



西南喀斯特 植物与环境

宋同清 等 著

Plants and the Environment in Karst Areas of
Southwest China



科学出版社

西南喀斯特植物与环境
Plants and Environment in Karst
Areas of Southwest China

宋同清 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书扼要介绍中国西南喀斯特自然地理、人文、社会、经济和生态环境现状,系统阐述西南喀斯特植被的时空分布格局,分析其与气候、土壤、地形、光合作用等生理生态因子间的耦合关系,揭示影响西南喀斯特脆弱生态系统运行的主控因子;进一步分析西南喀斯特主要生态系统化学计量与养分循环特征,着重阐明其碳格局及石灰土的有机碳稳定性机制;最后,基于西南喀斯特生态环境退化尤其是石漠化时空演变特征、发生机制的分析,提出西南喀斯特脆弱生态系统土地利用方式、退耕还林还草模式、农牧复合带构建等生态恢复与重建优化调控措施。

本书包括既相互独立又相互关联的十二章,是一部重点总结我们近年来关于西南喀斯特地区植被与环境的成果专著,同时涉及有关喀斯特脆弱生态系统的研究理论、方法、思路及动态,可供植物学、生态学、土壤学、喀斯特环境学、地理学等学科的研究人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

西南喀斯特植物与环境 / 宋同清等著. —北京: 科学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-03-042364-1

I. 西… II. 宋… III. 喀斯特地区-植物-生态环境-研究-西南地区
IV. X173

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 257096 号

责任编辑: 王 倩 刘 超 / 责任校对: 彭 涛

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 无极书装

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 39 1/4

字数: 930 000

定价: 240.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

致 谢

本书受到“中国科学院西部行动计划（KZCX2-XB3-10，KZCX2-XB2-08）、国家科技支撑计划（2011BAC09B02，2006CB403208）、国家自然科学基金项目（31370485，31370623，31400412，U1033004）、中国科学院战略性先导科技专项（XDA05070404，XDA05050205）、中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室、中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站、广西特聘专家岗位及科学研究与技术开发计划（桂科攻1355007-10，桂科合1346011-17）”资助

《西南喀斯特植物与环境》

撰写成员

主 笔 宋同清

副主笔 王克林 曾馥平 彭晚霞 杜 虎

成 员 (以姓氏汉语拼音为序)

白晓勇	陈洪松	凡非得	何铁光
黄国勤	黄锡强	李春干	刘 霞
刘 艳	刘永贤	欧阳资文	覃文更
覃育松	任 勃	单武雄	宋 敏
苏以荣	谭卫宁	王 华	王世杰
王淑彬	温远光	徐庆国	杨钙仁
杨青青	姚季伦	张 浩	曾昭霞

序

植被是陆地生态系统的重要组成部分，是生态系统中物质循环与能量流通的中枢。植物时间和空间的分布格局是多个生态过程的产物，这些生态过程主要包括物种的进化（物种的形成、迁移及灭亡）、地理差异及环境因子等的控制，同时不同程度上受到植被演化历史和干扰的影响。在气候、地形、地貌、土壤理化性状、土壤微生物性状、干扰等自然、人为作用和过程控制下，植被个体之间的长期相互作用导致不同尺度、不同层次、不同时间的变异，形成有规律的植被时空格局。在区域、全球尺度上，气候、母质、植被区系决定特定的植被类型，而在景观及更小的尺度上，非地带性的环境因子如海拔、土壤、地形、地貌等主导着植被的物种组成和群落类型。

植被分布格局与植物所处的气候条件明显相关。在同一气候区，地形是影响植被格局的最重要的因子之一，它通过地貌过程和形态的变化不仅控制着基本的生态因子，如光照、温度、水分和土壤养分等资源因子的空间再分配，而且影响各种环境过程带来的干扰频率与强度分布，主要通过控制地表干扰体系的时空分布和不同物种的选择性分布两方面对群落动态与年龄产生影响。

作为植物生存的重要环境条件之一，土壤影响植物群落的结构和功能，土壤养分的差异会导致群落中植物多样性的变化。土壤养分 N、P、K 与维管束植物丰富度、多样性呈负相关。在荒漠化地区，风蚀作用可以导致表层土壤养分状况发生显著的变化，进而影响到植物的种群丰度和空间结构，土壤水分、养分空间分布状况导致植被的生理特征发生空间变化。

