



广西红壤肥力与生态功能 协同演变机制与调控综合报告

赵其国 黄国勤 等 著



科学出版社

515

•国家自然科学基金重点项目（U1033004）研究成果•

广西红壤肥力与生态功能协同演变 机制与调控综合报告

赵其国 黄国勤 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系中国科学院南京土壤研究所赵其国院士于2011年1月至2014年12月主持完成的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)研究成果的浓缩和集中体现。全书共分八章。第一章,简要介绍了研究的目的与意义,研究内容、思路与技术路线等;第二章,调查、分析了广西生态功能退化状况及其与土壤肥力的关系等;第三章至第五章,通过盆栽试验和大田定位试验等,深入研究了广西红壤肥力的演变过程和机制、广西红壤肥力与生态功能的交互作用过程和反馈机制,以及广西退化红壤肥力与生态功能协同重建技术与优化模式等;第六章,系统研究了广西石灰土肥力与生态功能协同演变机制与调控;第七章,提出了广西红壤肥力与生态功能协同演变的对策及建议;第八章,全面总结了研究已取得的创新性成果。

本书适用于从事农学、土壤、肥料、资源、生态、环境等相关专业的科技人员阅读,也适用于从事农业、林业等方面实际工作者参考,还可作为相关专业的大学生、研究生(硕士生、博士生)的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控综合报告/赵其国等著.
—北京:科学出版社,2015.11
ISBN 978-7-03-046333-3

I. ①广… II. ①赵… III. ①红壤—土壤肥力—土壤生态体系—研究报告—广西 IV. ①S155.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第270235号

责任编辑:周 丹/责任校对:张怡君
责任印制:赵 博/封面设计:许 瑞

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>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:18 1/2

字数:439 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控综合报告》

编委会名单

主编：赵其国（中国科学院南京土壤研究所）

黄国勤（江西农业大学）

编委：赵其国（中国科学院南京土壤研究所）

黄国勤（江西农业大学）

何园球（中国科学院南京土壤研究所）

谭宏伟（广西农业科学院）

李伏生（广西大学）

罗兴录（广西大学）

宋同清（中国科学院亚热带农业生态研究）

谢如林（广西农业科学院）

周柳强（广西农业科学院）

潘贤章（中国科学院南京土壤研究所）

刘永贤（广西农业科学院）

熊柳梅（广西农业科学院）

杨尚东（广西大学）

刘晓利（中国科学院南京土壤研究所）

王淑彬（江西农业大学）

前 言

为响应国家“西部大开发”战略号召，以实际行动推进西部地区经济社会发展和生态环境改善，维护国家和地区生态安全，中国科学院南京土壤研究所赵其国院士于2010年1月主持申报了由国家自然科学基金委员会和广东省人民政府联合资助的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”，并于2010年11月获得批准正式立项（国科金发计[2010]53号），项目批准号：U1033004，项目执行期限：2011年1月至2014年12月。

该项目紧紧围绕“广西红壤肥力与生态功能协同演变机制”及“研发集成红壤肥力与生态功能协同重建技术”两条主线，重点研究了以下5方面内容：①广西红壤肥力与生态功能退化现状及主要障碍因子；②广西红壤肥力的演变过程和机制；③广西红壤肥力与生态功能的交互作用过程和反馈机制；④广西退化红壤肥力与生态功能协同重建技术与优化模式；⑤广西石灰土肥力与生态功能协同演变机制与调控。项目研究采用定位动态示踪观测与模拟试验、时空信息分析与多学科模拟、模式试验与集成研究相结合等方法。项目经过近80名科技人员4年的调查分析和试验研究，取得了丰硕成果和预期成效。项目于2014年6月28日通过了由国家自然科学基金委员会主持的验收，2015年2月8日通过了由中国植物营养与肥料学会组织的成果鉴定，鉴定委员会认为：研究成果具有创新性，达到国际先进水平。

为了系统梳理和全面总结项目研究取得的创新性成果，为当地经济社会发展和生态环境建设服务，同时为进一步开展相关研究提供基础性资料和积累有益经验，项目组将近4年所作的研究工作整理、汇总，并以《广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控综合报告》为书名正式出版。

全书共分8章。第1章，绪论，简要介绍了研究的目的与意义，研究内容、研究思路与技术路线等；第2章，广西红壤肥力与生态功能演变状况，分析了广西生态功能退化状况及其与土壤肥力的关系，以及广西森林土壤肥力空间异质性等；第3章，广西红壤肥力演变过程和机理，通过盆栽试验和大田定位试验，深入研究了广西红壤旱地多元素转化及交互作用过程与机理、广西红壤旱地水肥变化与土壤生物活性及作物生长间的关系，以及广西红壤酸化过程与抑制机理等；第4章，广西红壤肥力与生态功能的交互过程和反馈机制，重点研究了广西复合农林生态系统的土壤肥力演变过程与机理、土壤肥力与生态群落变化的相互影响与互馈、土壤肥力演变对土壤生物功能及作物生长的相互影响，以及土壤侵蚀过程与预测；第5章，广西退化红壤肥力与生态功能协同重建技术与优化模式，研发了广西贫瘠红壤库和微生物平衡协同重建技术、广西坡地红壤侵蚀治理与水肥生物功能协同利用集成技术、广西退化复合农林生态系统土壤肥力与生态功能协同重建模式；第6章，广西石灰土肥力与生态功能协同演变机制与调控，调查了广西石灰土肥力与生态功能退化现状，分析了广西石灰土土壤肥力演变机制与生态功能的耦合关系，明确了在广西石

