ecosystems	89
6.3.2 The change of canopy radiation during the rehabilitation of degraded ecosystems	92
6.3.3 Individual structure and community structure	94
6.4 The change of temperature and humidity during the rehabilitation of forest ecosystems	94
6.4.1 The change of temperature during the rehabilitation of degraded ecosystems	94
6.4.2 The change of humidity during the rehabilitation of degraded ecosystems	95
6.5 The photosynthesis and respiration rate of dominant species during the rehabilitation of forest ecosystems	96
6.6 The changes of biomass of the communities during the rehabilitation of forest ecosystems	97
6.6.1 The relative growing equation of dominant species in several communities	97
6.6.2 The biomass of the communities in different stages of rehabilitation	97
6.6.3 The annual growth and net primary productivity of the communities in different stages of rehabilitation.	99
6.6.4 The comparison of litter of the communities in different stages of rehabilitation.	100
6.7 The caloric value of dominant species during the rehabilitation of forest ecosystems	101
6.8 The standing crop energy and net energy production of the communities during the rehabilitation	101
6.9 Solar energy utilization efficiency of the communities during the rehabilitation of forest ecosystems.	102
6.10 The heat balance of subtropical region	104
6.10.1 Monthly variation of the heat balance	105
6.10.2 Daily variation of the heat balance	106
6.11 The modeling of climatic productivity models	107
6.11.1 Basic theory	107
6.11.2 Results of simulation	108
6.12 Conclusion	110

7 Nutrient cycling in an agroforestry ecosystem reconstructed on degraded land	111
7.1 Site description	111
7.2 Materials and methods	111
7.2.1 Determination on plant biomass	111
7.2.2 Determination on litterfall and forest floor mass	112
7.2.3 Determination on the quantity of soil and fish pond mud	112
7.2.4 Determination on the quantity of water system	112
7.2.5 Chemical analysis of samples	112
7.3 Result and analysis	112
7.3.1 Nutrient stocks in the agroforestry ecosystem	112
7.3.2 Nutrient fluxes in the ecosystem	115
7.3.3 Nutrient balance for the ecosystem	116
7.3.4 The nutrient pool of soil microbes	120
7.4 Conclusion and discussion	122
 8 The water and heat problems in rehabilitation of ecosystem	 124
8.1 Introduction	124
8.2 Establishment of catchment runoff ground and methods of water and heat measurement.	124
8.2.1 Establishment of catchment runoff ground	124
8.2.2 The routine measurement for studies on water and heat in the catchments	126
8.3 The combination effects of water and heat on degraded ecosystems	128
8.3.1 The indexes of identifying water and heat states in an ecosystem	128
8.3.2 The water and heat states of several ecosystems in Heshan and Xiaoliang	128
8.3.3 The limitation effects of water and heat on the rehabilitation of degraded ecosystems	129
8.3.4 The rehabilitation ways of degraded ecosystem on the viewpoint of water and heat	130
8.4 Water balance in systems	131
8.4.1 Rainfall and hydrological data analysis	132
8.4.2 The canopy interception for precipitation	133
8.4.3 Soil moisture and underground water	139
8.4.4 Surface runoff effects	147
8.4.5 Potential evapotranspiration and evapotranspiration	148
8.5 Soil erosion state	151
8.6 Heat balance	152
8.6.1 Radiation state	152
8.6.2 Heat balance within system	152

9 The relationship between the soil fertility and artificial vegetation recovery in tropics and subtropics	155
9.1 Overview of nutrient of forest soil	155
9.2 Study methods	157
9.2.1 Distribution of forest type	157
9.2.2 Sampling technique	157
9.3 Soil profile and its development of artificial forest soils in Heshan	158
9.4 Soil fertility development and afforestation of grass hilly land	160
9.4.1 Nutrient dynamics of soil	160
9.4.2 Comparison of soil effect	160
9.4.3 Change of soil physical properties	162
9.5 Effect of afforestation on seriously eroded land	164
9.6 Development expectation of soil of several artificial forests	165
9.7 Effect of different forest management measure on eucalyptus soil	168
9.8 Relation between vegetation and phosphorus	169
9.9 Conclusion	170
 10 Study on microbiology in the process of rehabilitation of degraded ecosystem	 172
10.1 Symbiotic nitrogen fixation of woody legumes	172
10.1.1 Investigation on the resources of nitrogen fixation of woody legumes (including tree, shrub and woody climber)	172
10.1.2 The nodulation and nitrogen fixation in artificial forest ecosystem of legumes	177
10.1.3 Isolation and re inoculation of rhizobium	180
10.2 Investigation on VA mycorrhiza	181
10.3 Research on soil microbiology	185
10.3.1 Number and species composition of soil microbes	185
10.3.2 Soil microbial biomass and its nutrient return	188
10.3.3 Conclusion and discussion	191
 11 The succession and function of animal communities in the process of rehabilitation in tropical and subtropical degraded ecosystem	 192
11.1 Introduction	192
11.2 The development of the species diversity and biomass of animal communities	192
11.2.1 The change of the animal diversity in three stages of the restoration process of vegetation in Xiaoliang	193
11.2.2 Initial succession of soil animal communities in artificial forests	194
11.2.3 The diversity and stability of arthropod communities in the artificial	