土壤微生物具有高的多样性（每克土中可能包括 $10^4 \sim 10^7$ 种不同的微生物）、个体丰度（全球微生物的数量可能超过 10^{30} 个）、生物量（微生物碳量与植物碳量相等，微生物氮量则为植物氮量的 10 倍），在生物地化循环过程调控和生态系统功能维持方面作用明显。由于微生物主要以植物根系分泌物或植物残体为食，植被对土壤微生物组成和功能有很大影响。理论上，土壤微生物群落与植被演替关系紧密，具有与植被相似的空间分布特征。但土壤微生物个体小，数量巨大，可形成休眠体，世代周期短，繁殖力强，其成活率高，恢复迅速，扩展能力强，物种划分的标准过粗、过宽。随演替进行，土壤微生物群落较植物群落具有更大的可塑性。植物与土壤微生物是否存在“共演替”现象和相似的空间分布还缺乏统一认识。

干扰是自然界普遍存在的现象，通过改变植物群落内的环境条件、物种组成和多样性等，改变植物群落的结构和功能，进而影响其演替进程甚至演替方向，造成利弊两种截然相反的结果。干扰能够较大地影响森林群落的物种多样性，受到经常和强烈干扰的森林经常被短命的和喜光树种所控制，具有较低的多样性；没有受到干扰的森林常常由寿命长的耐阴树种占优势，也具有较低的多样性；受到中度干扰的森林具有最大的多样性。

以贵州为中心连带成片的中国西南喀斯特地区（世界三大岩溶地区之一）受地球内动力、强烈的地质运动、高温多雨且分布不均、碳酸盐岩溶蚀性强、水文二维结构明显与人为地矛盾突出的影响，具有岩石裸露率和钙镁含量高、土壤瘠薄、季节性岩溶干旱严重等自然和人为干扰的双重胁迫环境，其适生植物具有石生性、嗜钙性、耐瘠性和耐旱性等限制性特点，与亚热带季风气候区的地带性顶极群落——常绿阔叶林不同，西南喀斯特的顶极群落为常绿落叶阔叶混交林，强烈的人为干扰导致出现了草丛、灌丛、次生林、原生林等各种偏途、不同演替阶段群落的共存现象，揭示西南喀斯特植物与环境的独特关系是该地区植被恢复、生态重建与石漠化综合治理的关键。

中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站近几年来在国家、地方多个项目与课题的资助下，深入研究植被与环境的相互关系，从种群（个体）尺度探讨不同植物生理生态特征及根际环境的差异，从群落和景观尺度分析不同演替阶段植被和土壤的空间格局变化，找出影响植被时空分布的主要因子，揭示植被与气候、土壤理化性状、土壤微生物、土壤矿质养分、地形、人类活动等集团因子之间的关系，量化各集团因子对植被时空分布的贡献率，描述植被沿生态环境梯度的分布，进一步分析西南喀斯特典型生态系统有机质、氮、磷、钾、硅、铝、铁、钙、镁、锰的分布格局、循环规律及土壤有机碳稳定性机制，初步提出不同立地类型、不同演替阶段人工与自然相结合的植被快速恢复途径，优化筛选西南喀斯特不同土地利用方式和退耕还林还草模式，为荒漠地区植物群落构建机制提供基础数据，对西南喀斯特植被迅速恢复和生态重建具有重要的实践指导意义。

本书是国内全面、系统论述西南喀斯特地区植被与环境相互关系的成果专著。在紧扣西南喀斯特前沿科学问题的基础上，系统进行试验的顶层设计和合理布局，对野外调查和室内分析严格执行标准化、规范化和统一化，展示的研究内容和工作成果丰富而系统，90%以上的数据和分析成果均源于中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站5年多的研究试验结果；学术思路包含研究背景介绍、科学问题讨论、不同假设引入、相关试验与理论研究进展、存在的问题与解决的方法；写作结构从空间尺度（个体、群落、景观、区域）和时间尺度（草丛、灌丛、次生林、原生林）展开，是植物学、生态学、土壤学、地理学、气象学、遥感等多学科的交叉研究，可供从事有关方面研究的科学工作者和研究生参考。在本书出版之际，我很高兴为之作序，并表示祝贺。