灰土地地区种植牧草的人工调控措施及其效应,提出了广西石灰岩区典型复合农林生态系统小流域治理模式;第7章,广西红壤肥力与生态功能协同演变的对策及建议,针对广西红壤肥力与生态功能的现状及存在问题,提出了广西红壤肥力提升的对策和措施、维护广西生态安全的对策与建议,以及推进广西桉树林可持续发展的总体思路、总体原则与具体措施。第8章,小结与结论,比较全面地总结了研究取得的创新性成果,对未来研究与发展具有参考意义和启示作用。

总体来看,全书对广西红壤肥力与生态功能协同演变机制的研究有“深度”、有“宽度”,具有较强的理论性、学术性、创新性;同时,对广西退化红壤肥力与生态功能协同重建技术与优化模式、广西石灰土地地区土壤肥力与生态功能协同演变的调控技术与模式等的研究具有针对性、实用性,研究成果具有一定的区域性、实践性和可操作性。可以说,该成果的进一步推广应用,将为我国推进西部大开发战略、促进区域经济社会与生态环境协调发展发挥重要作用。

由于时间仓促,加上各种条件所限,本书还存在种种不足,有待在今后的研究工作中改进、完善。

赵其国 黄国勤

2015年6月25日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的目的和意义	1
1.2 研究目标、内容与总体设计	1
1.3 技术路线与研究方法	3
1.4 研究计划与进度	4
第 2 章 广西红壤肥力与生态功能演变状况	5
2.1 概述	5
2.2 广西土壤类型与分布	6
2.3 广西植被覆盖及生态功能演变	8
2.4 广西土壤肥力演变	23
2.5 广西森林土壤肥力空间异质性	33
2.6 广西土壤利用布局规划	37
参考文献	39
第 3 章 广西红壤肥力演变过程和机理	40
3.1 概述	40
3.2 广西红壤旱地多元素转化及交互作用过程与机理	40
3.3 红壤旱地水肥变化与土壤生物活性及作物生长间的关系	48
3.4 广西红壤酸化过程与抑制	55
参考文献	65
第 4 章 广西红壤肥力与生态功能的交互过程和反馈机制	66
4.1 概述	66
4.2 广西复合农林生态系统肥力演变过程与机理	66
4.3 广西复合农林生态系统肥力与生态群落变化的相互影响	74
4.4 广西复合农林生态系统肥力演变对土壤生物功能及作物生长的相互影响	77
4.5 广西复合农林生态系统土壤侵蚀过程与预测	83
参考文献	92
第 5 章 广西退化红壤肥力与生态功能协同重建技术与优化模式	94
5.1 概述	94
5.2 贫瘠红壤养分库和微生物平衡协同重建技术	94
5.3 广西坡地红壤侵蚀治理与水肥生物功能协调利用技术	100
5.4 广西红壤区退化复合农林土壤肥力和生态功能协同重建模式	109
参考文献	110

第 6 章 广西石灰土肥力与生态功能协同演变机制与调控	111
6.1 概述	111
6.2 广西石灰土土壤肥力演变机制与生态功能的耦合关系	112
6.3 人为调控措施对“桂牧 1 号”牧草生产和生态功能的影响	120
6.4 广西石灰岩区典型复合农林生态系统小流域治理模式	127
参考文献	128
第 7 章 广西红壤肥力与生态功能协同演变的对策及建议	129
7.1 广西红壤肥力提升的对策与建议	129
7.2 维护广西生态安全的对策与建议	134
7.3 推进广西桉树林可持续发展的对策与建议	139
参考文献	140
第 8 章 小结与结论	141
8.1 研究特色	141
8.2 研究的创新之处	142
8.3 研究已取得的创新性成果	142
附录一 论广西生态安全	147
附录二 广西桉树种植的历史、现状、生态问题及应对策略	170
附录三 红壤区桉树人工林与不同林分土壤微生物活性及细菌多样性的比较	184
附录四 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价	197
附录五 广西典型土壤上不同林分的土壤肥力分析与综合评价	209
附录六 广西森林土壤主要养分的空间异质性	215
附录七 喀斯特峰丛洼地区坡地不同土地利用方式下土壤水分的时空变异特征	225
附录八 广西灵川县种植业可持续发展研究	237
附录九 广西生态农业：历程、成效、问题及对策	249
附录十 广西农业：机遇、成就、问题与发展战略	265
图版	

第1章 绪 论

1.1 研究的目的是和意义

开展广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控的研究,具有重大的理论与实践意义。具体来说,其目的和意义在于:

1. 国家重大需求

广西是我国西部地区重要省区之一。红壤资源丰富,增产潜力巨大。党中央、国务院对广西发展高度重视,国家实施“西部大开发”战略。开展“广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控”研究,对于发挥广西红壤资源潜力,提高广西红壤地区粮食生产和生态服务功能,具体落实党中央和国务院“西部大开发”战略,确保广西乃至西部、全国粮食安全与生态安全均具有重要意义。

