

喀斯特土地系统科学 理论、方法与实证研究

——以广西都安为例

胡宝清

王德光

苏广实

覃开贤

等著



科学出版社

喀斯特土地系统科学理论、方法与实证研究 ——以广西都安为例

胡宝清 王德光 等著
苏广实 覃开贤

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书首先论述土地系统科学的理论基础和研究范式,以喀斯特土地系统“结构与格局—时空演变—动因与机制—预测与模拟—可持续性评价—功能分区—优化调控模式”为研究主线,综合集成3S技术、模型法、数理统计、网格法和人工神经网络法等研究方法,系统分析广西典型喀斯特县域——都安瑶族自治县土地系统的土地利用/覆盖变化问题,揭示喀斯特土地利用/覆盖变化的基本过程、驱动机制与演变规律,并结合信息科学技术开发区域土地利用变化与决策支持系统,进行土地系统优化调整的辅助决策,为喀斯特退化生态环境的治理与恢复重建提供必要的理论依据与技术支持。

本书可供地理学、资源与环境科学、喀斯特环境学、地理信息科学等学科研究人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

喀斯特土地系统科学理论、方法与实证研究:以广西都安为例/胡宝清等著.
—北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033722-1

I. ①喀… II. ①胡… III. ①喀斯特地区—土地利用—研究
IV. ①F321.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第036447号

责任编辑:韩 鹏 王 运 王淑云/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年3月第一次印刷 印张:18 插页:6

字数:427 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

随着人口增长、气候变化、环境污染、能源短缺等诸多全球性问题的日益突显，人地矛盾变得日益尖锐。20 世纪 80 年代起，世界气候研究计划（WCRP）、国际地圈生物圈计划（IGBP）和国际全球环境变化人文因素计划（IHDP）等全球环境变化研究计划相继展开。土地利用/覆盖变化（LUCC）作为全球环境变化研究的重要组成部分，成为当前人地关系地域系统研究的热点问题。土地利用/覆盖变化研究的基本目标是深入了解土地利用/覆盖变化在区域尺度上的相互作用及其规律，提高对全球土地利用/覆盖变化动态过程、机理及其对人类社会经济与环境所产生的一系列影响的认识，着重提高预测土地利用/覆盖变化的能力，从而为全球、国家或区域的可持续发展战略提供决策依据。土地利用/覆盖变化过程研究本身就是一个复杂的系统工程，将土地利用活动设定在特定的人地关系地域系统中，运用综合的研究手段，开展系统的应用研究有利于更加清晰地揭示土地利用/覆盖变化过程中各相关要素的相互作用机理，从而提出更加合理的调控手段，指导人类的土地利用活动，从而实现可持续发展。

该书选择土地利用/覆盖变化研究的典型热点地区——喀斯特山区作为研究对象，以系统化的视角，综合应用地理科学、土地科学、系统科学和岩溶学的相关研究方法，对区域土地利用/覆盖变化做了详细的研究。全书沿着喀斯特土地系统“结构与格局—时空演变—动因与机制—预测与模拟—可持续性评价—功能分区—优化调控模式”的研究思路对喀斯特土地系统演变机制与优化调控模式进行理论、方法与实证研究，揭示了喀斯特土地利用/覆盖变化的基本过程、驱动机制与演变规律，有针对性地提出土地系统优化的调控模式，取得了较好的效果，是地理科学在典型地区研究的具体化。该书是作者多年来研究喀斯特地区土地利用活动的结果，研究工作富有创新性，对其他的同类研究也不失为一种有益的补充与借鉴，是一项重要的科研成果。通观此书，其具有以下三个方面的特点。

特点之一，把喀斯特土地利用作为一个系统来进行研究，用系统分析方法揭示喀斯特土地系统的结构与格局、演变动因与机制，提出喀斯特土地系统研究的理论基础、研究范式与研究方法，对喀斯特土地利用的系统化研究具有很好的推动作用与理论指导意义。

特点之二，综合运用形态学、运动学、动力学、经济学、运筹学、WSR 理论及模型模拟方法等研究手段，构建喀斯特土地系统研究理论框架和方法集成，这是跨学科研究的一个重要实践，对其他学科研究方法的引入具有一定的借鉴意义。

特点之三，以计算机信息技术、人工智能技术和现代数学方法为手段，研发区域土地利用变化与优化决策信息系统，对喀斯特土地利用空间数据管理、时空演变及机制分析、土地可持续利用评价和土地系统演变模拟提供科学的方法和实现手段。

