

# 岩溶峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究

蒋忠诚<sup>1)</sup>, 李先琨<sup>2)</sup>, 曾馥平<sup>3)</sup>, 邱泗杰<sup>4)</sup>, 邓 艳<sup>1)</sup>,  
罗为群<sup>1)</sup>, 覃小群<sup>1)</sup>, 谢运球<sup>1)</sup>, 蓝芙宁<sup>1)</sup>

1)中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 2)中国科学院广西植物研究所, 广西 桂林 541006;  
3)中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125; 4)广西山区综合技术开发中心, 广西 南宁 530012

**摘 要:** 2008年, 在广西平果果化、马山弄拉、环江古周等典型峰丛山地示范区, 实施了土地整理, 开发表层岩溶泉5个, 兴建调蓄水资源水柜3000多方。采用生物覆盖技术延长了土壤保水期。通过育苗20余万株、采种直播200 kg, 人工诱导使育林面积达400 hm<sup>2</sup>, 引进20种牧草种植面积200多亩。构建了果-草-养殖-沼、粮-草-养殖-沼、林-草-养殖、林-粮-养殖等复合模式。形成了火龙果、金银花、苦丁茶、木豆、黄皮、种草养牛等新生态产业, 完善了不同环境峰丛洼地的生态重建模式与配套技术。农民年收入增加20%以上, 石漠化得到了有效治理。加强了生态环境监测, 在岩溶环境与土壤质量变化、水土流失过程、生态系统水分运移与利用、岩溶生态系统脆弱性评价与生态重建服务功能评价等方面取得显著进展, 发表论文30多篇, 培养研究生12人。

**关键词:** 岩溶峰丛山地; 石漠化; 综合治理; 生态重建

中图分类号: S273.4; P642.25 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)02-155-12

## Study of Fragile Ecosystem Reconstruction Technology in the Karst Peak-cluster Mountain

JIANG Zhong-cheng<sup>1)</sup>, LI Xian-kun<sup>2)</sup>, ZENG Fu-ping<sup>3)</sup>, QIU Si-jie<sup>4)</sup>, DENG Yan<sup>1)</sup>,  
LUO Wei-qun<sup>1)</sup>, QIN Xiao-qun<sup>1)</sup>, XIE Yun-qiu<sup>1)</sup>, LAN Fu-ning<sup>1)</sup>

1) Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China;

2) Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi 541006, China;

3) Institute of Subtropical Agriculture Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China;

4) Guangxi Technical Center of Integrates Exploitation of Mountains, Nanning, Guangxi 530012, China

**Abstract:** The land arrangement of over 1500 hm<sup>2</sup> karst peak-cluster demonstration area in Guohua of Pingguo, Nongla of Mashan and Guzhou of Huanjiang, Guangxi, was completed. Lots of techniques and methods were studied and put into practice in 2008, such as land consolidation, exploitation of five epikarst springs, construction of more than 3000 m<sup>3</sup> water tanks and utilization of biological mulching technology to extend the soil water retaining phase. Meanwhile, more than 400 hm<sup>2</sup> forests were cultivated on the basis of collection and direct sowing of 200 kg seeds and artificial induction, and a plant area of more than 200 mu was cultivated by introducing 20 kinds of forage species. With these techniques and methods, some good results were achieved. A new ecological industry was formed, many economic crops like *Hyloceseus*, *Lonicera japonica*, *Ilex Latifolia* Thunb, pigeon pea, *Clausena lansium* and grass were planted for breeding cattle. As a result, the ecological rehabilitation model and matching technology have been perfected in peak-cluster depressions under different conditions, the annual mean income of local people has increased by 20%, rocky desertification has been controlled and eco-environmental monitoring has been strengthened. Significant progress has been made in quite a few research aspects, such as the change of karst environment and soil quality, the process of soil and water loss, the utilization and movement of

本文由国家科技支撑计划课题“喀斯特峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究”(编号: 2006BAC01A10)资助。

收稿日期: 2009-03-05; 改回日期: 2009-04-06。

第一作者简介: 蒋忠诚, 男, 1962年生。研究员, 博士生导师。主要研究方向为岩溶生态。通讯地址: 541004, 广西桂林七星路50号。

电话: 0773-5810558。E-mail: zhjiang@mail.karst.ac.cn。

water in the ecosystem, and the vulnerability and ecological service function evaluation of the karst ecosystem. In addition, more than 30 papers have been published and 12 postgraduates have been trained.

**Key words:** karst peak-cluster mountain; rocky desertification; comprehensive improvement; ecological reconstruction

我国西南岩溶地区的石漠化综合治理已列入国家发展目标(蒋忠诚等, 2008a)。岩溶峰丛山区是石漠化治理的重点地区, 我国岩溶峰丛山区面积 12.5 万  $\text{km}^2$ , 以广西面积最大, 约 5 万  $\text{km}^2$ 。

广西岩溶峰丛山区不但岩溶地貌典型、石漠化严重、生态环境问题十分突出, 而且居民非常贫困。为解决峰丛山区的脆弱生态问题, 有关部门和科研单位在“九五”、“十五”期间开展了多项有益的探索和研究(蒋忠诚等, 2008b)。特别是“十五”期间, 国家先后以“中国热带、亚热带岩溶地区生态重建技术开发与示范”、“中国西部重点脆弱生态区综合治理技术与示范——喀斯特(岩溶)峰丛洼地生态重建技术与示范”等项目下达实施广西岩溶区的综合治理, 峰丛山地一直是重点地区, 并取得了初步进展。然而, 受条件、经费和时间的限制, 很多研究技术与示范的效果还不明显, 难以在整个峰丛山区推广。特别是, 对于岩溶区比较深层次的生态问题, 如有限水土资源的高效合理利用、岩溶区植物群落的顺向演替、农林牧复合生态系统的构建、岩溶生态系统安全评价体系等方面还缺乏研究, 不同岩溶环境的生态重建的理论、技术体系与模式尚未形成。为此, 科技部于 2006 年进一步设立国家“十一五”科技支撑计划课题“喀斯特峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究”, 以进一步开展峰丛山区石漠化等生态环境问题治理的技术研究与示范工作。本文即以该领域的前期工作和本项目的研究为基础, 重点介绍 2008 年取得的重要进展和成果, 以为我国西南岩溶地区的石漠化治理、区域经济发展和生态环境建设与保护提供技术支撑和科学依据。

## 1 项目研究目标及 2008 年研究进展概述

该项目针对我国西南喀斯特峰丛山地生态系统退化、石漠化、居民贫困等严重问题, 在“十五”期间及其以前工作的基础上, 以广西典型峰丛山地平果县果化、环江县古周和马山县弄拉三个生态重建示范区为研究基地, 进一步开展岩溶峰丛山地生态系统综合整治技术与示范工作。通过集成推广先进技术、优化模式, 开发构建岩溶水有效利用、森林植被恢复和石漠化防治的技术体系, 研究喀斯特峰丛山地可持续发展的资源、经济与环境的合理配置模式, 构建喀斯特峰丛山地脆弱生态系统安全评

价体系、恢复与重建的方法论和技术支撑体系。通过开展试验示范工作, 取得了显著的生态、经济与社会效益, 为西南喀斯特峰丛山地脆弱生态系统的综合整治提供科学依据和成功样板。

2008 年, 取得的突出进展主要有: 建立与完善了平果果化、马山弄拉、环江古周示范区(图 1), 总面积 1500 多公顷。在土地整理的基础上, 新开发表层岩溶泉 5 个, 兴建调蓄水资源的地下水柜 3000 多  $\text{m}^3$ 。采用生物覆盖土壤保水技术可延长灌溉土壤的保水期 7 - 10 天。通过育苗 20 余万株、采种直播 200 kg, 人工诱导使示范区封山育林面积达 400  $\text{hm}^2$ 。已经开展了 20 种牧草的引进, 种植面积 200 多亩。构建了果-草-养殖-沼、粮-草-养殖-沼、林-草-养殖、林-粮-养殖等复合模式。示范区形成了火龙果、金银花、苦丁茶、木豆、黄皮、种草养牛等新的生态产业, 农民年收入增加 20%以上, 石漠化得到有效治理。同时, 在 5000  $\text{m}^2$  样地生态环境综合指标监测的基础上, 开展了生态重建活动导致的岩溶环境变化的深入研究, 建立了岩溶生态信息系统, 从生态服务角度建立了生态系统评价模型与评价指标体系, 对各岩溶区的脆弱性进行了初步评价(吴孔运等, 2008a)。