2. 广西现实需要

一是广西红壤面积虽大,但潜力未能发挥出来;二是广西红壤地区尚存在严重的生态环境问题,如红壤酸化严重、水土流失加剧、土壤肥力下降,整个红壤生态环境质量退化现象突出;红壤地区森林覆盖率较低,生态服务功能较差等;三是广西全区可持续发展能力尚显“薄弱”,等等。广西存在的上述一系列问题亟待研究解决。

3. 理论探索需要

从土壤学,特别是红壤科学未来发展考虑,应加强以下问题的理论与实践研究:①红壤肥力与生态功能演变与协同机制,这是充分发挥红壤生产潜力的重大理论问题,目前研究远远不能满足现实需要;②研发集成红壤肥力与生态功能协同重建技术,这是缓解甚至消除红壤主要障碍因子、充分发挥红壤资源优势亟待解决的关键技术问题,应成为当前红壤研究的“热点”“难点”之一。

1.2 研究目标、内容与总体设计

1. 研究目标

从广西区主要红壤类型(砖红壤、赤红壤和红壤)的自然-人为生态系统内元素的交互作用出发,一是揭示广西红壤区土壤肥力的演变特征和影响机制;二是阐明广西红壤肥力演变对生态功能的影响规律;三是建立广西不同类型退化红壤肥力及生态功能的协同恢复重建措施体系。在此基础上,充分发挥红壤地区优越的光、温、水、土、生物资源的优势与潜力,促进红壤地区资源-环境-生态-社会的全面、协调和可持续发展。

2. 主要内容

本书紧紧围绕“广西红壤”,重点论述以下几方面的研究:

1) 面上调查

为深入研究广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控,必须对广西红壤肥力与生态功能退化现状及主要障碍因子的现状(如障碍因子种类、数量、强度、分布、危害等)进行调查分析,在此基础上,开展下一步的深入研究。

2) 广西红壤肥力的演变过程和机制

重点研究广西红壤旱地多元素转化及交互作用过程与机理、广西红壤旱地水肥变化与土壤生物活性及作物生长间的关系、广西红壤酸化过程与抑制等3方面的研究。

3) 广西红壤肥力与生态功能的交互作用过程和反馈机制

开展以下4方面研究:一是广西复合农林生态系统肥力演变过程与机理;二是广西复合农林生态系统肥力与生态群落变化的相互影响与互馈;三是广西复合农林生态系统肥力演变对土壤生物功能及作物生长的影响;四是广西复合农林生态系统土壤侵蚀过程与预测。

4) 广西退化红壤肥力与生态功能协同重建技术与优化模式

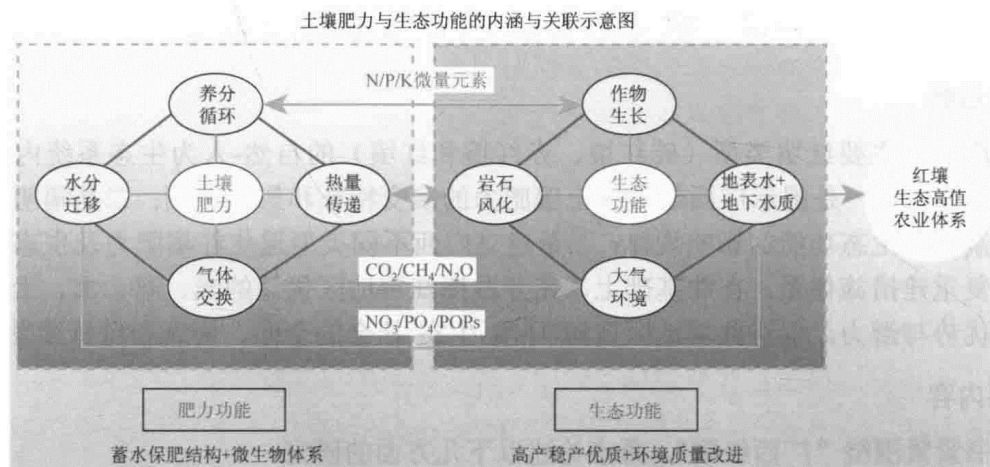
一是广西贫瘠红壤养分库和微生物平衡协同重建技术;二是广西坡地红壤侵蚀治理与水肥生物功能协调利用集成技术;三是广西退化复合农林土壤肥力和生态功能协同重建模式。

5) 广西石灰土肥力与生态功能协同演变机制与调控

广西除分布有大量红壤之外,尚在喀斯特地区分布着大面积的石灰土。针对广西这一实际,在研究广西红壤的同时,有必要将石灰土纳入研究范围,以便对广西红壤与石灰土进行相关的比较研究,从而更好地发挥广西红壤的优势与潜力。

3. 研究总体设计

研究的总体设想与思路(图 1-1):①探索红壤肥力与生态功能演变过程和协同机制,这是充分发挥红壤生产潜力的重大理论问题;②研发集成红壤肥力与生态功能协同重建技术,这是缓解/消除红壤主要障碍因子、充分发挥红壤资源优势亟待解决的关键技术问题。