总之，该书作者利用地理科学、土地科学、计算机科学、现代数学和系统科学进

行交叉和综合研究喀斯特土地利用活动，是一个值得提倡和发展的研究方向。相信该书的出版将对喀斯特地区的土地利用活动以及相关研究的深入发展产生较大的推动作用。



2011年10月30日

前言

我国西南地区碳酸盐类岩石出露面积达 41.05 万 km^2 ，是世界上最大的喀斯特连续地带，黔、滇、桂三省（自治区）连片分布的喀斯特山区面积达 32 万 km^2 ，占该区总面积的 55.69%。该地区贫困县达 173 个，其中国家级特困县 52 个，占全国贫困县和特困县的一半左右，是我国南方的主要贫困地区。“喀斯特石漠化”已经成为我国生态恶化与经济贫困的代名词。喀斯特石漠化的形成与发展不仅长期困扰该地区的经济社会可持续发展，也给长江和珠江的中下游地区带来一系列生态环境问题。造成喀斯特石漠化的原因很多，但主要原因还是该地区不合理的土地利用问题。“毁林开荒—林退、草毁—土壤侵蚀—岩石裸露—石漠化”的逆向演化使该地区陷入“越垦越穷，越穷越垦”的恶性循环。尽管人们已经认识到不合理的土地利用活动是土地石漠化的主要驱动力，但是，以往的研究大多是零散的，缺乏系统性与综合性，难以准确把握喀斯特土地利用演变过程、机制，难以准确评价喀斯特土地利用演变状态，以致未能采取切合实际的防治措施。因此，石漠化的防治工作自 20 世纪 90 年代开展以来效果一直不是非常理想。

有鉴于此，本书综合吸收、借鉴地理科学、土地科学及各相关学科理论、方法和研究成果，根据系统论思想，将喀斯特地区的土地利用活动与生态、社会经济系统相耦合，作为一个整体——喀斯特土地系统来研究，从系统的角度来探究喀斯特地区的土地利用问题，揭示喀斯特土地利用/覆盖变化的基本过程、驱动机制与演变规律，以期能为喀斯特退化生态环境的治理与恢复重建提供必要理论依据。本着这种思想，本书综合集成 3S（RS、GIS、GPS）技术、模型法、数理统计、网格法和人工神经网络法等研究方法，沿着喀斯特土地系统“结构与格局—时空演变—动因与机制—预测与模拟—可持续性评价—优化调控模式”的研究路线，以西南喀斯特典型县域——都安喀斯特土地系统为例，对喀斯特土地系统演变机制与优化调控模式进行理论、方法与实证研究。

在理论研究层面，本书提出构建喀斯特土地系统科学这一土地科学和地理学相交叉的分支学科的思想，并为这一分支学科提出相应的研究范式，期望能从学科建设的角度深化地理科学、土地科学、系统科学等学科在喀斯特土地问题中的理论研究，使后期的喀斯特土地问题研究具备一定的理论支撑与借鉴。在方法研究方面，本书集成应用形态学、运动学、经济学、运筹学、WSR 方法论以及信息模型等多种方法，综合分析喀斯特土地系统格局的演变规律与驱动机制，取得了较好的效果，对同类的研究也不失为一种有益的补充与借鉴。

在内容编排方面，全书共分 12 章：第 1 章绪论主要介绍本书的研究背景、研究意义以及国内外研究现状，指明喀斯特土地系统研究的基本内容；第 2 章、第 3 章、第 4 章为喀斯特土地系统研究的理论与方法，其中提出构建喀斯特土地系统科学这一学科的思想，探讨该“学科”的发展历程、理论基础与研究范式，并指明该“学科”研究的哲学基础。第 5 章运用智能信息方法与技术构建喀斯特土地利用变化与优化调控决策支持

系统,其内嵌的功能模块能够为决策者调控该区域的土地利用活动提供必要的数据、信息和背景材料。第6章是本书研究对象——都安喀斯特土地系统的概况介绍。第7章和第8章探讨都安喀斯特土地系统的演变过程与演变机制。第9章运用元胞自动机与BP (Error-Back Propagation) 神经网络方法相耦合模拟预测都安喀斯特土地系统2015年的土地利用情景。第10章对喀斯特土地系统的可持续性进行评价,并在此基础上提出优化调控模式。第11章对都安喀斯特土地系统进行功能分区,指明各分区的土地利用方向与模式。第12章是结论与展望。

本书由胡宝清设计总体大纲,胡宝清、王德光统稿、修改。具体分工如下:前言、第1章至第3章由胡宝清、王德光撰写,第4章由苏广实、王德光撰写,第5章由覃开贤、谢黎黎、田涛撰写,第6章和第7章由苏广实、胡宝清撰写,第8章由苏广实、王德光撰写,第9章由覃开贤、韩世静、王德光、苏旭芳撰写,第10章由苏广实、罗华艳撰写,第11章由王德光、饶映雪、胡宝清撰写,第12章由王德光、胡宝清撰写,胡宝清、李月连绘制部分图件。