## 2 岩溶峰丛山地生态重建模式构建取得突破进展

### 2.1 马山弄拉单个峰丛洼地立体生态农业模式

既考虑地貌结构, 又考虑生态与农业经济的发展, 还要保持水土和涵养水源, 因此, 在弄拉示范区建立了立体生态农业模式(图 2), 即根据峰丛山区地貌结构和不同地貌部位生态环境的特殊性, 在峰丛洼地不同地貌部位发展不同的植被或作物。具体说来, 就是: 在陡峭山峰地段, 长期封山育林, 重点发展水源林, 涵养表层岩溶水; 比较陡的山坡, 主要发展金银花、木豆、竹林等水土保持能力强的植物; 峰丛垭口、山麓、平缓的山坡重点发展优质果树和经济林, 间种药材; 洼地底部作为主要耕地, 发展高效旱作粮食作物或经济作物。弄拉示范区核心区面积 100 公顷, 辐射区面积 500 公顷。

### 2.2 平果果化岩溶峰丛洼地复合型立体生态农业模式

结合果化为复合型峰丛洼地的特点, 建立了适

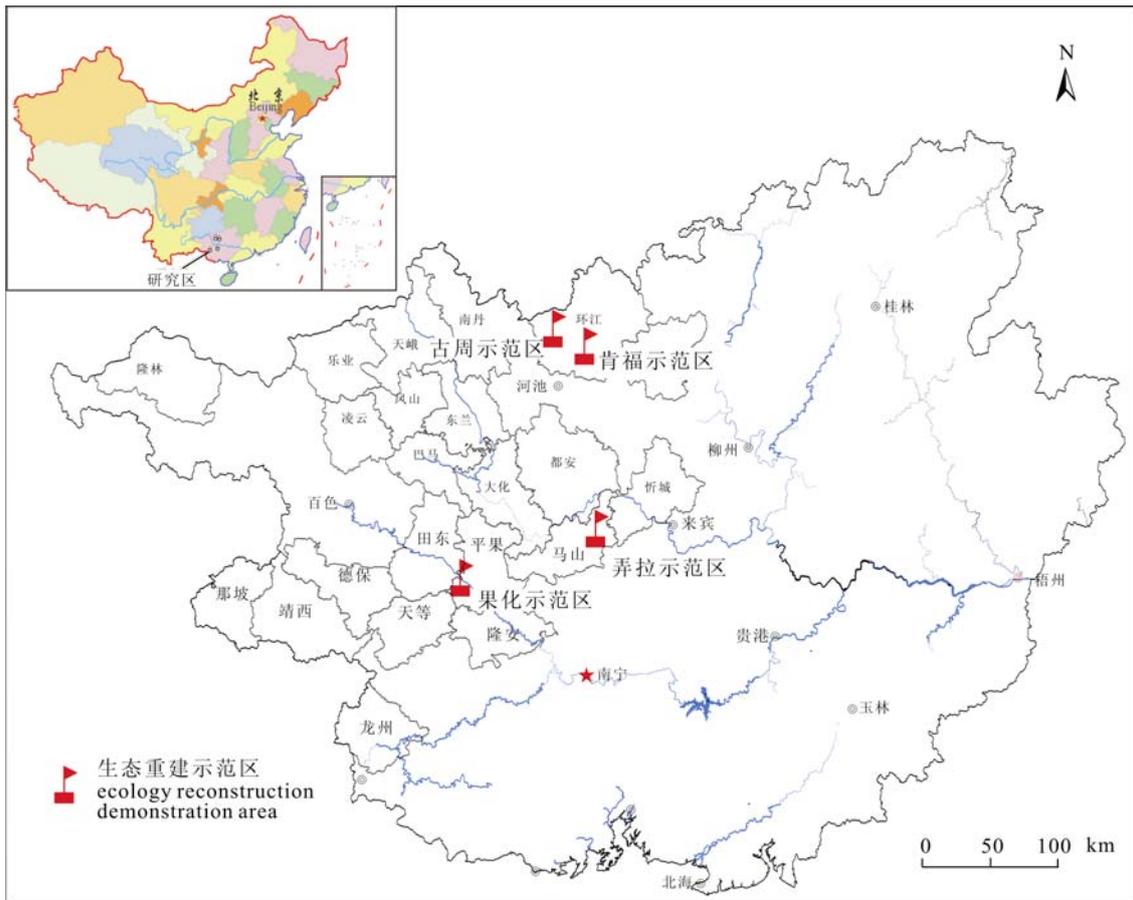


图 1 广西岩溶峰丛洼地生态重建示范区位置图

Fig. 1 Location of the karst peak-cluster depression demonstration area for reconstruction in Guangxi

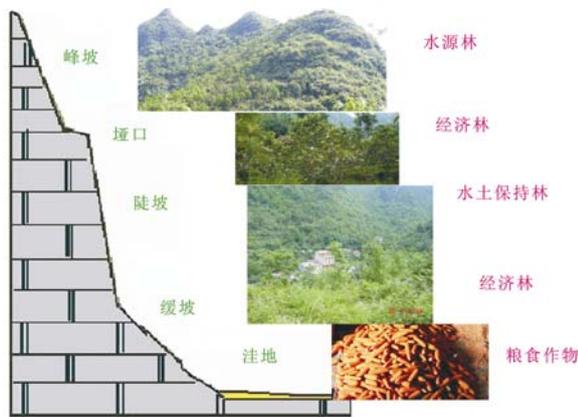


图 2 弄拉单个峰丛洼地立体生态农业模式

Fig. 2 Stereo-ecological agriculture model for the single peak cluster-depression system in Nongla

合地貌单元结构多样的复合型立体生态农业模式，即在弄拉立体生态农业模式的基础上又叠加多种农林牧复合模式(图 3)；同时，根据地下水埋藏浅的特点，除了开发表层岩溶泉水外(劳文科等，2008b)，还注重洼地底部的岩溶水开发工作。果化示范区核心区面积 700 公顷，辐射区面积 1000 公顷。

在果化示范区和弄拉示范区，根据具体环境条

件，构建了具体的产业结构模式组合(吴孔运等，2008b)，并对示范区进行了辐射，包括：峰丛山地果-草-畜-沼复合嵌合型模式；峰丛山地粮-草-畜-沼循环生态型模式；峰丛山地坡地林-草-畜立体生态循环模式；峰丛山地林-粮-禽复合生态模式；峰丛山地果-药立体生态模式；峰丛山地破碎地块果-菜(野菜)立体生态模式。进一步筛选和引进适宜的优质植物品种，改进各种模式的经营管理措施，探索了林(果)草(牧)农(粮)立体开发、林下种草和水稻与牧草轮种的土地综合利用模式，形成农、林、果复合经营模式。

### 2.3 环江峰丛山区异地生态移民模式

广西环江县的岩溶峰丛山区，位于广西与贵州交界处，不但生态环境脆弱，环境容量和人口承载力非常有限，而且人口密度大，交通非常不便。而本县内又有一些人口密度相对较低的碎屑岩区丘陵荒地有待开发。为此，有必要进行生态移民：根据岩溶峰丛山区的人口承载力确定移民人口数量→移民到新开发区→移民到新开发区的产业开发与环境保护→部分移民后的岩溶峰丛山区进行土地利用结构调整。自 1996 年 9 月开始，至 2008 年，将 400 多

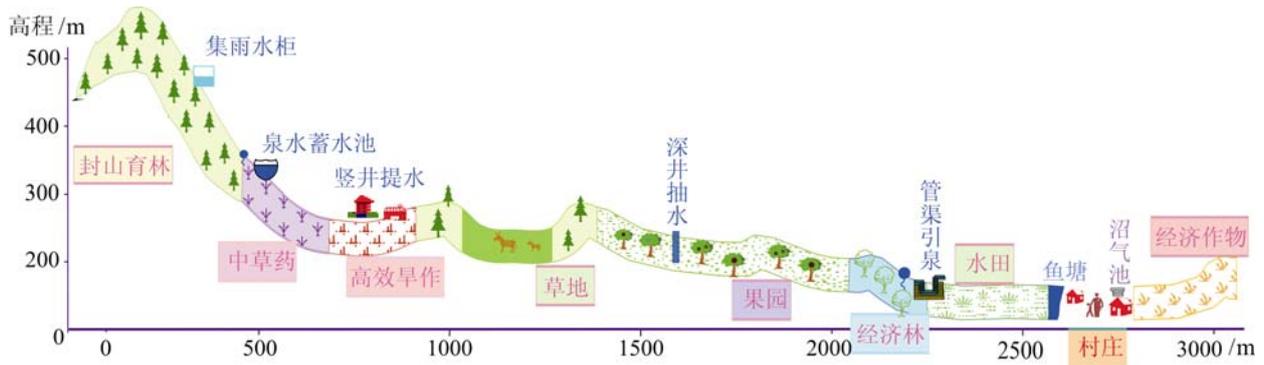


图3 平果果化岩溶峰丛洼地复合型立体生态农业模式

Fig. 3 Composite three-dimensional eco-agricultural model for karst peak-cluster depression in Guohua, Pingguo