2014年6月28日

前 言

中国西南喀斯特地处长江和珠江两大水系的上游，主要分布在以贵州为中心的滇、黔、桂、湘、鄂、川、渝、粤地区，区域面积为 115 万 km^2 ，岩溶面积 55 万 km^2 ，其中石漠化面积达 14 万 km^2 ，横跨云贵高原和广西丘陵，地势总体上西高东低，是世界三大岩溶集中连片区中面积最大、岩溶发育最强烈的典型地区。受地球内动力、强烈的地质运动、高温多雨且分布不均、碳酸盐溶蚀性强、水文二维结构明显的影响，具有岩石裸露率和钙镁含量高、土壤瘠薄、季节性岩溶干旱严重等自然胁迫环境。喀斯特生态系统的稳定性、抗干扰性差，与黄土、沙漠、寒漠并列为中国四大生态环境脆弱区。其适生植物具有石生性、嗜钙性、耐瘠性和耐旱性等限制性特点，形成了与地带性植被不同的顶极群落即亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林，植物种类繁多，是我国植物区系相汇交错区和交接过渡的中间地段，但人口众多，尖锐的人地矛盾导致出现以脆弱的生态环境为基础、以人为干扰为驱动力、以植被减少为诱因、以土地生产力退化为本质的、以出现类似荒漠化景观为标志的复合退化状态，产生稀疏草丛、草灌丛、藤刺灌丛、灌丛、乔灌丛、乔丛等不同演替阶段的共存局面，许多地方甚至出现生态环境退化十分严重的石漠化现象，严重制约该区域可持续发展，直接威胁到长江、珠江流域的生态安全。本书主要介绍我们近年来关于西南喀斯特植物与环境的研究工作，为西南喀斯特植被迅速恢复和生态重建提供科学依据。

本书包括既相互独立又相互关联的十二章。第一章概述中国西南喀斯特自然地理、人文、社会经济和生态环境现状，重点揭示中国西南喀斯特石漠化的时空演变特征及发生机制，并初步提出相应的阻控策略和措施；第二章首先揭示西南喀斯特北亚热带、中亚热带、南亚热带、北热带 4 个气候带植物群落的演替特征及驱动机制，然后介绍植物在景观尺度和区域尺度的空间分布格局；第三章扼要介绍土壤有机质、pH、养分、微生物数量和生物量随植被演变的变化状况，并初步揭示其空间异质性；第四章测定西南喀斯特主要植物光合作用，并分析其对环境的响应；第五章介绍西南喀斯特主要植物群落凋落物库的养分变化情况；第六章和第七章介绍西南喀斯特石灰岩、白云岩上 7 种主要生态系统的碳格局，并揭示石灰土有机碳的稳定性机制；第八章分析西南喀斯特主要森林生态系统的化学计量与养分循环特征，并揭示二者的相互关系；第九章揭示影响西南喀斯特不同生态系统运行的主要因子；第十章分析西南喀斯特不同地域、不同生态系统植被与土壤的耦合关系，初步探讨西南喀斯特植被时空分布的群落构建理论；第十一章介绍喀斯特地区主要土地利用方式，并进行优化；第十二章介绍西南喀斯特主要退耕还林还草模式，构建退耕还林还草模式植被与土壤耦合度和耦合协调度模型，提出西南喀斯特退耕还林还草的可持续发展模式及后续政策保障措施。

本书重点总结我们近年来关于西南喀斯特地区植被与环境的研究成果，但存在一定的

阶段性和局限性,如植物群落的演替仍沿用传统的“空间代替时间”的方法,研究成果主要涉及峰丛洼地型、峡谷型、高原型、槽谷型喀斯特。因此虽有出书后成功的喜悦,但因设计和系统性的不足导致对整个西南喀斯特生态系统的运行规律认识不够。一方面,深感遗憾;另一方面,促使我们站到一个更高、更宽的角度全面系统探索西南喀斯特的新科学问题,为西南喀斯特脆弱生态系统的恢复与重建贡献微薄的力量。