本书的研究成果先后得到国家自然科学基金(40161004、40361002、40661005和40871250)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0760)、广西自然科学基金项目(2011GXNSFE018003、0832021Z、桂科能05112001-8B、桂科自0342001-2、桂科计字067922、桂科基0731068、桂科计字023646和2010GXNSFA013006)等10多个科研项目的资助。本书的出版还得到广西省级重点学科自然地理学、广西高校人才小高地资源与环境科学创新团队、广西地表过程与智能模拟重点实验室培育基地和北部湾环境演变与资源利用省部共建教育部重点实验室建设经费的资助,在此对以上各方面的支持表示衷心的感谢。

中国科学院地理科学与资源研究所石玉林院士和陈百明研究员对本书的写作给予真诚的关心和指导,体现了长者对晚辈的勉励与期待,石院士欣然为本书作序,在此深表谢意。

本书得到中国科学院地球化学研究所王世杰研究员、福建师范大学朱鹤健教授、广西师范学院廖赤眉教授、严志强教授的启迪和指导,在此向以上给予关照和支持的同仁致以衷心谢忱。从事喀斯特土地利用变化及持续高效利用研究的年轻教师和研究生不断增加,支持喀斯特土地利用变化研究的数据资料的不断丰富,使得从不同角度较为系统地研究喀斯特土地系统成为可能,相关学术论文、研究生学位论文以及课题研究报告为本书内容提供了重要支撑,在此对相关研究人员一并表示感谢。

鉴于喀斯特土地系统研究是一个跨学科、跨专业的庞杂的研究,再则作者的能力与水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者不吝赐教并提出宝贵意见。

作者

2011年7月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	2
1.3 研究现状	6
1.4 目前研究存在的主要问题	9
1.5 研究内容与研究方法	11
1.6 全书框架体系	12
第 2 章 可持续发展的土地资源观	13
2.1 土地可持续利用的哲学基础	13
2.2 土地科学利用的伦理学思考	16
2.3 喀斯特土地资源合理利用与保护的哲学意义	18
2.4 本章小结	21
第 3 章 喀斯特土地系统科学的理论基础与研究范式	22
3.1 喀斯特土地系统科学研究的发展历程	22
3.2 喀斯特土地系统科学研究的理论基础	24
3.3 喀斯特土地系统科学的核心问题	29
3.4 喀斯特土地系统科学的学科性质与研究范式	29
3.5 本章小结	35
第 4 章 喀斯特土地系统研究的基本理论与方法	36
4.1 基本概念	36
4.2 喀斯特土地系统结构与格局的形态学分析	39
4.3 喀斯特土地系统演变的运动学分析	44
4.4 喀斯特土地系统动因与机制的动力学分析	48
4.5 喀斯特土地系统的经济学分析	58
4.6 喀斯特土地系统优化的运筹学分析	66
4.7 区域喀斯特土地系统的 WSR 系统分析	70
4.8 喀斯特土地系统研究的模型分析法	73
4.9 本章小结	78
第 5 章 喀斯特土地系统信息化管理与决策支持	79

5.1	RLUCOR. DSS 系统分析	79
5.2	RLUCOR. DSS 系统设计	81
5.3	系统功能的实现	94
5.4	本章小结	101
第 6 章	都安喀斯特土地系统概况	102
6.1	自然地理环境特征	102
6.2	社会经济特征	106
6.3	特殊的少数民族文化背景	108
6.4	本章小结	109
第 7 章	都安喀斯特土地系统时空演变分析	110
7.1	都安喀斯特土地系统概况	110
7.2	都安喀斯特土地系统结构分析	111
7.3	都安喀斯特土地系统时空演变过程分析	124
7.4	都安喀斯特土地系统退化分析	139
7.5	本章小结	145
第 8 章	都安喀斯特土地系统演变机制分析	146
8.1	都安喀斯特土地系统演变的动因诊断	146
8.2	都安喀斯特土地系统演变内动力制约机制分析	147
8.3	都安喀斯特土地系统演变外动力驱动机制分析	172
8.4	都安喀斯特土地系统退化机制分析	184
8.5	本章小结	189
第 9 章	都安喀斯特土地系统演变模拟	191
9.1	土地系统时空演变模型概述	191
9.2	土地系统时空演变模拟方法研究	192
9.3	基于 BP-ANN-CA 模型的都安喀斯特土地系统时空演变模拟	203
9.4	本章小结	209
第 10 章	都安喀斯特土地系统可持续性评价及其优化调控	211
10.1	都安喀斯特土地系统可持续性评价目标及意义	211
10.2	都安喀斯特土地系统可持续性评价指标体系和评价单元	211
10.3	都安喀斯特土地系统可持续性评价指标标准化与评价方法	214
10.4	都安喀斯特土地系统可持续利用评价过程	218
10.5	都安喀斯特土地系统优化调控模式	228
10.6	本章小结	234
第 11 章	都安喀斯特土地系统功能分区及其优化治理模式	235
11.1	都安喀斯特土地系统功能分区	235
11.2	基于神经网络的都安喀斯特土地系统功能分区	243