来自古周峰丛山区的特困人口迁入面积为 267 hm<sup>2</sup> 的肯福试验区及其辐射区。环江示范区核心区面积 900 公顷, 辐射区面积 2000 公顷。

移民后喀斯特峰丛山地植被更新策略: 立地条件优越地方为草丛 常绿落叶阔叶林 顶级群落; 立地条件较好的地方为草丛 灌丛 常绿落叶阔叶林 顶级群落; 立地条件较差的地方为草丛 草灌丛 灌丛 常绿落叶阔叶林 顶级群落; 出现石漠化景观的地方为石漠化 草丛 草灌丛 灌丛 灌乔木 常绿落叶阔叶林 顶级群落。

喀斯特峰丛山地脆弱生态系统移民后植被恢复与重建模式: 石山移民区生态保护性重建模式“环境移民+劳务输出+养殖+沼气+种植”; 土山丘陵开放区应采取双三重螺旋生态重建模式。

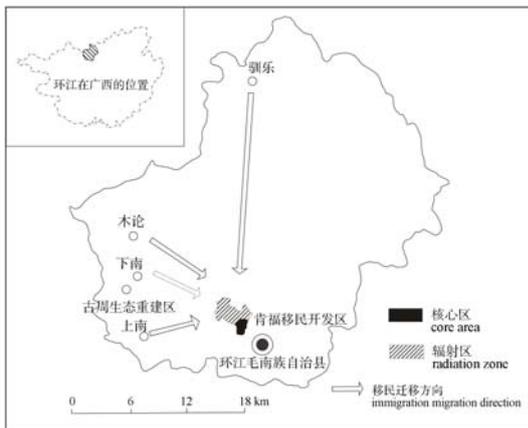


图4 广西环江峰丛山区异地生态移民模式

Fig. 4 Ecological immigration model for karst peak-cluster depression in Huangjiang

### 3 岩溶峰丛山地脆弱生态系统生态重建技术研究进展

3.1 培育岩溶区名特优植物新品种及栽培管理技术 根据不同的岩溶地质特点, 进一步开发了特色

经济作物新品种, 如金银花、苦丁茶、花椒、木豆、无核黄皮、大果枇杷、早熟桃、日本板栗、南方优质梨、火龙果、澳洲坚果、牛心李、苏木、岩黄连等, 通过栽培试验与技术示范, 进一步探索了植物的地质适宜性, 形成了特色经济作物的栽培与管理技术。

示范区栽培的药用植物主要有金银花、苏木、苦丁茶、青天葵和板蓝根等, 与果树相比, 药用植物的栽培技术较为容易掌握, 药用植物生长期较短, 见效快, 除苏木外其他种类均可当年栽种, 当年收获。2008 年在马山弄拉示范区尝试进行石山区特色野生蔬菜(赤苍藤、土党参、青天葵)开发技术研究, 赤苍藤为多年生木质藤本植物, 在石山地区生长好, 覆盖面积大, 宜于用作石漠化和水土流失治理, 其嫩芽商品名为龙须菜, 初步试验取得极佳的效果。此外, 还探索利用广西岩溶山区野生分布的量天尺嫁接火龙果技术, 进行火龙果无土栽培技术研究, 在岩溶破碎地块进行桃子的高密度种植技术等试验。

在石漠化区域植被恢复过程中, 推广种植适应岩溶山地同时含油量较高、可用于生物柴油产业的木本能源植物茶条木、东京桐、蝴蝶果和蒜头果等的乡土型常绿速生先锋树种, 这些种类具备较强的耐旱耐瘠和抗病虫害等能力, 速生性亦较为明显, 表现出对石漠化山区良好的适应性, 而且对其今后作为能源植物开发利用亦有十分重要的意义。

结合石漠化区域的植被恢复, 开展了小规模的特种珍贵用材——降香黄檀(又名花梨木、黄花梨)的种植与适应性试验, 2007 年 4 月在马山弄拉示范区引进降香黄檀扦插苗和实生苗各 1000 株进行种植试验, 至 2008 年 9 月, 扦插苗平均树高达 2.3 m, 平均胸径达 1.1 cm; 实生苗平均树高达 1.8 m, 平均胸径达 1.0 cm, 生长速度相对较快, 且在 2008 年初

的连续低温冰冻灾害环境中, 没有受到严重影响, 表现出较强的适应性和速生性, 经过进一步试验监测, 拟向相似地区推广种植。

### 3.2 岩溶峰丛洼地特殊的水土流失过程和水土保持技术及土壤改良技术研究

#### 3.2.1 岩溶峰丛洼地特殊的水土流失过程和水土保持技术

以果化示范区龙何上洼地系统为单元, 通过对不同地貌部位土壤分布、土壤侵蚀和地表径流泥沙的动态监测, 分析了不同地貌部位土壤分布及土壤侵蚀特点, 着重探讨了岩溶峰丛山区不同地貌部位的土壤侵蚀强度、地表地下土壤侵蚀强度、水土流失的主要方式、地表地下土壤侵蚀的相对贡献率等特点(罗为群等, 2008a)。首次揭示了岩溶峰丛山区水土流失以向地下过程为主, 发现岩溶峰丛洼地各个部位向地下流失的土壤均大于总流失量的 80%; 岩溶峰丛山地土壤分布及土壤侵蚀与地貌部位存在密切的关系, 土壤侵蚀强度、土壤侵蚀潜在危险级、地表地下土壤侵蚀的主要方式和地表地下土壤侵蚀的相对贡献率随地貌部位而呈规律性的差异变化; 人为活动震动了岩溶“石筛”, 破坏了土壤剖面结构和物理性质, 使地表、地下土壤侵蚀增强。

为了抢救岩溶峰丛山区的水土资源, 在平果果化, 主要针对严重石漠化和水土流失问题, 研究地下及落水洞水土流失防治和相应的水土保持生物技术和工程技术。通过开展详细的植物种质资源调查, 筛选出 6 种水保植物, 并进行培育。针对不同的环境类型区实施植物篱、草被、保土耕作、坡改梯、截水沟、蓄水池、沉沙系统等水土保持生物措施和工程措施。研究开发了岩溶峰丛山地不同类型植物篱水土保持技术, 包括: 牧草篱、豆科灌木篱、药材篱、草灌复合植物篱、果草隔坡式带状植物篱、经济林木篱; 旱坡耕地水土保持耕作技术, 包括等高种植、水平沟种植、地膜覆盖、间种、轮作等; 峰坡和洼地小型水保工程建设技术, 包括坡改梯地、拦蓄水系统、沉沙系统等。在马山弄拉, 主要针对洼地内涝严重等问题研究相应的洼地内涝治理的小型水保工程技术。在弄拉洼地, 开展了洼地的物探调查, 以此为基础制订了洼地排涝工程方案。环江古周洼地底部发展避涝作物。主要作物包括早熟玉米和冬季马铃薯, 成功地避开了内涝灾害。栽培桂牧 1 号等高产优质牧草, 成功抗短期内涝。

#### 3.2.2 峰丛洼地土壤改良技术研究

通过对岩溶峰丛山地土壤资源特征及存在问题

的详细分析, 提出了依据岩溶动力系统原理改良石灰土壤的总体思路: a. 改善生态环境, 提高植被覆盖度, 增加土壤呼吸产生  $\text{CO}_2$  量, 涵养水源, 提高旱季土壤含水量, 促进岩溶溶蚀过程; b. 增加土壤中腐殖质及有机物质含量, 调节土壤 C/N 比例, 促进土壤微生物活动, 利用有机物腐化产生的腐殖酸、有机酸和微生物活动产生的  $\text{CO}_2$ , 促进岩溶作用正向运动(罗为群等, 2008b); c. 混合种植绿肥, 利用多种绿肥作物在生长过程中的分泌物和翻压后产生的有机酸促进岩溶作用正向运动(罗为群等, 2008c)。并在三个示范区, 进行了土壤改良分区, 提出岩溶峰丛山地土壤改良分区的原则, 将果化示范区划分为荒地裸岩区、石穴地、坡耕地、梯形地、洼地底平地五个土壤改良区, 从保水土、增土厚、增土肥、和改善土壤环境四方面来考虑进行土壤改良试验, 实施种植绿肥、秸秆还土、亚法糖厂滤泥、客土改良土壤等对试验, 取得了良好的生态经济效益, 系统总结出的一套适宜岩溶峰丛山地特点的石灰土壤改良的技术方法和改良步骤。