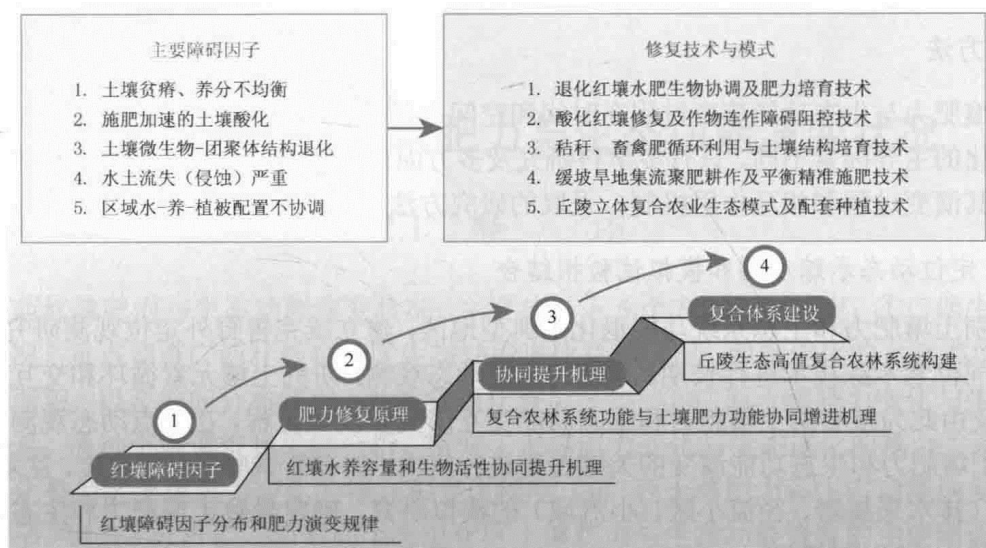


图 1-1 项目总体设计思路

1.3 技术路线与研究方法

1. 技术路线

主要按以下思路和技术路线开展研究工作（图 1-2）。

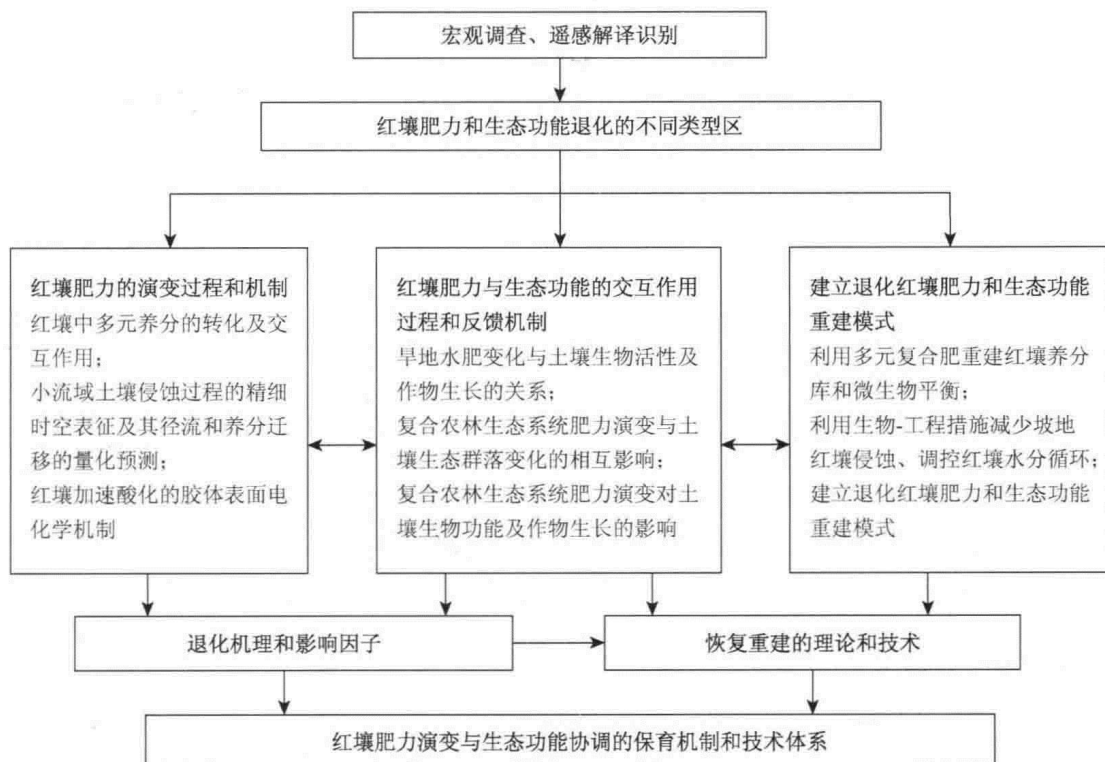


图 1-2 主要研究的技术路线

2. 研究方法

土壤肥力与生态功能演变过程在时间和空间上是动态的和相互反馈的,不同类型区导致其退化的主导因素不同。只有多学科研究及多方面信息源的综合分析与处理,才能揭示和评价其演变过程和相互作用机制。采取的研究方法如下:

1) 定位动态示踪观测和模拟试验相结合

识别土壤肥力和生态系统功能退化的典型地区,建立或完善野外定位观测研究站,利用现代同位素示踪技术进行长期、系统的定位动态观测,研究土壤元素循环和交互作用过程,以及由此为核心的土壤肥力和生态功能交互演变和反馈过程。在定点动态观测的基础上,对土壤肥力和生态功能演变的关键过程进行室内(如平衡试验、土柱试验、盆栽试验)和田间(排水采集器、径流小区、小流域)的模拟研究,确定导致土壤肥力和生态功能退化的主导因素和调控措施。