11.3 都安喀斯特土地系统功能区划优化治理模式·····	253
11.4 本章小结·····	257
第12章 结论与展望 ·····	258
12.1 研究结论·····	258
12.2 主要创新点·····	260
12.3 研究展望·····	261
参考文献 ·····	262
附表 ·····	267
彩图	

第1章 绪 论

1.1 研究背景

喀斯特土地系统是一种独特的土地系统,是由喀斯特自然环境、土地利用活动及其影响因素构成的独特的地域综合体,是一个多因素、多变量、非线性的典型复杂巨系统。喀斯特自然环境处于一种碳物质能量循环变异极为强烈和快速的状态,使得喀斯特土地系统具有环境容量低、生物量小、群落植被替代慢、生态环境系统变异敏感度高、空间转移能力强、稳定性差等一系列生态脆弱性特征,是承灾能力弱、灾害承受阈值弹性小的一种脆弱环境系统(杨明德,1990;张殿发等,2001)。近十几年来,受人类不合理活动的影响,喀斯特地区的土壤侵蚀严重、基岩大面积裸露、土地生产力急剧下降、地表出现大面积的土地退化,严重影响喀斯特山区人民的生存环境与可持续发展,威胁着喀斯特地区的生态安全。因此,脆弱的喀斯特生境一直是当今国际地学的研究热点。

中国是一个岩溶大国,裸露型、埋藏型、覆盖型岩溶的面积总和达 344 万 km^2 ,西南裸露型岩溶区是全球三大碳酸盐岩连续分布区之一(袁道先,2008)。我国岩溶工作者利用我国岩溶的地域优势,先后申请获准执行国际地质对比计划 IGCP299“地质、气候、水文与岩溶形成”、IGCP379“岩溶作用与碳循环”、IGCP448“全球岩溶生态系统对比”和 IGCP513“岩溶含水层与水资源全球研究”,同时我国西南地区也是土壤侵蚀最为严重的区域,不同的岩溶类型区引发石漠化的自然、人为因素也各不相同,该区域岩溶土地退化的研究成果及综合治理对策、技术措施,对其他国家岩溶区石漠化问题的研究和综合治理有很好的示范作用。

开展石漠化综合治理,改善喀斯特地区生态状况和人民群众的生产生活条件,既是维护国土生态安全和实现经济社会可持续发展的需要,又是广大喀斯特地区人民群众的强烈愿望和要求,这不仅受到国内外专家、学者的关注,而且已经引起党和国家的高度重视。党的十六大提出,要重点抓好西南地区生态建设,争取十年内取得突破性进展,并将石漠化综合治理列入国家“十五”计划。党的十六届五中全会通过的《关于国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》指出,要继续推进石漠化治理生态工程,并把“生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建”列为《国家中长期科学和技术发展规划》的优先主题之一。因此,石漠化综合治理是西南喀斯特山区摆脱贫困、实现可持续发展亟须研究的科学问题和实践问题,也是西部大开发中最为紧迫的任务之一。

近年来的研究揭示,喀斯特地区土地退化的主要驱动力是建立在人地关系基础之上的不合理的土地利用行为(袁道先,1997;欧阳自远,1998;王世杰,2002),因此解决这一问题的最有效途径就是明晰这一区域的土地利用变化过程与机理。实际上,土地

利用/覆盖变化 (LUCC) 早已是地理学的重要研究内容之一 (陈佑启和杨鹏, 2001), IGBP (国际地圈生物圈计划) 和 IHDP (国际全球变化人文因素计划) 早就把 LUCC 研究作为全球变化研究中的重点内容。由于地球表层存在高度的空间异质性, 不同地理环境和人文背景地区的 LUCC 变化过程、驱动因素以及对区域和全球变化的贡献也各不相同, 即便是土地覆被条件相似的地区之间也存在不同的土地覆被变化速率和过程, 因此不能把在一种空间尺度上和一个地区得到的研究结果随意推广到其他尺度和地区 (蔡运龙, 2001)。再则, LUCC 研究的兴起是源于全球变化研究, 出于碳循环和全球建模的需要, 早期的研究多在全球尺度上展开。然而, 全球尺度的 LUCC 问题本身十分复杂, 难以入手, 而区域尺度的 LUCC 研究通过累积性效应影响全球变化, 这种影响是缓慢的, 不易为人们所察觉。但区域的 LUCC 对当地生态环境和居民的生活福利所产生的影响是明显的, 在区域和地方尺度上获得的研究结果可直接为当地的决策者提供决策依据。因此, 近年来的 LUCC 研究在客观上要求加强对地方和区域尺度的研究。Lambin 认为区域 LUCC 研究应集中在那些“关键地区”、“热点地区”以及“脆弱地区” (Lambin et al., 1999; 彭建和蔡运龙, 2006)。喀斯特地区是典型的脆弱生态环境区域, 无疑应成为 LUCC 研究的热点地区和典型地区。