本书介绍的研究成果和总结出版是在课题组数届研究生彭晚霞、杜虎、欧阳资文、刘璐、殷庆仓、杨青青、凡非得、吴海勇、朱双燕、黄文、黄景新、韩美荣、鹿士杨、何宁、卢凌霄、于扬、徐云蕾、张利青、宋敏、梁志霞、时伟伟、俞月凤、谭秋锦、范夫静、聂云鹏、祁向坤、傅伟,以及王克林研究员、曾馥平研究员、苏以荣研究员、陈洪松研究员、张浩副研究员、曾昭霞副研究员、何寻阳副研究员、张明阳副研究员、岳跃民副研究员、张伟副研究员等的大力支持和共同努力下完成的,他们的部分研究生论文工作和研究成果以及与我本人共同发表的科学论文是本书写作的基础。他们是有关研究工作的合作完成者,并共同参与本书有关章节的总结:第一章,宋同清、王克林、曾馥平、杨青青、凡非得、彭晚霞、杜虎;第二章,宋同清、曾馥平、彭晚霞、杜虎、覃文更、谭卫宁、吴海勇、黄文;第三章,宋同清、彭晚霞、杜虎、刘璐、吴海勇、韩美荣、谭秋锦、张利青、黄景新;第四章,彭晚霞、宋同清、杜虎、殷庆仓、梁志霞、徐云蕾;第五章,曾昭霞、曾馥平、宋同清、彭晚霞、朱双燕、吴海勇;第六章,宋同清、杜虎、彭晚霞、何宁、卢凌霄、鹿士杨、谭秋锦、范夫静;第七章,杜虎、宋同清、曾馥平、彭晚霞、卢凌霄、于扬、徐云蕾;第八章,宋同清、曾馥平、彭晚霞、杜虎、何宁、韩美荣;第九章,彭晚霞、杜虎、宋同清、曾馥平、韩美荣、谭秋锦、吴海勇、黄文;第十章,彭晚霞、宋同清、曾馥平、韩美荣、谭秋锦、吴海勇、黄文;第十一章,宋敏、彭晚霞、曾馥平、刘璐、殷庆仓;第十二章,张浩、宋同清、曾馥平、欧阳资文、彭晚霞、黄文、鹿士杨。彭晚霞副研究员和杜虎博士对全书引用文献和部分稿件进行校对。在大家协作的基础上,由宋同清执笔综合完稿。

感谢中国科学院地球化学研究所、中国地质科学院岩溶地质研究所、广西大学、中国科学院广西植物所、江西农业大学等兄弟单位的老师、同学及大量有关著作、文献的原著者对本书写作给予的协作、关照、支持、启迪与指导,特别感谢赵其国院士为本书作序。限于各方面的水平,本书不妥之处在所难免,请各位同仁不吝赐教。

本书的研究成果得到以下基金项目的资助,特此感谢:

1) 中国科学院西部行动计划:喀斯特生态系统植物群落优化配置与重建模式(KZCX2-XB3-10, 2012年1月至2015年12月)、西南喀斯特生态系统退化机制与适应性修复试验示范研究(KZCX2-XB2-08, 2007年1月至2010年12月)。

2) 国家科技支撑计划:喀斯特峰丛洼地退化生态系统适应性修复技术与示范(2011BAC09B02, 2011年1月至2015年12月)。

3) 国家重点基础研究发展计划(973计划):喀斯特生态系统的服务功能优化和综合调控(2006CB403208, 2006年1月至2010年12月)。

4) 国家自然科学基金项目:喀斯特峰丛洼地植物与土壤微生物时空互作机制(31370485, 2014年1月至2017年12月)。

5) 国家自然科学基金项目: 喀斯特峰丛洼地植物时空分布的生理生态适应及群落构建机制 (31370623, 2014 年 1 月至 2017 年 12 月)。

6) 国家自然科学基金项目: 自然与人为干扰胁迫下喀斯特峰丛洼地植物根系的适应策略 (31400412, 2015 年 1 月至 2017 年 12 月)。

7) 中国科学院战略性先导科技专项: 峡谷型喀斯特小流域高效生态农业与固碳增汇技术集成与示范 (XDA05070404, 2011 年 1 月至 2015 年 12 月)。

8) 国家自然科学基金重点项目: 广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控 (U1033004, 2011 年 1 月至 2014 年 12 月)。

9) 中国科学院战略性先导科技专项: 广西壮族自治区森林生态系统固碳现状、速率和潜力研究 (XDA05050205, 2011 年 1 月至 2015 年 12 月)。

10) 广西特聘专家岗位: 桂西喀斯特退化生态系统恢复与重建 (2012 年 1 月至 2014 年 12 月)。

11) 广西科学研究与技术开发计划: 桂西北岩溶地区环境污染累积效应及生态环境评价体系 (桂科攻 1355007-10, 2013 年 1 月至 2015 年 12 月)。