2) 时空信息分析与多学科模拟相结合

综合运用遥感和地理信息系统技术,结合土壤学、生态学、经济学分析方法,在区域调查和小流域观测的基础上综合研究土壤肥力和生态系统结构功能退化的精细时空(15天、5m×5m)分异与动态变化;建立土壤肥力演变和生态系统演替的动态监测体系;建立红壤退化评价指标体系和评价模型,针对恢复重建模式的生态、社会、经济效益进行系统分析。

3) 模式试验与集成研究相结合

针对不同的红壤肥力和生态功能退化过程,建立土壤肥力和生态功能协同演变的退化生态系统恢复重建模式。在对不同模式进行长期试验研究的基础上,从化学、生物、工程三个方面集成恢复红壤肥力和生态功能退化的技术体系,并进行分区优化。

1.4 研究计划与进度

项目研究期限为4年。各年度研究计划与进度如下:

2011年度,在目前已掌握“广西红壤现状”的基础上,进一步对广西红壤资源状况进行实地考察和调查,收集最新第一手资料;根据课题需要,设计工程和模拟实验区,并开始进行相关试验;设计课题田间试验研究方案,着手进行第一年度田间定位试验。

2012年度,继续进行定位试验和模拟实验,获取各种试验参数;对第一年度调查与实验资料进行整理、分析,写出初步调查研究报告,发表相关论文1~2篇。

2013年度,改进并完善课题实验研究方案,对课题进行中期考评;对前两年实验结果进行比较、分析,写出实验分析报告,发表论文2~3篇。

2014年度,全面完成课题研究工作;系统整理课题研究资料,撰写、发表高水平论文5~8篇;根据课题已取得的成果,撰写咨询报告和建议2~3份;进行课题总结、验收和成果鉴定。

第2章 广西红壤肥力与生态功能演变状况

2.1 概 述

广西红壤肥力与生态功能演变状况,主要从以下5个方面开展研究:①广西生态功能退化状况。重点调查广西壮族自治区生态功能退化总体状况,包括退化的主要类型、各种类型的面积,以及空间分布状况,并进行退化程度分级。②广西土壤肥力变化与生态退化耦合关系。通过土壤调查和采样分析,研究了土壤肥力变化与生态退化的耦合关系,研究不同退化类型区土壤肥力变化的特点和变化程度。③广西土壤肥力和生态功能恢复的主要障碍因子。调查、分析了广西不同生态退化区土壤肥力与生态功能恢复的主要障碍因子种类、数量及其分布状况。④广西森林土壤肥力空间异质性。参照《IPCC 优良做法指南》对系统随机抽样的建议,在广西区设置115个森林样点,共345块森林样地(图2-1)。通过对广西区各森林片区土壤养分含量分析,利用经典统计学和地统计学方法,研究了广西区森林土壤养分空间变异状况及分布格局,探讨了各养分空间变异之间存在的关系,以期广西区森林经营及其预防养分流失提供科学依据。⑤广西土壤(土地)利用发展布局图。在综合上述工作的基础上,绘制广西土壤图、广西土壤肥力演变图、广西生态功能演变图和广西土壤利用发展布局图。