但是, 单一的、传统的研究方法, 缺乏系统性与综合性, 难以准确地把握喀斯特土地利用变化过程、机制, 难以准确评价喀斯特土地利用演变状态, 以致未能采取切合实际的防治措施。因此, 有必要借鉴系统科学的相关理论, 把喀斯特土地利用变化研究和区域人类活动以及社会经济条件结合起来进行系统研究, 运用系统科学的理论思想与方法, 系统和综合地研究喀斯特土地系统的演变过程、机制与优化调控, 这也是解决以土地石漠化为代表的喀斯特山区生态环境恶化的重要法宝。

1.2 研究意义

1.2.1 土地系统演变及其机制研究是 LUCC 研究的重要内容

人类所面临的许多环境与发展问题与土地利用/覆盖变化 (LUCC) 有关, LUCC 已成为全球变化研究的核心主题之一 (陈佑启和杨鹏, 2001)。土地利用是一个把土地自然生态系统变为人工生态系统的过程, 是自然、经济、社会诸因子综合作用的复杂过程。土地利用方式、程度、结构及地域分布和效益, 既受自然条件的影响, 又受各种社会、经济、技术条件的约束, 而且社会生产方式往往对土地利用起决定性的作用 (倪绍祥和谭少华, 2001)。土地覆盖是随遥感技术的应用而出现的新概念, 是指覆盖地面的自然物体和人工建筑物, 它反映的是地球表层的自然状况 (摆万奇和柏书琴, 1999)。土地利用与土地覆盖有着密切的关系, 土地利用变化通常会导致土地覆盖状况的变化 (Turner et al., 1994), 土地覆盖变化反过来又影响土地利用方式。因此人们往往将两者联系在一起, 简称为 LUCC, 且对它们所产生的广泛影响给予越来越多的关注。

LUCC 研究的基本目标是深入了解土地利用/覆盖在区域尺度上的相互作用及其变化, 提高对全球土地利用/覆盖变化动态过程、机理及其对人类社会经济与环境所产生

的一系列影响的认识,着重提高预测土地利用和土地覆盖变化的能力,从而为全球、国家或区域的可持续发展战略提供决策依据。具体目标:一是调查和描述不同尺度下LUCC的时空过程,二是认识和把握不同时空尺度下LUCC的驱动力及驱动机制,三是明确土地利用与可持续发展间的关系,四是认识LUCC、生物地球化学过程及气候变化之间的关系(杨桂山,2004)。LUCC研究的内容十分广泛,不仅包括自然、社会与经济整个系统,人类社会的历史、现状与将来,而且还包括从地球生物圈到一个国家、地区,再到某个农户或土地利用行为者等不同尺度。

土地利用变化的个案比较研究是《土地利用/覆盖变化科学计划》中提出的三个重点领域之一(黄秉维等,1999),也是LUCC研究的主要途径之一。通过个案的比较分析研究,剖析作用力因子对土地利用决策者的影响,便于掌握与了解影响土地利用变化的关键性因子,进而建构区域或全球的土地利用模型,深入了解土地利用变化及其驱动力机制。因此,进行土地利用变化动力学研究,对揭示土地利用与土地覆盖变化的原因、内部机制、基本过程,预测未来变化方向和后果,以及制定相应的对策至关重要。由于影响土地利用变化的自然因素和人文因素众多,每一因素对土地利用变化的影响程度都随着时空条件的变化而变化,并且各种因素之间相互影响、相互制约,与土地利用之间亦非简单的线性关系,需要将它们看做一个完整的系统,运用系统的观点和方法研究土地利用变化及其机制。由此可见,土地系统演变及其机制研究已经成为LUCC研究的重要内容。

1.2.2 喀斯特脆弱区 PRED 的迫切需要

1992年联合国环境与发展大会制定并通过全球《21世纪议程》,提出全球可持续发展的战略框架。此后,世界各国相继开始调整自己的发展战略和发展规划。协调人口(population, P)、资源(resources, R)、环境(environment, E)和发展(development, D)之间的关系、走可持续发展道路,已成为当前世界各国追求的基本目标。从人地关系角度看,PRED问题是人地关系失调、人地系统主要过程失控的反映。从系统论的观点看,PRED就是一个系统,是对区域地理事物的一种抽象,是对其固有的系统特性进行模拟分析的概念模式。因此,PRED系统是对人地关系地域系统的一种近似。把PRED系统作为人地关系地域系统的一种构型,即为PRED构型(王黎明,1997)。