#### 3.3 深入研究了生态恢复过程中生态环境与土壤质量的变化

在三个示范区设立了 6 个典型土壤剖面, 对土壤水分、营养元素、物理性质等进行动态监测(邓艳等, 2008)。开展了喀斯特峰丛洼地景观单元土壤有机碳和氮素分布特征研究, 通过采集典型景观单元土壤剖面样品, 进行了系统的分析研究, 揭示了峰丛洼地景观单元土壤有机碳和氮素分布特征(He et al, 2008)。结果表明(Zhang et al, 2008), 地形、人类活动和土层厚度等因子影响表层土壤有机碳和全氮含量, 其中地形和人类活动是关键影响因子。植被类型影响土壤有机碳和全氮的剖面分布, 土壤全氮与有机碳有高度依存性, 退耕还林(草)增加土壤有机碳和氮储量(杨刚等, 2008)。在人类活动区的峰丛洼地, 土壤各养分在坡地的含量高于洼地, 而且 SOC、TN、AN 等养分具有随着海拔高度增加而增大的特征(张伟等, 2008)。

#### 3.4 水分利用研究

主要涉及到峰丛洼地土壤水分时空动态与典型植物水分生理研究。监测结果表明, 土壤储水量具有明显的季节变化特征, 旱季储水量的波动较雨季更显著, 剖面土壤储水动态及其与降水序列的相关关系显示退耕还草后能延缓降雨入渗和地面蒸发, 有助于退化生态系统的土壤水分保蓄和植被恢复(Deng et al, 2008)。

对示范区 2001-2005 年的年内降水分布状况进行分析表明,水分成为制约作物生长的主要因子。首先对峰丛洼地不同干扰程度下的土壤水分进行分析,随着干扰强度的降低,系统由农作物( )→人工林( )→次生林( )→原生林( )顺向演替,土壤水分显著提高;干扰通过植被对土壤水分的空间变异及分布发挥了关键的调控作用,降低干扰是喀斯特峰丛洼地脆弱生态系统水资源改善、合理利用及生态恢复重建的重要举措。

8 月份进行控水试验表明,火龙果地表层土的含水量经过 7 天就由原来的饱和含水量降到 20%,而下层则要经过 25 天才会降到 20%,说明火龙果生长的土壤含水量变化主要在表层。结合火龙果抗旱的气孔特征以及火龙果为景天科植物的固有生物学特点分析,可以认为,火龙果的气孔白天关闭、阻挡组织水分的散失,而晚上开启时空气的水汽压亏缺比较小,水分散失比较小,但气孔仍能吸收较多的 CO<sub>2</sub> 进行光合作用。

对示范区内的任豆、苦丁茶和金银花的有关叶片光合、蒸腾等参数的日变化进行观测。三种植物的净光合速率均为双峰曲线,净光合效率。蒸腾速率方面,任豆和金银花为双峰曲线,而苦丁茶为单峰曲线。大小表现为金银花>任豆>苦丁茶,三者的这种光合、蒸腾特点与气孔的开放程度很一致。金银花是藤本植物,攀沿在岩石的表面,其叶温接近 43 仍然有较好的光合作用活力,蒸腾作用加强是植物适应石漠化高温环境的策略之一。

对岩溶区的青冈栎研究表明(张中峰等, 2008a; 张中峰等, 2008b),青冈栎的单树蒸腾因树型大小变化很大,但平均整树蒸腾趋势为夏秋大冬春小,与当地的气候因素关系密切。与其他干旱区的同属植物相比,同期整树蒸腾青冈栎均比同属树种大(莫凌等, 2008)。这说明干旱少土的岩溶地区并不是实际上的缺水,丰富的水分赋存在表层岩溶带中,而适生的岩溶植物的根系可以生长进入表层岩溶带吸水分,通过蒸腾拉力将水分带出地表,提高水资源的利用效率。

### 3.5 饲料植物引种试验取得了定量研究成果

通过对岩溶区主要灌草群落的地上生物量调查,以及对试验区的人工草地调查(黄玉清等, 2008),表明岩溶天然灌草地的地上生物量比较低,且毒、刺种类比较多,叶量比例很小。人工牧草群落的叶量比例高,适口性强。对桂牧 1 号、银合欢、任豆树和木豆 4 种当地牧草和引进筛选的适合南方岩溶区

生长的 6 个牧草品种的生长、产量、品质与饲养价值取得了一些定量研究结果(蓝芙宁等, 2008),通过开展各项测试分析表明,在峰丛山地区所种植的多种牧草其营养成分含量比较高,可从不同的角度满足牲畜的生长需要,只要饲喂时合理搭配,完全能满足牲畜的饱感及新陈代谢需要。

对喀斯特峰丛山区典型牧草性能进行研究。桂牧 1 号、银合欢、任豆树、木豆四种牧草中银合欢粗蛋白含量高达 30.06%,这种牧草被联合国粮农组织的饲料专家誉为干旱地区的“蛋白质库”,应作为氮源牧草在峰丛山地区种植推广。

南江黄羊对银合欢和桂牧 1 号为嗜食,对木豆为喜食,对任豆树为乐食,并且对 4 种牧草的日平均食量差别较大。黄牛对银合欢和桂牧 1 号为嗜食,对任豆树和木豆为乐食,对各种牧草日平均食量除了任豆树很小之外,其他的差别不是很大。肉兔对银合欢和桂牧 1 号为嗜食,对任豆树和木豆为喜食,对木豆为乐食,对各种牧草日平均食量的差别最大。适口性评价结果,银合欢、桂牧 1 号为优,任豆树和木豆为良或中等。

结果表明(肖润林等, 2008),桂牧 1 号、银合欢、任豆树和木豆 4 种牧草均耐旱,适应性强,适口性好,生长旺盛,分蘖再生能力强,产量高,营养丰富,补饲效果明显,并随栽培年限的延长,产量和营养成分含量均不同程度升高。因此,4 种栽培牧草的开发潜力大,是适宜在岩溶峰丛山区推广种植的优良牧草品种,人工草地系统的建立是岩溶区生态治理的主要途径之一。

### 3.6 峰丛山地示范区生态环境监测研究

根据封山育林区、人工诱导恢复区、人畜活动干扰区等不同土地利用与植被恢复方式,设置固定观测样方,示范区设置监测样地总面积达到 5000 m<sup>2</sup>。监测植物群落物种组成、高度、盖度、密度,地上生物量、年凋落物量,不同植被类型的小环境因子,土壤的理化特性,气象水文及水土流失等主要指标。将示范区及其外围各干扰区的群落结构的变化进行了对比(李先琨等, 2008a)。

农田生态系统长期定位监测:按照 CERN 站要求和标准,长期进行气象、水文、植物、生物、水土流失、土壤水分和养分等多个方面的监测,并建立与之相对应的各类监测场。

在示范基地的坡地和洼地分别建立了森林和农田小气候自动长期气象观测站,长期监测各种示范工程建设对示范区太阳辐射、地面反射、太阳净辐

射、紫外辐射、光照、降雨量、风向风速、空气温湿度、热通量及不同土壤层次水分和温度等气象因子的变化，并通过长期的数据积累建立相应的动态模型，了解示范区森林的小气候调节功能及对全球大气变化的响应。

在示范区主要人工林和天然次生林群落安装了凋落物收集器，并在木论自然保护区选择原生林群落作参照，长期监测各群落的养分归还动态，筛选“自肥”机制强的植物，为喀斯特峰丛山地适生性生态景观设计提供科学依据。

对示范区内表层岩溶泉以及所处的生态环境进行监测和调查(邓新辉等, 2008)。对已有岩溶研究与开发的 7 个岩溶泉，对泉域内含水空间(体积岩溶率)、泉域的规模、第四系覆盖层的厚度及地形地貌条件等因素进行了详细调查，进一步兴建或完善了监测设施，进行长期定点监测。

### 3.7 建立了岩溶峰丛山地脆弱生态系统评价指标体系和评价模型

根据生态环境变迁的因果关系，生态环境指标体系将遵循影响(Cause)-状态(State)-响应(result)框架构建，即 C-S-R 模型。由此划分出状态、影响、响应 3 类指标，构建了岩溶峰丛山地脆弱生态系统

评价指标体系(向悟生等, 2008)。对示范区的生态、经济和社会条件，进行了系统统计，建立了岩溶生态信息系统，从生态服务角度建立了脆弱岩溶生态系统及其服务功能评价的指标体系与评价模型，对典型生态系统及其价值进行了定量评价(彭晚霞等, 2008)。脆弱性评价结果表明，广西岩溶区生态极度、重度脆弱区面积分别占岩溶区总面积的 3%和 43%，主要发生纯碳酸盐岩、峰丛洼地地貌及旱涝灾害频繁复合地区。中度脆弱区面积占总面积的 44%。把地貌类型分布图与生态脆弱性分布图进行空间叠加分析，可以得到不同地貌类型区的脆弱区分布图如图 5 所示。

对广西平果果化示范区生态重建的涵养水源价值进行了初步评价(吴孔运等, 2008a)。针对岩溶区特殊的地质生态系统环境的特殊性推测出涵养水源的价值只包括土壤层。用影子工程法计算。示范区治理前涵养水源价值=示范区土壤水分平均值×示范区面积×土壤平均容重×土壤平均厚度×水价。治理前土壤层涵养水源价值为 2117890(元)。治理后土壤层涵养水源价值为 2756916(元)。治理后新增加的植被枯枝落叶层和表层岩溶带涵养水源价值为 1077132(元)。