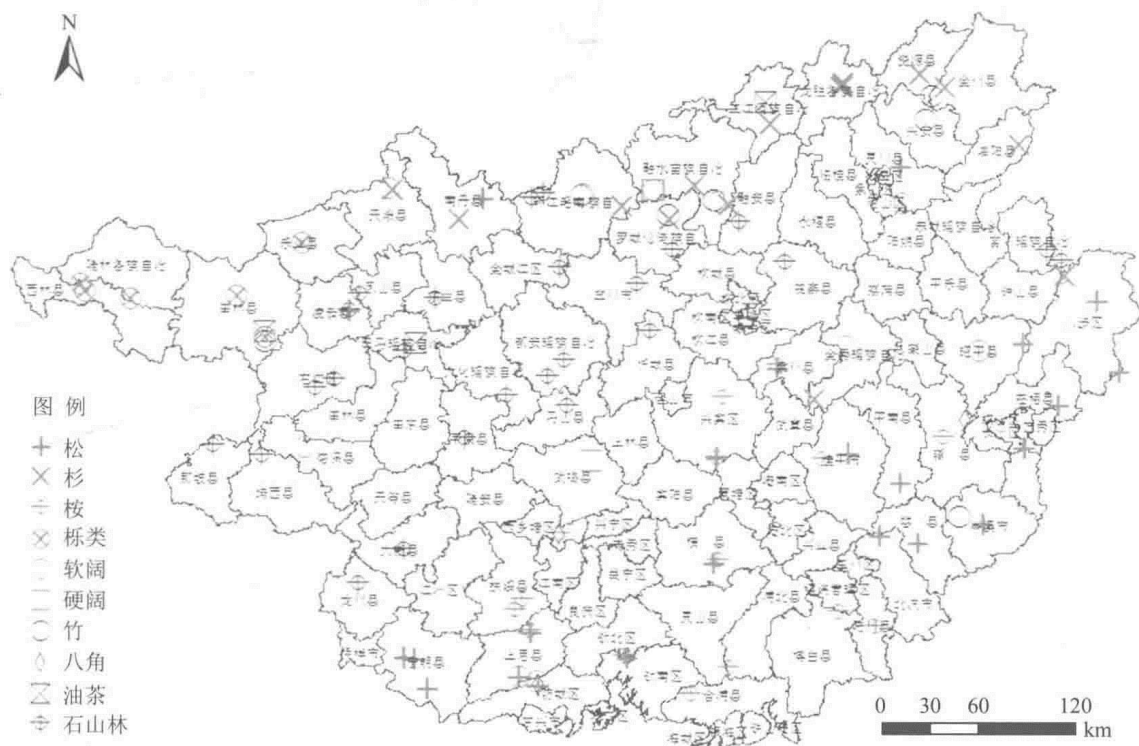


图2-1 广西区森林土壤肥力调查样地分布图

2.2 广西土壤类型与分布

1. 广西土壤类型

根据广西 1:100 万土壤图(图 2-2)统计可知,广西大部分土壤类型为:普通赤红壤,约占 63.3%,基本分布在北回归线以南的桂东南的低山丘陵区;普通红壤一般分布在桂东北海拔 800~1300m 的中山,约占 12.1%;黄红壤基本分布在桂西北和桂东北方向的高山区域,约占 9.5%;普通黄壤分布规律与黄红壤基本相同,约占 5.7%;赤红壤、普通红壤、黄红壤、普通黄壤约占总面积的 90.6%。其他土壤类型面积分布相对较少,约占全区总面积的 9.4%,且大部分都零散分布在桂南地区。

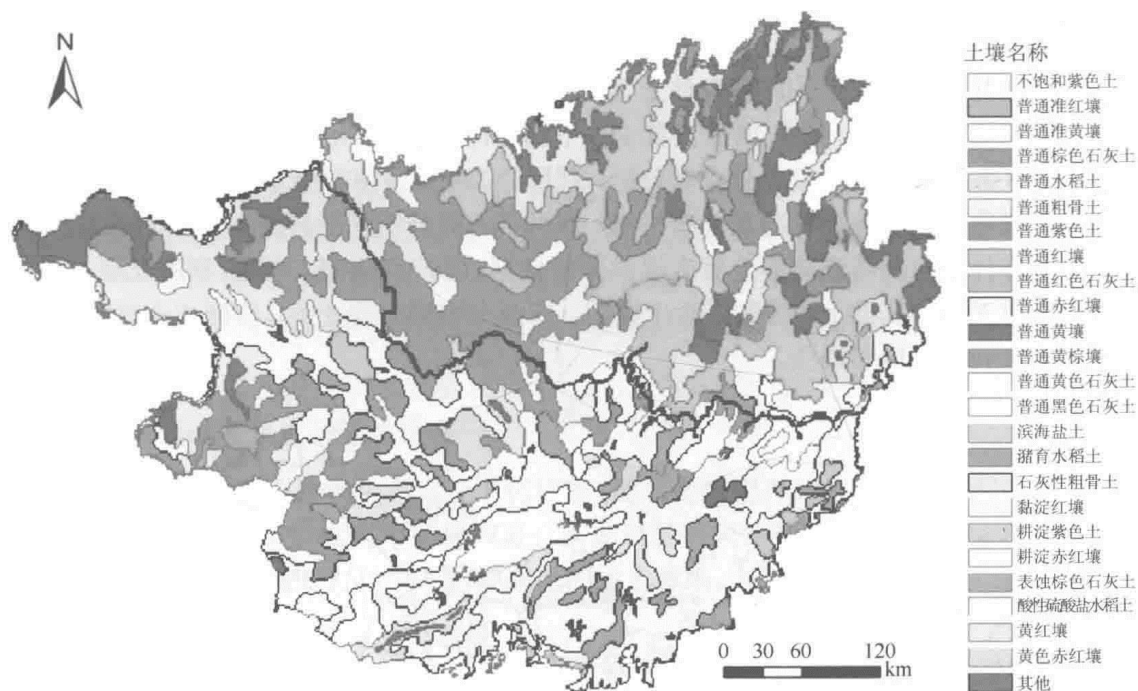


图 2-2 广西土壤类型分布图

2. 广西土壤分布(系统分类)

为了全面了解广西土壤分布(系统分类)状况,作者利用 1:50 万广西土壤分布(系统分类)图(图 2-3)进行类型参比然后进行类型转化。土壤发生分类向中国土壤系统分类转化工作主要基于中国土壤分区,然后分类型区分别进行转化。广西土壤分区处于富铝土区域的砖红壤带、赤红壤带、红壤及黄壤带,包含 7 个土壤区,分别是琼北雷州半岛砖红壤水稻土区、华南低山丘陵赤红壤水稻土区、文山德保石灰土赤红壤区、江南山地红壤黄壤水稻土区、桂中黔南石灰土红壤区、云南高原红壤水稻土区、四川盆地周边山区及贵州高原黄壤石灰土水稻土区。其中,桂中黔南石灰土红壤区占 44.1%,华南低山丘陵赤红壤水稻土区占 38.1%,文山德保石灰土赤红壤区占 7.4%,其他类型区分布面积较少。