12) 广西科学研究与技术开发计划: 九万大山石崖茶优质安全高效生产与加工技术研究示范 (桂科合 1346011-17, 2013 年 1 月至 2015 年 12 月)。

宋同清

2014 年 10 月

目 录

第一章 中国西南喀斯特概况	1
引言	1
第一节 自然地理概况	3
一、地质与岩性	3
二、地貌特征	5
三、气候特征	7
四、土壤	13
五、植被	16
六、水文特征	22
第二节 人文状况和社会经济	26
一、人文状况	26
二、社会经济	27
第三节 生态环境现状及退化发生机制	31
一、生态环境现状	31
二、生态系统退化发生机制	47
第四节 西南喀斯特退化生态系统的恢复与重建	51
一、恢复与重建的目标	51
二、生态恢复的原则与途径	52
三、生态恢复与重建模式	55
四、生态恢复与重建关键技术	58
五、构建西南喀斯特农牧复合带	62
参考文献	63
第二章 西南喀斯特植物时空分布	68
引言	68
第一节 西南喀斯特植物群落演替特征	69
一、研究区概况	69
二、科属种组成	71
三、物种组成	72
四、物种多样性	75
五、群落结构	77
六、植物群落演替的驱动机制	77

第二节 西南喀斯特景观尺度植物格局与特征	80
一、植被格局影响机制及研究概述	80
二、西南喀斯特景观尺度植被分布特点	82
三、研究区概况与动态监测样地建立	84
四、喀斯特峰丛洼地典型森林群落类型	86
五、喀斯特峰丛洼地典型森林的物种组成	90
六、喀斯特峰丛洼地典型森林的群落多样性和结构性特征	98
七、西南喀斯特常绿落叶阔叶混交林景观尺度植被空间分布	99
八、西南喀斯特人工林、次生林、原生林森林植被空间分布差异	108
第三节 西南喀斯特区域尺度的植物群落分布	108
一、西南喀斯特石灰岩植被的顶极群落	108
二、西南喀斯特石灰岩植物区系	111
三、西南喀斯特植物分布格局	115
参考文献	130
第三章 西南喀斯特土壤时空分布	136
引言	136
第一节 西南喀斯特土壤动态变化	137
一、喀斯特峰丛洼地植被演替过程中土壤的变化	137
二、峡谷型喀斯特植被恢复进程中土壤的变化	144
第二节 西南喀斯特土壤的空间异质性	153
一、喀斯特峰丛洼地森林土壤空间异质性	153
二、峡谷型喀斯特典型坡地土壤空间异质性	177
三、高原型喀斯特典型坡地土壤空间异质性	188
参考文献	195
第四章 西南喀斯特植物的光合生理特性	199
引言	199
第一节 植物光合作用及主要影响因素	200
一、植物光合作用	200
二、植物光合作用的主要影响因素	206
第二节 植物光合作用的动态特征	212
一、研究区概况	212
二、测定方法	213
三、植物光合作用日变化	213
四、植物光合作用季节变化	223
五、植物光合作用动态变化特征	226
第三节 植物光合作用对光和 CO ₂ 的响应	227
一、测定方法	227

二、光合作用对光的响应	228
三、光合作用对 CO_2 的响应	232
四、植物光合作用对光和 CO_2 的响应特征	235
参考文献	236
第五章 西南喀斯特植物群落的凋落物特征	245
引言	245
第一节 凋落物特征与养分归还	247
一、凋落物特征	247
二、凋落物养分归还	257
第二节 有机层养分特征及季节动态	262
一、有机层研究方法	262
二、西南喀斯特典型植物群落有机层凋落物储量及季节变化	263
三、有机层 OC 与养分库含量及季节变化	264
四、有机层 OC 与养分库储量及季节变化	265
第三节 土壤有机碳与养分库特征及季节动态	269
一、土壤 OC 与养分库含量及季节变化	269
二、土壤 OC 与养分库含量及凋落物特征的相关分析	273
三、演替过程中土壤 OC 与养分库的响应率	273
参考文献	275
第六章 西南喀斯特主要生态系统碳格局	281
引言	281
第一节 峡谷型喀斯特主要生态系统碳格局	283
一、研究区概况与研究方法	283
二、峡谷型喀斯特主要生态系统碳分布格局	284
第二节 喀斯特峰丛洼地森林生态系统碳格局	287
一、研究区概况与研究方法	288
二、喀斯特峰丛洼地生态系统生物量分布格局	288
三、喀斯特峰丛洼地生态系统植被碳储量及分布	294
四、喀斯特峰丛洼地不同植物群落土壤碳储量及分布	297
五、喀斯特峰丛洼地森林生态系统碳格局的影响机制	305
第三节 西南喀斯特不同森林类型表层土壤有机质的空间异质性	310
一、不同森林表层土壤有机质的总体特征	310
二、不同森林表层土壤有机质的空间自相关	311
三、不同森林表层土壤有机质的空间变异与分布特征	312
四、不同森林表层土壤有机质空间分布的主控因子	314
五、不同森林土壤有机质与主控因子的关联程度	315
参考文献	316