我国西南地区碳酸盐类岩石出露面积达41.05万 km^2 ,是世界上最大的喀斯特连续地带,黔、滇、桂三省(自治区)连片分布的喀斯特山区面积达32万 km^2 ,占该地区总面积的55.69%。该地区贫困县达173个,其中国家级特困县52个,占全国贫困县和特困县的一半左右,是我国南方的主要贫困地区。“喀斯特”成为我国生态恶化与经济贫困的代名词。西南三省(自治区)土地总面积4480万 hm^2 ,耕地约456万 hm^2 ,仅占土地总面积的10%。该地区人口密度为163人/ km^2 ,比全国平均人口密度111人/

km² 高 46.8%。人均耕地 0.96 亩^①，比全国人均耕地少 1/3。三省（自治区）喀斯特山区的人均耕地面积比三省（自治区）的平均水平还要低得多。

喀斯特环境是地理环境中一个独特的生态环境系统，它处于一种碳物质能量循环变异极强和快速的状态，具有环境容量低、生物量小、群落易被替代、生态环境系统变异敏感度高、空间转移能力强、稳定性差等一系列生态脆弱性特征，是承灾能力弱，灾害承受阈值弹性小的一种生态脆弱环境（杨明德，1990；龙健等，2002a）。由于存在严重的“先天性缺陷”，喀斯特山区尽管水热条件相对良好，但生态系统结构简单，一旦遭到破坏，环境就会迅速恶化，重新整治恢复的难度很大，周期也很长。以石漠化为特征的土地退化就是一个令人深思的教训。

与此同时，毁林开荒、陡坡开垦、过度放牧等不合理的人类活动在土地退化过程中往往起主导的作用，造成喀斯特山区人地系统长期以来严重失调的状态。再深究其因，更为主要的是人口的增长超过土地的承载力，使这些地区陷入人口增加→过度垦殖→生态环境恶化→经济落后→人口贫困→文化教育水平低→环境意识和人口意识淡薄→人口增长的恶性循环。可见，土地退化尤其是土地石漠化不仅是环境问题，而且是经济和社会问题，是喀斯特山区人口、资源、环境与经济发展严重失调的反映。因此，研究该区历史上不合理的人类活动，探求喀斯特土地系统演变过程与机制是当前喀斯特山区人口、资源、环境与经济协调发展的迫切需要。

1.2.3 喀斯特土地系统深入研究的需要

从掌握的文献看，国外关于喀斯特地区土地利用变化导致的环境问题等方面的研究还比较少。由于欧洲、北美地区的喀斯特山区连片面积不如我国西南岩溶山区大，也不是传统的农业耕作区，人口稀少，其生态环境容量支撑社会发展的能力要比我国西南部强得多。长期以来，我国西南喀斯特山区的自然环境与社会经济活动之间均处于不协调状态。一方面该区缺少大平原支持的农业生产，碳酸盐形成土壤的速度极慢，植被易破坏难恢复，水土流失严重，土地贫瘠，生态环境脆弱，自然灾害频发；另一方面，区域人口增长速度过快，远高于全国人口密度，产业结构单一，农业以粮食种植业为主体，科学技术落后，人口受教育程度低，交通不发达。这种人与自然不相协调的状态导致该区生态环境日益恶化，成为我国最贫困的地区之一。

科学家们已认识到喀斯特土地利用变化带来的种种威胁人类生存发展的土地退化问题（如土地石漠化）是喀斯特山区脆弱地质-生态背景与人类不合理的土地利用相互作用的结果（屠玉麟，1994；李瑞玲等，2002；胡宝清等，2006），并进行了理论、技术、方法等方面的研究，试图揭示喀斯特土地利用变化格局与过程（胡宝清等，2004b；廖赤眉等，2004；万军等，2004；熊康宁等，2005）、机制（张惠远等，1999；熊康宁，2002；胡宝清等，2004a）及其环境效应（李阳兵和谢德林，2001；贾亚男等，2004；蒋勇军等，2004；刘玉等，2004），但目前研究的全面性、系统性与深度还有待提高。

^① 1 亩≈666.67m²

因此,以中小尺度喀斯特土地系统为研究对象,借鉴土地利用/覆盖变化在典型地区(顾朝林,1999;朱会义等,2001;袁艺等,2003)、脆弱生态地区(赖彦斌等,2002;史纪安等,2003)研究的成功经验,是深入了解喀斯特生态脆弱区人-地耦合系统各因素(包括地质、生态与人文因素)的作用机理、演变过程,实施优化调控的关键。