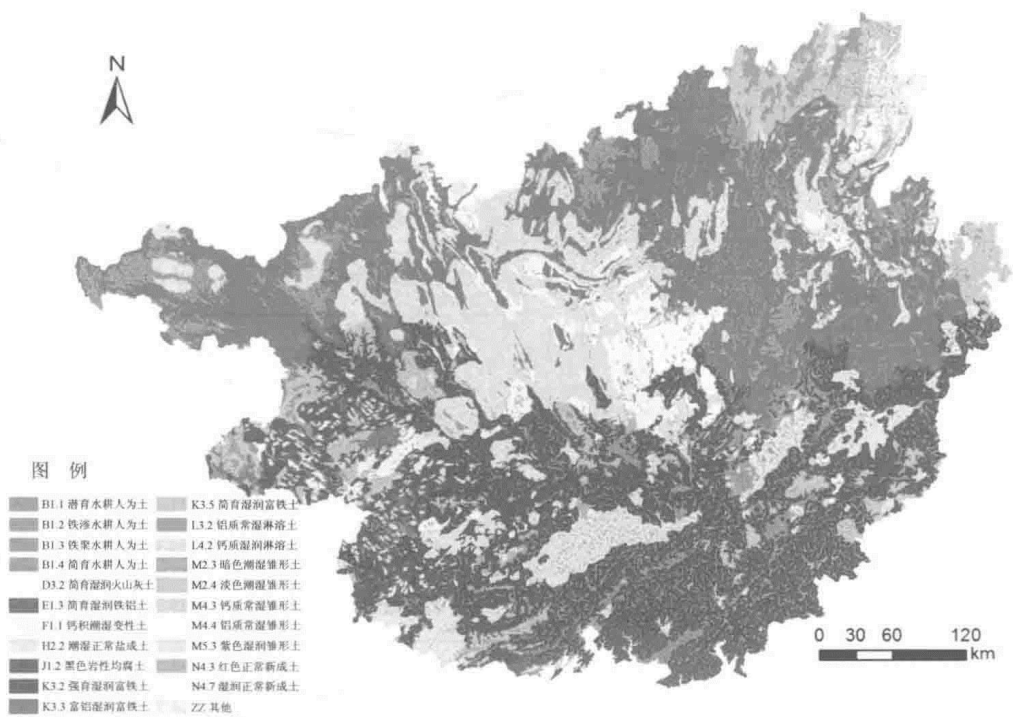


图 2-3 广西土壤分布（系统分类）图

两种系统之间的转化方法是以《中国土壤》（1987 版）的中国土壤分区为基础，针对不同分区中发生分类主要的土类，参照文献（陈志诚等，2004）的对照表进行转化，成为系统分类的土类。由于亚类对应比较复杂，没有进行类型之间的参比。

由图 2-3 和表 2-1 可见，广西土壤面积占总面积 97%，而土壤中富铁土占广西一半以上的面积，淋溶土其次，占近 1/5，人为土则占 11%，居于第 3 位。

表 2-1 不同类型土壤面积统计表

编号	土纲	亚纲	土类名称	代码	总面积/%
0	人为土 (11.35%)	水耕人为土 (11.35%)	潜育水耕人为土	B1.1	0.23
1			铁渗水耕人为土	B1.2	0.37
2			铁聚水耕人为土	B1.3	10.14
3			筒育水耕人为土	B1.4	0.61
4	火山灰土 (0.01%)	湿润火山灰土 (0.01%)	筒育湿润火山灰土	D3.2	0.01
5	铁铝土 (1.38%)	湿润铁铝土 (1.38%)	筒育湿润铁铝土	E1.3	1.38
6	变性土 (0.01%)	潮湿变性土 (0.01%)	钙积潮湿变性土	F1.1	0.01
7	盐成土 (0.06%)	正常盐成土 (0.06%)	潮湿正常盐成土	H2.2	0.06
8	均腐土 (3.62%)	岩性均腐土 (3.62%)	黑色岩性均腐土	J1.2	3.62

续表

编号	土纲	亚纲	土类名称	代码	总面积/%
9	富铁土 (52.12%)	湿润富铁土 (52.12%)	强育湿润富铁土	K3.2	21.66
10			富铝湿润富铁土	K3.3	24.12
11			简育湿润富铁土	K3.5	6.33
12	淋溶土 (18.16%)	常湿淋溶土 (5.59%)	铝质常湿淋溶土	L3.2	5.59
13		湿润淋溶土 (12.57%)	钙质湿润淋溶土	L4.2	12.57
14		潮湿雏形土 (0.22%)	暗色潮湿雏形土	M2.3	0.07
15	雏形土 (5.63%)	常湿雏形土 (0.62%)	淡色潮湿雏形土	M2.4	0.15
16			钙质常湿雏形土	M4.3	0.00
17			铝质常湿雏形土	M4.4	0.62
18		湿润雏形土 (4.79%)	紫色湿润雏形土	M5.3	4.79
19	新成土 (4.63%)	正常新成土 (4.63%)	红色正常新成土	N4.3	0.31
20			湿润正常新成土	N4.7	4.32
21			其他	ZZ	3.03

2.3 广西植被覆盖及生态功能演变

1. 广西典型区植被覆盖及其变化特征

以广西中南部柳州、南宁、钦州等为典型区进行研究。由 MODIS 250m NDVI 数据 12 年 NDVI 最大值的平均值分布图（图 2-4）可以看出，在柳州、南宁等城镇、南部沿海（钦州、合浦）地区 NDVI 最大值较小，NDVI 最大值小于 0.7；在城镇周边以及海拔较低的地区 NDVI 最大值一般在 0.7~0.85；在大明山、四方岭以及六万大山附近 NDVI 最大值较高，部分地区 NDVI 值为 0.9 以上，基本达到饱和。