第七章 西南喀斯特石灰土有机碳的稳定性	319
引言	319
第一节 研究区概况与研究方法	320
第二节 不同生态系统表层土壤团聚体组成及稳定性	321
一、不同生态系统表层土壤团聚体组成	322
二、不同生态系统表层土壤团聚体稳定性	328
第三节 不同生态系统表层土壤团聚体有机碳特征	332
一、不同生态系统表层土壤团聚体有机碳含量分布特征	332
二、表层土壤团聚体有机碳储量	338
第四节 不同生态系统土壤团聚体组成剖面分布特征	341
一、土壤机械性团聚体组成剖面分布特征	341
二、土壤水稳性团聚体组成剖面分布特征	343
第五节 不同生态系统土壤团聚体有机碳剖面分布特征	344
一、土壤团聚体有机碳含量垂直分布	344
二、土壤团聚体有机碳储量垂直分布	350
第六节 不同森林类型土壤团聚体中微生物生物量碳、熵、氮分布	355
一、不同森林类型土壤团聚体中微生物生物量碳分布	356
二、不同森林类型土壤团聚体中微生物熵	356
三、不同森林类型土壤团聚体中微生物生物量氮分布	357
参考文献	358
第八章 喀斯特森林生态化学计量与养分循环特征	362
引言	362
第一节 研究区概况与研究方法	363
第二节 喀斯特森林生态系统 C、N、P 生态化学计量特征	364
一、植物 C、N、P 含量及化学计量比	366
二、土壤 C、N、P 含量及化学计量比	368
三、凋落物 C、N、P 含量及化学计量比	370
四、植物、土壤、凋落物 C、N、P 含量和化学计量比之间的关系	371
第三节 喀斯特森林生态系统养分特征	373
一、喀斯特森林生态系统植被层营养元素含量	373
二、喀斯特森林生态系统植被层营养元素积累	377
三、凋落物层营养元素含量和积累分布	381
四、土壤层营养元素含量和积累分布	382
第四节 喀斯特森林生态系统营养元素生物循环	384
一、喀斯特森林生态系统各层次养分积累和分配	386
二、喀斯特森林生态系统营养元素的年存留量	387
三、喀斯特森林生态系统营养元素生物循环特征	388

第五节 喀斯特森林生态系统生态化学计量特征与养分循环的关系	391
一、C、N、P 化学计量比与养分元素循环量的关系	392
二、C、N、P 化学计量比与养分元素循环特征的关系	395
三、喀斯特森林化学计量比与养分元素循环特征的关系	397
参考文献	398
第九章 西南喀斯特典型生态系统的主控因子	403
引言	403
第一节 西南喀斯特不同生态系统主要影响因子	404
一、喀斯特峰丛洼地典型生态系统	404
二、峡谷型喀斯特典型生态系统主要影响因子	414
第二节 西南喀斯特脆弱生态系统恢复与重建的主要因素	426
一、喀斯特峰丛洼地	426
二、峡谷型喀斯特	427
第三节 景观尺度喀斯特森林群落分布的主要因子	429
一、主成分分析	429
二、聚类分析	433
参考文献	437
第十章 西南喀斯特植被与土壤的耦合关系	439
引言	439
第一节 喀斯特峰丛洼地典型生态系统植被与土壤的耦合关系	440
一、研究区概况	440
二、喀斯特峰丛洼地脆弱生态系统各因子间的典型相关分析	440
三、喀斯特峰丛洼地脆弱生态系统植被与土壤的耦合关系	446
四、喀斯特峰丛洼地脆弱生态系统植被与土壤的耦合机制	448
第二节 峡谷型喀斯特典型生态系统植被与土壤的耦合关系	449
一、研究区概况	449
二、峡谷型喀斯特生态系统各因子间的典型相关分析	449
三、峡谷型喀斯特生态系统植被与土壤的耦合关系	455
四、峡谷型喀斯特生态系统植被与土壤的耦合机制	457
第三节 不同森林类型植被与土壤地形的耦合关系	458
一、研究区概况与动态监测样地建立	458
二、喀斯特峰丛洼地森林植被与土壤地形因子的耦合关系	458
三、喀斯特峰丛洼地森林植被与土壤地形因子的耦合机制	464
第四节 喀斯特峰丛洼地森林植被分布的环境解释	465
一、DCCA 排序	465
二、群落结构的环境和空间影响因子分离	473
三、喀斯特峰丛洼地森林植被分布的环境解释探讨	476
参考文献	477