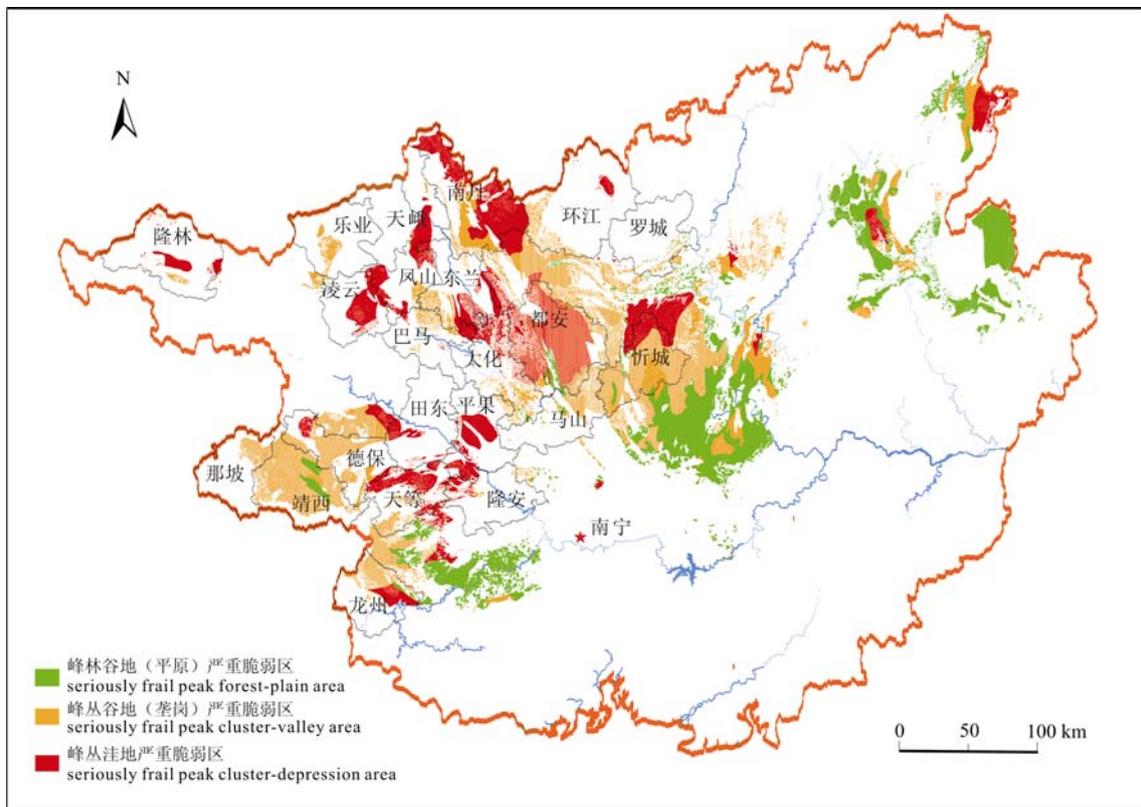


图 5 广西岩溶生态区脆弱性评价结果图  
Fig. 5 Results of vulnerability assessment in karst ecological area of Guangxi

#### 4 技术研发应用与示范进展

进一步建立与完善了平果果化、马山弄拉、环江古周示范区,总面积 1500 多公顷。主要示范工作包括:

##### 4.1 峰丛山地植被恢复诱导试验示范:

示范区封山育林面积达到 400  $\text{hm}^2$ ,采取人工诱导植被恢复试验面积 80  $\text{hm}^2$ ,其中直播造林和植苗造林分别占 60%和 40%。培育石漠化治理所需的阔叶树种(果树和其他树种)营养袋苗和裸根苗,包括 20 多个树种,2006 年度育苗 20 余万株,2007 年采种直播 200 kg。

针对喀斯特峰丛山地石漠化环境植被恢复的树种单一、生态系统还不稳定等问题,进一步开展植被恢复人工诱导综合技术研究(李先琨等, 2008b),具体内容包括:促进植被结构优化配置和人工林发展和更新,适宜环境的优势植物群落的构建,促进植物群落顺向演替的机制。

适生树种的选择试验始于 2002 年,在收集资料、野外调查以及已有研究成果等的基础上,结合龙何示范区山地的气候特点、立地类型和生态重建目标等,就地建立了面积达 1  $\text{hm}^2$ 的专用型苗圃,先后从广西各地收集了 40 多个性状各异、适应于岩溶山区种植的果树和生态经济树种进行适应性试验,至 2005 年底已育苗、定植或造林 18 多万株,初步筛选出适宜于该区种植的果树和适生树种近 20 种,包括火龙果、无核黄皮、澳洲坚果、番木瓜和桃子等果树,苏木、茶条木、石栗、任豆、广西顶果木、苹婆和狗骨木等生态经济型树种,大叶女贞、无患子、银合欢、海南蒲桃、青冈栎和假苹婆等水土保持树种。2006 年至 2008 年,龙何苗圃重点培育了火龙果、茶条木、大叶女贞、南酸枣、任豆和秋枫等树种的苗木,除满足龙何示范区生态重建所需苗木外,还向周边和其他地区推广应用 3 万多株。

在龙何示范区,根据其人为干扰程度、立地条件和植被类型等的分布格局的规律性,针对其大部分山地的中下部坡度较缓,人为干扰比较频繁和严重,植被自我恢复能力较差但立地条件相对较好的特点,多数地段进行人工造林;而中上部则坡度较陡,人为干扰较轻,采用植被自然恢复的方式更合理。因此,龙何示范区的植物群落的顺向演替诱导主要是在实施全面封育的基础上,根据不同地段现存植被和立地条件等具体情况,分别采取以下植苗或直播的方式,启动和促进其植被的正向恢复。

植苗造林:在峰丛山地的中下部,选择土壤条

件较好而可以进行人工造林的地段,如退耕地(抛荒地)、坡积土或石窝土较多的缓坡地进行植苗造林,并根据各个树种的基本生态特性选择造林地段并进行混合种植,以构建由多树种组成的乔木先锋群落。在以草本植物占优、植被覆盖度较低的地段,主要定植海南蒲桃、任豆、南酸枣、茶条木、楹树、狗骨木和银合欢等耐瘠耐旱能力强的乔木先锋树种,而在一些疏林地或灌木较为集中的地段,主要定植大叶女贞、肥牛树、青冈栎、蝴蝶果和樟叶槭等中性或阴性树种,2007-2008 年植苗造林 5 万多株,成活率达到 75%以上。

直播造林:直播造林主要以石隙土为主、坡度较大的中上坡,包括灌丛、草丛和乱石滩地等,以穴播方式直播乔木树种的种子,穴播深度 3-5cm,每穴 1-2 粒,其中植被覆盖度较高的灌丛地段主要点播蝴蝶果、青冈栎和蒜头果等,而裸地和植被较为稀疏的地段则主要点播南酸枣、狗骨木、苏木和木豆等,采用直播造林进行植被恢复,点播植株达到 20 万多株。

同时,在植被诱导恢复实验区根据示范区夏季水热条件比较优越、原生阳性灌草植物快速生长的特点,为避免恶性杂草等其他非目的种类的抑制,每年的 6-9 月开展人工抚育,对造林地进行小范围割除灌草和施放化肥等。

##### 4.2 农林牧复合生态产业技术应用示范

平果果化示范区火龙果扩大规模,培育苗木数万株,2008 年扩种火龙果 1.5  $\text{hm}^2$ ,示范户仅火龙果单项年收入达到 6000 元/户。采用切接等方法直接在野生状态下的量天尺上嫁接火龙果,嫁接成活率达到 70%以上(图 6)。与新西兰 ADAF 项目整合,开展种草养殖研究与示范,已经开展了 20 种牧草的引进,



图 6 果化示范区火龙果形成产业  
Fig. 6 Pita farm in the Guohua demonstration area

推广示范面积 150 亩。初步筛选出适合南方岩溶区生长的 6 个品种, 饲养了兔、羊、猪、牛等牲畜, 取得了较好的经济效益。引进隆林公羊改造当地羊品种, 杂交小羊比纯当地小羊生长速率提高一倍以上。环江示范区引进桂早一号大豆品种 100 亩, 及华玉 4 号、湘玉系列及花单等玉米新品种, 试种 50 亩, 在低洼地带开辟桑园 50 亩; 同时结合畜牧业的发展引进试种饲料作物及牧草 150 亩。举办 3 期培训班, 试种“鲁梅克斯”等优质牧草 20 亩, 舍饲改良肉牛 250 头。林草结合 100 亩。