1.2.4 都安喀斯特土地系统的典型性

广西是世界上最重要的岩溶区之一,区内岩溶类型多种多样,是世界上潮湿热带、亚热带岩溶比较发育完美的地区。都安瑶族自治县(以下简称都安)位于广西腹地偏西,地处云贵高原向广西盆地过渡的斜坡地带,属于亚热带季风气候区的南缘,光热充足,雨量充沛,为喀斯特地貌发育创造了良好的条件。全县喀斯特地貌类型齐全,峰丛洼地、峰丛谷地和峰林谷地广泛发育,以岩溶石山为主,山地面积占全县土地总面积的77.9%,丘陵面积占全县土地总面积的13.2%,台地和谷地平原面积占土地总面积的8.9%。

都安主要的社会经济指标无论是与同类的县市作比较,还是与广西乃至全国的平均水平相比,都处于明显落后状态,是国家级重点贫困县。长期以来的贫困生活大大限制了该地区人们的受教育程度,农民的文化水平很低,严重阻碍了生产力水平的提高。粗放型经营、小规模农业是都安农业的主体。农业以传统的粮食种植为主,牧业与副业落后。农业经营粗放,耕地集约化利用程度低,多数农产品处于广种薄收的局面。同时受地形条件限制,经营规模小,农业机械化水平很低,人力、畜力仍是都安主要的耕作方式。地形的闭塞又使得技术服务体系不健全,因此缺乏建立大规模产业园区的地形条件。以节水、节能、节约土地、资源综合利用为宗旨的农田水利、能源基础建设,受资金、观念、体制等各方面的制约而落后。

由于裸露型、半裸露型的喀斯特广泛分布,地表崎岖破碎,地下洞隙纵横交织,水文动态变化剧烈,都安地表水漏失严重,旱涝交替,土地瘠薄,植被生长困难,自然和人为因素导致的地质灾害频繁,生态系统极为脆弱敏感,环境承载力极低。土地不合理利用,毁林毁草,陡坡垦殖,人口过快增长超出喀斯特生态环境的承载力,造成喀斯特山区生态环境日趋恶化,水土流失与石漠化加剧,导致有些乡镇出现一方水土不能养活一方人的现状。1988年和1999年的遥感影像解译数据分析结果表明,这11年间都安喀斯特石漠化程度加剧发展,区域生态环境日趋恶化。这种状况在西南喀斯特山区也具有典型性。

综合这些特点,都安喀斯特土地系统在广西与我国西南喀斯特山区土地资源开发、利用、规划与管理等方面都具有典型性。研究都安喀斯特土地系统的结构、演变过程、机制,并对其可持续性进行评价与优化调控,可为其他喀斯特生态环境脆弱区土地系统研究和政府制定区域可持续发展决策提供有益的参考和依据,具有十分重要的理论和实践意义。

1.3 研究现状

1.3.1 喀斯特土地石漠化研究

喀斯特石漠化是土地荒漠化的主要类型之一,是人类不合理的经济活动叠加于脆弱生态地质环境背景上的综合作用结果。它以脆弱的地质-生态环境为基础,以强烈的人类活动为驱动力,以土地生产力退化为本质,以出现类似荒漠的景观为标志(王世杰,2002)。学者们主要从分布特征、过程、成因与治理等不同角度进行研究。蒋树芳等(2004)分析了广西都安喀斯特石漠化的分布特征,发现在不同岩性条件下,石漠化的程度差异极大,不同岩性对石漠化的影响也不一样。周国富(2006)的研究表明,贵州喀斯特石漠化在空间分布上也存在明显的区域差异。李阳兵等(2004)提出石漠化过程存在地质石漠化过程、生态系统石漠化过程和人为加速石漠化过程,对不同类型的石漠化宜分别采取保护、恢复、重建、维持措施。陈起伟(2006)对花江喀斯特峡谷区石漠化趋势的研究结果表明,整个地区的石漠化状况有明显的改善,但是在部分区域,由于工程建设等原因,仍存在石漠化程度加重的现象。蓝安军(2002)认为石漠化土地的形成,有3个核心环节:毁林开荒—水土流失—岩石裸露。喀斯特地区的人口压力及不合理的人类活动,导致土地资源严重退化、植被覆盖度锐减、水土流失加剧和生态环境严重恶化,超载的社会经济压力是喀斯特土地石漠化最主要的驱动力。唐秀玲等(2003)认为导致广西石漠化加剧的因素是多方面的,既有自然的,又有人为的,其治理也是一个系统工程,需要在释放人口压力、提高人口素质、调整产业结构与布局、加大整治力度、执行财政补偿制度等方面继续努力。王世杰等(2003)的研究结果表明,石漠化的整个发展过程就是岩溶山地的人地系统内部各要素之间以及各要素同外部环境之间通过物质、能量、信息的流动,使其结构和功能发生变化的动态演化过程,但其逆转和自我恢复的可能性及其时间进程的长短,受不同的自然条件及人为活动强度的控制;只有通过人类主动地调节自身活动及自我适应性,优化岩溶山地人地系统的结构和功能,才能在新的条件下达到新的平衡,并且向良好的方向发展。