第十一章 喀斯特土地利用方式对生态系统运行的影响	480
引言	480
第一节 土地利用方式对植物群落特征的影响	481
一、研究区概况	482
二、科、属、种及重要值的组成特点与比较	483
第二节 土地利用方式对土壤水分的时空调控	491
一、不同土地利用方式下雨季、旱季土壤水分的总体特征	492
二、不同土地利用方式下雨季、旱季土壤水分自相关分析	493
三、不同土地利用方式下雨季、旱季土壤水分空间变异特征	493
四、不同土地利用方式下雨季、旱季土壤水分空间分布格局	498
五、不同土地利用方式下土壤水分空间格局探讨	500
第三节 土地利用方式下土壤养分的空间变异	500
一、不同土地利用方式下土壤养分的描述性统计分析	501
二、不同土地利用方式下土壤养分的自相关分析	503
三、不同土地利用方式下土壤养分的空间结构分析	503
四、不同土地利用方式下土壤养分的空间分布格局	507
五、不同土地利用方式下土壤养分的空间变异探讨	514
第四节 土地利用方式下土壤微生物的空间变异	515
一、不同土地利用方式下土壤微生物的描述性统计分析	515
二、不同土地利用方式下土壤微生物的自相关分析	518
三、不同土地利用方式下土壤微生物的空间结构分析	521
四、不同土地利用方式下土壤微生物的空间分布格局	522
五、不同土地利用方式下土壤微生物的空间变异探讨	522
第五节 土地利用方式对土壤肥力的影响机制	528
一、不同土地利用方式对土壤肥力主要因子的影响	529
二、不同土地利用方式对土壤养分和土壤微生物相互作用的影响	532
三、喀斯特峰丛洼地土地利用方式优化	541
四、土地利用方式对土壤肥力的影响机制探讨	542
参考文献	542
第十二章 喀斯特主要退耕还林还草模式优化	547
引言	547
第一节 喀斯特主要退耕还林还草模式类型	548
一、退耕还林还草模式的理论基础	548
二、喀斯特退耕还林还草模式的类型划分	550
第二节 喀斯特峰丛洼地退耕还林还草的植被效应	554
一、研究区概况	554
二、不同退耕还林还草模式的生物量及其变化	556

三、不同退耕还林还草模式的群落多样性及其变化	557
四、不同退耕还林还草模式的植被养分效应	559
五、不同退耕还林还草模式的植被效应聚类分析	572
第三节 喀斯特峰丛洼地退耕还林还草土壤改良效果	574
一、研究区概况	574
二、不同退耕还林还草模式的土壤物理环境及变化	575
三、不同退耕还林还草模式的土壤化学性状及变化	576
四、不同退耕还林还草模式的土壤矿物质特征及变化	578
五、不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性及变化	579
六、不同退耕还林还草模式的土壤生态系统的主要因素	581
七、不同退耕还林还草模式的土壤理化性质-矿质养分-微生物的耦合 关系	583
第四节 喀斯特峰丛洼地退耕还林还草植被与土壤的耦合机制	585
一、不同退耕还林还草模式的植物养分循环的比较	586
二、不同退耕还林还草模式的生物吸收系数和归还系数	589
三、退耕还林还草模式的植被与土壤的典型相关分析	590
四、退耕还林还草模式的植被与土壤的耦合效应	594
第五节 喀斯特峰丛洼地退耕还林还草优化	599
一、退耕还林还草优化模式分类	599
二、退耕还林还草模式生态综合效应分析	600
三、退耕还林还草生态经济可持续发展模式	602
四、退耕还林还草工程后续政策保障	602
参考文献	605