#### 4.3 岩溶水资源开发与综合节水技术利用示范

在果化和弄拉示范区, 新开发表层岩溶泉 5 个, 通过生态建设和兴建调蓄水资源的山头水柜 3000 多方。示范区开发地下河及浅层岩溶水的方式主要是直接利用地下水天然露头, 其开采方式主要有引水型、提水型、提蓄引结合型、挖大口井与钻井型。对表层带岩溶水开发利用方式主要有引水型、蓄水型、复合蓄引型、截蓄引型、人工浅井型。

针对喀斯特峰丛山地脆弱生态环境水源漏失、干旱缺水问题难以根本解决现状, 进一步加大岩溶地下水的开发力度, 加强水资源的高效合理利用研究(劳文科等, 2008a)。具体包括: 岩溶地下水有效开发与调蓄工程技术, 岩溶水节水灌溉系统建设, 土壤保墒蓄水技术、植物生理节水技术开发与应用示范。

在平果果化示范区, 通过引进抗旱节水型植物新品种 10 种进行选育试验, 推广玉米、牧草、果树等品种 5 种, 面积约 10  $\text{hm}^2$ 。开展化学节水技术的试验研究, 针对岩溶土壤离子成分构成特点, 选用树脂型和淀粉接枝型保水剂分别进行盆栽和大田试验研究。进行火龙果抗旱生物学研究, 开展不同水分条件下其形态解剖结构、生理生化特征进行研究。在平果示范区, 采用生物覆盖土壤保水技术对夏秋火龙果进行应用示范, 保水效率好, 可延长灌溉 7 - 10 天。试验小区, 采用不同覆盖技术进行秋季牧草发芽和培壮试验, 探讨秋季(干旱但热量充足)的种草技术, 此项技术试验正在进行中。

#### 4.4 土地整理与水土保持技术应用示范

对三个示范区进行了土地测量和土地整理工程设计, 并由地方政府与居民合作实施了 50 亩土地整理试验。

##### 4.4.1 土地整理技术实施的主要内容

根据景观生态学的原理(张明阳等, 2008), 对峰丛洼地石山区进行微观景观设计整理, 主要内容包括(罗为群等, 2005): (1) 将村后风水林建成绝对保护的生物栖息地核心区; (2) 峰坡: 封山育林的同时, 注

重景观异质性的创造。人工配置多种树种, 营造常绿落叶阔叶混交林, 并在混交林下部, 种植灌丛林带, 形成林灌草立体群落结构。(3) 陡坡: 陡坡发展水土保持林, 以种植藤本植物为主, 同时沿等高线间种豆科类灌草带, 形成藤灌草复合生态系统。(4) 垭口: 垭口间种经济林木与牧草, 边界修建防护林, 以乡土种为主。在适当经济效益基础上, 尽量减少人类活动的影响, 利于景观斑块之间物种迁移, 促进生物多样性的发展, 减少农业病虫害等灾害的发生。(5) 缓坡: 水平方向上, 在修建多级水平截水沟的同时, 以沟埂作路。沟埂外侧种植豆科类饲料灌林防护带, 内侧种植豆科类灌草。沿坡面向下, 根据坡度大小、土被覆盖情况, 每隔 10-15 m 的距离, 选择土被覆盖相对较低、地块破碎、不宜耕种的地段, 沿等高线方向适当留出宽度 1-3 m 不等, 用作饲料灌木或者牧草防护缓冲带, 构成“绿色篱笆”。垂直方向上, 顺坡面排水沟或主输水管道种植藤本及豆科类乔灌草, 同时配置下山主要生产道路, 间隔一定距离, 修建联接垭口与洼地底的绿色乔灌林廊道。逐步形成沿等高线, 乔灌林与豆科类灌林相间, 环绕洼地立体多级多层次呈同心环带网络状景观廊道格局体系。(6) 洼地底: 在建设高效集约旱地同时, 营造格状多样化的防护林体系。分主副 2 种类型林带。主林带沿南北向, 栽植双行饲料灌木。副林带沿东西向, 主要栽植单行饲料灌木或牧草。各种林带联接闭合, 大林网套小林网。(7) 在有明显落水洞、竖井及天窗的洼地, 在落水洞、竖井及天窗周围设置林灌草缓冲区, 营造农田中稳定的景观斑块, 过滤汇入落水洞的地表径流, 并通过防护林廊道与其他景观斑块联接。

##### 4.4.2 土地整理技术与措施的主要应用范围

在实现土地生态系统可持续利用目标的前提下, 充分利用现有的水土资源和动植物资源, 紧紧围绕缺水少土、地块破碎、裸岩率高、旱涝灾害等关键问题, 开展土地整理。主要实施的范围包括(罗为群等, 2005): ①水利设施的建设; 在开发岩溶地下水资源的基础上, 结合防护林景观廊道的建设, 修建多级截水沟、蓄水池、沉沙池、排水沟; ②排涝工程建设: 一是完全封闭的洼地内涝, 主要是清理落水洞内的泥沙、碎石, 扩大落水洞口, 修建落水洞坊, 在洼地沿自然汇水沟修建排水沟直通落水洞, 进入落水洞前修建沉沙池; 二是一端有开口的洼地内涝。在清理落水洞, 修建排水沟和落水洞坊的同时, 修建连接洼地开口和落水洞的排水沟, 将大部分水排出洼地。③推广沼气池的建设和农村道路交

通工程建设。④土壤改良。⑤坡改梯及平整土地工程。根据规划需要修建旱作梯地、果木梯地、牧草梯地、经济作物梯地 4 种梯地形式, 梯埂以土石草埂为主, 梯埂外侧以灌草护坡。⑥生态农业建设。主要考虑间作技术、增加复种指数、节水灌溉措施。

4.4.3 岩溶峰丛山区土地整理效益分析

项目实施以来, 累积完成坡改梯和平整土地工程 8.21 hm<sup>2</sup>、土壤改良地约 3.2 hm<sup>2</sup>、村内废弃建筑用地复垦耕地 0.6 hm<sup>2</sup>, 新建沼气 110 个, 冬季种植绿肥 5 hm<sup>2</sup>, 果树与牧草套种、果树与粮食作物套种、经济林与牧草、经济林与经济作物等套种 20 hm<sup>2</sup>。整修公路 4 km, 改造田间道路 2 km, 建造果树、种苗田间栅栏 3 km。土地整理后增加有效耕地面积约 2.33 hm<sup>2</sup>, 林地面积约 110 hm<sup>2</sup>。牧草地、园地合计约 30 hm<sup>2</sup>。粮食单产增加到 4 500 kg/hm<sup>2</sup>, 人均收入增加 1000 元以上。

土地整理后, 不但显著增加土壤厚度, 而且改善土壤质地等理化性状, 提高土壤团粒的含量, 土壤含水量明显提高, 微生物活性强且有效养分供应多, 土壤肥力明显改善(祁晓凡等, 2008)。土地整理后夏季耕地气温降低, 气温日变化也更为缓和, 改善了峰丛洼地小气候条件, 减少了水土流失和对地下水的污染。整理后雨季地下河天窗中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、总磷含量均降低 40%左右, COD、固型物含量两种指标平均分别降低 34.51%和 36.96%, 水质得到改善。总之, 进行土地整理后, 能让农户更有效的实施立体种植模式(图 5), 取得了很好的生态效益和经济效益。

4.5 植物病虫害防治

在果化示范区和弄拉示范区, 结合复合农林模式的植物配置, 有效增加复合农林系统的物种丰富度, 以生物防治为主线, 人工释放赤眼蜂 200 万头, 安置频振式杀虫灯 8 台, 同时结合药剂防治, 逐步建立了植物 - 害虫 - 天敌之间的自稳平衡体系, 有

效防治面积达到 40 hm<sup>2</sup>, 逐步建立了岩溶峰丛山区绿色农产品基地。

5 示范区建设成效

三个示范区的农林业生产条件全面改善, 产业结构趋向合理, 优势产业逐步形成, 农民收入稳步提高, 经济果林收入比重显著增大, 石漠化得到遏制, 生态逐步恢复并向良性循环的方向发展。

5.1 弄拉示范区

到 2007 年底, 弄拉全屯植被覆盖率达到 90%, 森林覆盖率达到 70%, 成为广西的药用植物保护区, 岩溶石漠化已完全得到治理。农民人均年收入 5600 元, 农民已比较富裕, 而且, 饮水和灌溉用水问题基本解决。目前正在建设生态旅游村, 奔向社会主义新农村的样板。

5.2 果化示范区

植被覆盖率由原来的不足 10%提高到现在的 50%以上, 土壤侵蚀模数下降了 30%, 石漠化得到了遏制。增加耕地面积约 8 hm<sup>2</sup>, 林地面积约 110 hm<sup>2</sup>。牧草地、园地合计约 30 hm<sup>2</sup>, 土壤改良地约 10 hm<sup>2</sup>, 新建沼气 110 个, 开发利用了岩溶地下水资源 1 万多方/年。