1.3.2 喀斯特土地系统研究的技术手段与方法

喀斯特土地系统研究尽管起步较晚,但随着土地科学研究的技术手段与方法的日趋成熟与广泛应用,喀斯特土地系统研究的技术方法已日渐雏形,初步形成适于喀斯特土地利用变化研究的基本方法:RS和GIS一体化方法、计量模型法以及对应关系分析法。

土地利用变化研究往往以遥感图像处理、GIS数据分析为主要手段,采用人机交互的方法,进行数据采集、处理和管理,建立完整的喀斯特土地利用数据库。这也是喀斯特土地利用变化研究的重要技术手段之一。谷花云等(2003)利用TM遥感影像解译的数据和地理信息系统(GIS)建立岩溶地区(贵州省)的土地利用/覆盖变化的信息

图谱,利用系列图谱数据反演、预测喀斯特地区土地利用/覆盖变化。杨春华等(2006)利用1988年、1999年两期遥感数据,辅以1:250 000DEM,结合野外调查,探讨环江县如何因地制宜地利用土地资源,并划出3种土地利用类型区:集约利用区、适度利用区、保护区。周忠发等(2001)通过应用多波段、多平台的遥感信息,在野外调研基础上与GIS技术支持下,对2000年遥感图像进行解译、编辑处理,制作了贵州省喀斯特地区石漠化分布图。喀斯特山区地貌形态复杂,地形破碎,造成运用遥感影像数据进行大比例尺土地利用类型划分的困难,尤其是对峡谷阴影、喀斯特独特的石脊坑(小坑)的解译精度尚待提高。

由于不同区域有着不同的自然和人文因素的组合,相应地对土地利用变化的影响也不同。在喀斯特土地利用上,将一定区域的土地利用变化类型与地质-生态环境背景和经济因素作对应关系分析,来确定土地影响因子及驱动机制,为土地石漠化灾害风险评价和持续利用提供基础。胡宝清和王世杰(2008)运用GIS和RS技术,采用定性和定量相结合的分析方法,研究地质-生态环境背景与喀斯特石漠化的空间相关性。喀斯特地区土地的石漠化与地层岩性、河流切割、土壤侵蚀、坡度及人类活动等有关。周忠发和黄路迦(2003)从岩性方面来分析喀斯特地区石漠化的成因,认为喀斯特地区的地层岩性与石漠化的级别和分布有密切关系。孔祥丽等(2007)以河池地区为例,采用典范对应分析排序方法,研究喀斯特地区土地利用格局变化与社会经济发展水平之间的相关关系。研究表明,随着社会经济总量的不断增长和人口的急剧增加,10多年来,河池地区不同县(市、区)发生变化的主导土地利用类型具有显著的差异性。

1.3.3 喀斯特土地利用格局、变化过程与机制

土地利用变化是全球变化研究的热点课题,其研究内容主要包括描述某一时期特定区域土地利用变化的基本过程,解释其变化的内在机制,预测未来的变化方向(蔡运龙,2001)。关于喀斯特土地利用格局、变化过程与机制,学者们从不同角度作了比较细致的研究。

喀斯特土地利用格局方面。李华等(2005)运用景观生态学的原理,利用景观生态学指数对云南小江流域土地利用变化的空间格局及变化进行定量分析。结果表明,整个土地利用类型的格局由以未利用地和林地为主的格局转变为以耕地和林地为主的格局。彭建等(2007)借助于景观生态学中的景观格局指数以及构建生态价值指数,对位于贵州中部典型喀斯特地区的猫跳河流域1973年以来的土地利用/覆盖变化及其对整个区域生态环境状况的影响进行研究,并对近30年来土地利用的合理性进行了评价。李阳兵等(2007)利用遥感影像数据对黔中地区1995~2000年的景观格局与动态进行了分析。

喀斯特土地利用变化过程方面。熊康宁等(2005)以贵州典型喀斯特地区贞丰县、北盘江镇、花江示范区为研究样区,对不同尺度喀斯特地区土地利用动态变化包括数量变化、结构变化及程度变化等过程进行研究。万军等(2004)研究了贵州关岭县1987~1999年间的土地利用/覆盖变化,发现研究区的土地利用动态变化较大,草地和旱地之间相互转换的比例较高。蒋勇军等(2005)分析了云南省泸西县小江典型岩溶农业流域