对研究区 1981~2011 年 AVHRR 及 MODIS 最大 NDVI 的平均值进行统计分析。由图 2-5 可以看出，两种数据源的年 NDVI 最大值相差在 0.2 左右，这主要是由于传感器的不同所引起的。近 30 年来两种 NDVI 数据变化均呈现缓慢上升趋势，且两者变化趋势总体上一致。进一步说明了基于年最大 NDVI 值进行趋势分析的可靠性。

MODIS NDVI 和 AVHRR NDVI 变化趋势基本相同，再对 2000~2011 年的时间序列 NDVI 变化特征进行分析列举。从 NDVI 变化标准差（SD）分布图 [图 2-6（a）] 可以看出，南宁、合浦、邕宁以及钦州地区的 NDVI 变化标准差较大，说明该区域上随时间的变化其 NDVI 最大值变异程度较大；近 12 年来，在土地利用类型为建筑用地、耕地、河流湖泊的区域以及南部沿海地区的 NDVI 变化标准差较大（SD>0.05），约占研究区总面积的 35.78%（表 2-2）；土地利用类型为林草地的 NDVI 变化标准差相对来说较小（SD≤0.05），约占研究区总面积的 64.22%。

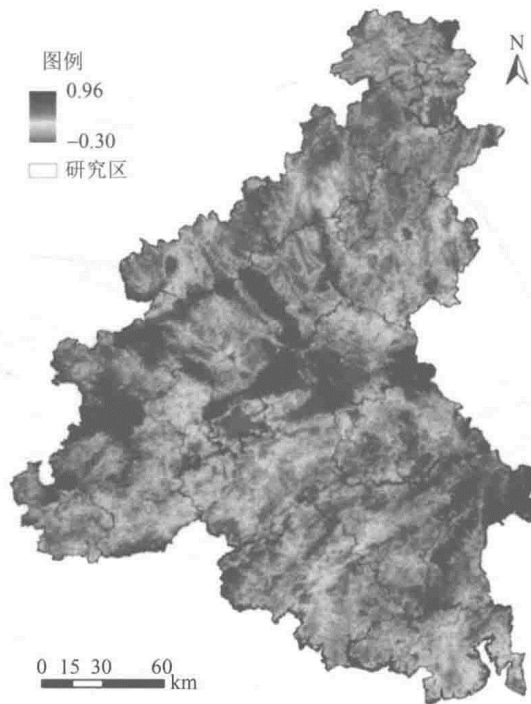


图 2-4 2000~2011 年 NDVI 最大值的平均值分布图

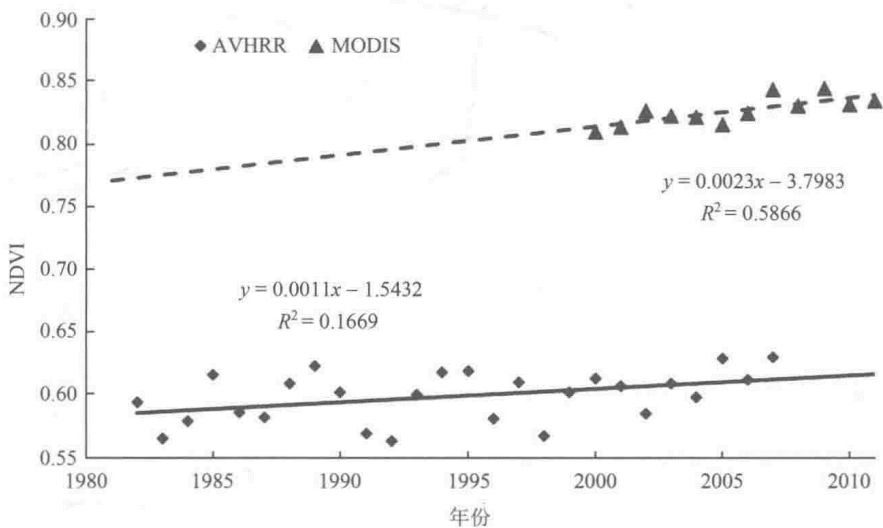


图 2-5 1981~2011 年研究区平均 NDVI 变化趋势

由 NDVI 变化趋势分布图 [图 2-6 (b)] 可以看出, 崇左、扶绥、邕宁、钦州、合浦、浦北以及灵山南部等地区大部分区域 NDVI 变化呈缓慢上升趋势, 而在横县、柳州、柳城、柳江等地区部分区域 NDVI 变化呈现缓慢下降趋势。

对 NDVI 变化趋势进行分级。由 NDVI 变化趋势统计表 (表 2-2) 可以看出, 研究区内较多县市呈现缓慢上升趋势 ($\theta_{\text{trend_NDVI}} \geq 0.01$), 约占研究区面积的 28.04%; 呈现缓慢下降趋势的比例较小 ($\theta_{\text{trend_NDVI}} \leq -0.01$), 约占研究区面积的 5.39%; 研究区大部分区域 NDVI 基本保持不变 ($-0.01 \sim 0.01$), 占全区总面积的 66.57%。