形成了生态产业, 2008 年 7 月 23 日测产, 火龙果单位面积产量可以达到 1500 kg/亩、花生单位面积产量达到 130 kg/亩, 花生藤蔓生物量鲜重达到 5000 kg/hm<sup>2</sup>, 藤蔓作为绿肥压苗、有效的增强地力, 果园内收获花生后下半年还可种植黄豆, 火龙果园直接经济效益可以达到 3000-4000 元/亩。

5.3 环江示范区

发展森林连片面积达 200 公顷, 主要适生优良树种有任豆、香椿、山枣、青冈栎、枫香等, 目前 60%已成林。

退耕还林种草组合面积 30 公顷, 主要优良树种

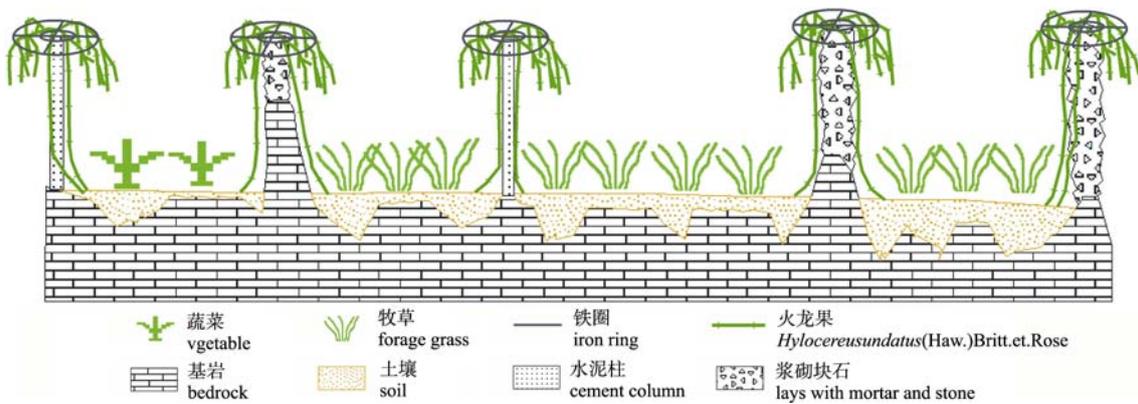


图 7 洼地平地土地整理后的立体种植模式

Fig. 7 Three-dimensional model for planting in the depression plain after land arrangement

为香椿和任豆树, 主要草种为桂牧 1 号; 并设立了 6 种不同密度和配置的林草牧组合试验, 通过连续 5 年试验之后实施优化决策。退耕还草面积 20 公顷, 主要草种为桂牧 1 号, 平均每户每年养牛 3-4 头。

坡地退耕种果面积 58 公顷, 主要果树有板栗、枇杷、柑橘、黄皮果、澳洲坚果等, 目前已全部进入收获期。

### 参考文献:

- 邓艳, 蒋忠诚, 罗为群, 覃星铭. 2008. 广西热带亚热带典型森林岩溶区土壤-植物系统元素分布特征[J]. 生态环境, 17(3): 1140-1145.
- 邓新辉, 蒋忠诚, 覃小群, 沈利娜. 2008. 广西弄拉岩溶植被的表层水文地球化学效应[J]. 山地学报, 26(2):170-179.
- 黄玉清, 苏宗明, 张中峰, 何成新. 2008. 桂西天然草地生产性能[J]. 草业科学, 25(5): 10-14.
- 蒋忠诚, 曹建华, 杨德生, 罗为群. 2008a. 西南岩溶石漠化区水土流失现状与综合防治对策[J]. 中国水土保持科学, 6(1): 37-42.
- 蒋忠诚, 李先琨, 覃小群, 吕仕洪, 罗为群, 蓝芙宁, 曹建华. 2008b. 论岩溶峰丛洼地石漠化的综合治理技术——以广西平果果化示范区为例[J]. 中国岩溶, 27(1): 50-55.
- 蓝芙宁, 蒋忠诚, 谢运球, 张敏. 2008. 岩溶峰丛山几种植物营养价值及饲喂效果研究[J]. 草业科学, 25(11): 84-87.
- 劳文科, 蒋忠诚, 覃小群, 吕勇, 罗为群, 蓝芙宁, 周维新, 李庆松. 2008a. 中国西南岩溶丘陵地区典型岩溶水系统研究——以石期河岩溶流域为例[M]. 北京: 地质出版社.
- 劳文科, 祁晓凡, 刘慧敏, 蒋忠诚, 覃小群, 覃星铭. 2008b. 广西果化龙何地区表层带岩溶水系统及其水资源特征[J]. 中国岩溶, 27(2): 122-128.
- 李先琨, 蒋忠诚, 黄玉清, 向悟生, 吕仕洪, 叶铎, 苏宗明. 2008a. 桂西南岩溶山地优势植物种群动态及其对岩溶作用的影响[J]. 地球学报, 29(2): 80-86.
- 李先琨, 何成新, 唐建生, 蒋忠诚, 黄玉清. 2008b. 广西岩溶山地生态系统特征与恢复重建[J]. 广西科学, 15(1): 253-259.
- 罗为群, 蒋忠诚, 韩清延, 曹建华, 裴建国. 2008a. 岩溶峰丛洼地不同地貌部位土壤分布及其侵蚀特点[J]. 中国水土保持, 32(12): 46-49.
- 罗为群, 蒋忠诚, 邓艳, 吴华英. 2008b. 石灰土改良试验及其岩溶作用响应研究[J]. 中国岩溶, 27(2): 122-128.
- 罗为群, 蒋忠诚, 覃小群. 2008c. 岩溶石山区石灰土改良方法及对比试验研究——以广西平果县龙何屯为例[J]. 地球与环境, 36(1): 87-92.
- 罗为群, 蒋忠诚, 覃小群. 2005. 广西平果龙何屯景观生态型土地整理模式探讨[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 23(2): 98-102.
- 莫凌, 黄玉清, 覃家科, 王晓英, 袁维园. 2008. 岩溶植物青冈和九龙藤叶片光学特性日变化研究[J]. 广西科学, 15(2): 189-194.
- 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 曾麒平, 王久荣. 2008. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式研究[J]. 生态学报, 28(2): 811-820.
- 祁晓凡, 罗为群, 蒋忠诚, 吴华英, 杨富军. 2008. 耕地整理对岩溶峰丛洼地生态环境的影响——以广西果化龙何地区为例[J]. 农业现代化研究, 29(3): 338-342.

- 王韵, 王克林, 邹冬生, 李林, 陈志辉. 2007. 广西喀斯特地区植被演替对土壤质量的影响[J]. 水土保持学报, 21(6): 130-134.
- 吴孔运, 蒋忠诚, 邓新辉, 叶晔. 2008a. 喀斯特石山区次生林恢复后生态服务价值评估——以广西壮族自治区马山县弄拉国家药物自然保护区为例[J]. 中国生态农业学报, 16(4): 1011-1014.
- 吴孔运, 蒋忠诚, 罗为群, 覃小群. 2008b. 喀斯特峰丛山地立体生态农业模式实施效果研究——以广西壮族自治区平果县果化示范区为例. 中国生态农业学报, 16(5): 1197-1200.
- 向悟生, 李先琨, 何成新, 陆树华, 吕仕洪. 2008. 桂西南岩溶生态脆弱区生态承载力分析及可持续发展状况评价——以广西平果县为例[J]. 中国岩溶, 27(1): 75-79.
- 肖润林, 单武雄, 方宝华, 刘小飞, 王久荣. 2008. 喀斯特峰丛洼地桂牧一号杂交象草对不同追施氮肥水平的响应[J]. 生态学杂志, 27(5): 735-739.
- 杨刚, 何寻阳, 王克林, 黄继山, 陈志辉, 李有志, 艾美荣. 2008. 不同植被类型对土壤微生物量碳氮及土壤呼吸的影响[J]. 土壤通报, 39(1): 189-191.
- 张明阳, 王克林, 刘会玉, 陈洪松. 2008. 喀斯特区域景观空间格局随高程的分异特征[J]. 生态学杂志, 27(7): 1156-1160.
- 张伟, 陈洪松, 王克林, 张继光, 侯娅. 2008. 典型喀斯特峰丛洼地坡面土壤养分空间变异性研究[J]. 农业工程学报, 24(1): 68-73.
- 张中峰, 黄玉清, 莫凌, 覃家科, 王晓英, 袁维园. 2008a. 桂林岩溶区青冈栎光合速率与环境因子关系初步研究[J]. 广西植物, 28(4): 478-482.
- 张中峰, 黄玉清, 李先琨, 莫凌, 焦继飞, 龙业明. 2008b. 岩溶区青冈栎树干液流特征及其与环境因子关系[J]. 中国岩溶, 27(3): 228-234.

### References:

- DENG Yan, JIANG Zhong-cheng, LAN Fu-ning, LUO Wei-qun, QIN Xing-ming. 2008. Biogeochemical characteristics of elements in soil-plant system in tropical and subtropical typical karst area in Guangxi[J]. Ecology and Environment, 17(3): 1140-1145(in Chinese).
- DENG Xin-hui, JIANG Zhong-cheng. 2008. Hydrogeochemical Effects of Vegetation in Nongla Karst Areas, Guangxi, China[J]. Environmental Geology, 14, 921-926(in Chinese).
- DENG Xin-hui, JIANG Zhong-cheng, QIN Xiao-qun, SHEN Li-na. 2008. Epi-hydrogeochemical Effects of Karst Vegetation in Nongla, Guangxi[J]. Journal of Mountain Science, 26(2): 170-179.
- HE Xun-yang, WANG Ke-lin, ZHANG Wei, CHEN Zhi-hui, ZHU Yong-guan. 2008. Positive correlation between soil bacterial metabolic and plant species diversity and bacterial and fungal diversity in a vegetation succession on Karst[J]. Plant and Soil, 307(1): 123-134.
- HUANG Yu-qing, SU Zong-ming, ZHANG Zhong-feng, HE Cheng-xin. 2008. Evaluation of natural grassland resources in the western Guangxi[J]. Pratacultural Science, 25(5): 10-14. (in Chinese).
- JIANG Zhong-cheng, CAO Jian-hua, YANG De-sheng, LUO Wei-qun. 2008a. Current status and comprehensive countermeasures of soil erosion for Karst rocky desertification areas in the Southwestern China[J]. Science of Soil and Water Con-

- servation, 6(1): 37-42 (in Chinese).
- JIANG Zhong-cheng, LI Xian-kun, QIN Xiao-qun, LV Shi-hong, LUO Wei-qun, LAN Fu-ning, CAO Jian-hua. 2008b. Comprehensive improving technique to rocky desertification in karst peak-cluster depression—A case study at Guohua Ecological Experimental Area, Pingguo, Guangxi[J]. *Carsologica Sinica*, 27(1):50-55 (in Chinese).
- LAN Fu-ning, JIANG Zhong-cheng, XIE Yun-qiu, ZHANG Min. 2008. Studies on the nutrition value and feeding effect of several forage cultivars in karst mountainous region[J]. *Practical Science*, 25(11):84-87 (in Chinese).
- LAO Wen-ke, JIANG Zhong-cheng, QIN Xiao-qun, LUO Wei-qun, LAN Fu-ning, ZHOU Wei-xin, LI Qing-song. 2008a. The research on typical karst water system in karst hilly area of southwest China—A case study of SHI QI HE karst basin[M]. Beijing: Geological Press.
- LAO Wen-ke, QI Xiao-fan, LIU Hui-min, JIANG Zhong-cheng, QIN Xiao-qun, QIN Xing-ming. 2008b. Characters of epikarst water system and water resources in Longhe, Guohua, Guangxi[J]. *Carsologica Sinica*, 27(2): 122-128 (in Chinese).
- LI Xian-kun, JIANG Zhong-cheng, HUANG Yu-qing, XIANG Wu-sheng, LV Shi-hong, YE Duo, SU Zong-ming. 2008a. Dynamics of Dominant Population and Its Influence on Karstification in Southwest Guangxi, China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(2): 80-86 (in Chinese).
- LI Xian-kun, HE Cheng-xin, TANG Jian-sheng, JIANG Zhong-cheng, HUANG Yu-qing. 2008b. Evolution and Ecological Processes of Karst Ecosystem of Guangxi. *Guangxi Sciences*, 15(1): 253-259 (in Chinese).
- LUO Wei-qun, JIANG Zhong-cheng, HAN Qing-yan, CAO Jian-hua, PEI Jian-guo. 2008a. Characteristics of soil distribution and erosion at different locations of karst peak-cluster depression area[J]. *Soil and Water Conservation in China*. 32(12): 46-49 (in Chinese).
- LUO Wei-qun, JIANG Zhong-cheng, DENG Yan, WU Hua-ying. 2008b. Contrast experimental study on calcareous soil amelioration and karst processes response[J]. *Carsologica Sinica*, 27(2): 122-128 (in Chinese).
- LUO Wei-qun, JIANG Zhong-cheng, QIN Xiao-qun. 2008c. Contrast experimental study on the methods of calcareous soil amelioration in karst mountainous area—A case study of Longhe hamlet, Pingguo county, Guangxi [J]. *Earth and Environment*, 36(1): 87-92 (in Chinese).
- LUO Wei-qun, JIANG Zhong-cheng, QIN Xiao-qun. 2005. Discussion on the model of landscape ecological land arrangement in Longhe hamlet in Pingguo, Guangxi[J]. *Journal of Guangxi Normal University*, 23(2): 98-102.
- MO Ling, HUANG Yu-qing, QIN Jia-ke, WANG Xiao-ying, YUAN Wei-yuan. 2008. Study on the Daily Course of Photosynthesis of Plant in Southwest Karst Area[J]. *Guangxi Sciences*. 15(2): 189-194 (in Chinese).
- PENG Wan-xia, WANG Ke-lin, SONG Tong-qing, ZENG Fu-ping, WANG Jiu-rong. 2008. Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable Karst ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 811-820 (in Chinese).
- QI Xiao-fan, LUO Wei-qun, JIANG Zhong-cheng, WU Hua-ying, YANG Fu-jun. 2008. Impact of Arable Land Consolidation on Eco-environment in Karst Peak-cluster Depression—A Case Study in Longhe Area of Guohua of Guangxi[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 29(3): 338-342 (in Chinese).
- WANG Yun, WANG Ke-lin, ZHOU Dong-sheng, LI Lin, CHEN Zhi-hui. 2008. Effects of Vegetation Succession on Soil Quality in Karst Region of Guangxi, China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 21(6): 130-134 (in Chinese).
- WU Kong-yun, JIANG Zhong-cheng, DENG Xin-hui, YE Ye. 2008a. Ecosystem service value of restored secondary forest in the Karstic-rocky hills—A case study of Nongla National Medicine Nature Reserve, Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(4): 1011-1014 (in Chinese).
- WU Kong-yun, JIANG Zhong-cheng, LUO Wei-qun, QIN Xiao-qun. 2008b. Effect of tri-dimensional eco-agriculture pattern in Karst peak-cluster zones—A case study of Guohua Demonstration Area in Pingguo County, Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 16(5): 1197-1200 (in Chinese).
- XIANG Wu-sheng, LI Xian-kun, HE Cheng-xin, LU Shu-hua, LV Shi-hong. 2008. Ecologic capacity analysis and sustainability estimation to ecological vulnerable karst region in Southwest Guangxi—A case in Pingguo county[J]. *Carsologica Sinica*, 27(1): 75-79 (in Chinese).
- XIAO Run-lin, SHAN Wu-xiong, FANG Bao-hua, LIU Xiao-fei, WANG Jiu-rong. 2008. Responses of hybrid Napiergrass “Guimu-1” to different topdressing rate of fertilizer N in cluster-peak depression of karst region.[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 27(5): 735-739 (in Chinese).
- YANG Gang, HE Xun-yang, WANG Ke-lin, HUANG Ji-shan, CHEN Zhi-hui, LI You-zhi, AI Mei-rong. 2008. Effects of Vegetation Types on Soil Micro-biomass Carbon, Nitrogen and Soil Respiration[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 39(1): 189-191 (in Chinese).
- ZHANG Ming-yang, WANG Ke-lin, LIU Hui-yu, CHEN Hong-song. 2008. Heterogeneity of landscape pattern with elevation in karst area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 27(7): 1156-1160 (in Chinese).
- ZHANG Wei, CHEN Hong-song, WANG Ke-lin. 2008. The heterogeneity and its influencing factors of soil nutrients in peak-cluster depression areas of karst region[J]. *Agricultural Sciences in China*, 6(3): 322-329.
- ZHANG Wei, CHEN Hong-song, WANG Ke-lin, ZHANG Ji-guang, HOU Ya. 2008. Spatial variability of soil nutrients on hillslope in typical karst peak-cluster depression areas [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 24(1): 68-73 (in Chinese).
- ZHANG Zhong-feng, HUANG Yu-qing, MO Ling, QIN Jia-ke, WANG Xiao-ying, YUAN Wei-yuan. 2008a. Preliminary study on the relation between photosynthetic rate and environment factors of *Quercus glauca* in Guilin karst area[J]. *Guihaia*, 28(4): 478-482 (in Chinese).
- ZHANG Zhong-feng, HUANG Yu-qing, LI Xian-kun, MO Ling, JIAO Ji-fei, LONG Ye-ming. 2008b. Features of *Quercus glauca* sap flow and its relationship to environmental factors in karst terrain[J]. *Carsologica Sinica*, 27(3): 228-234 (in Chinese).