

桂西峰丛岩溶区的环境特点及 农业生态系统优化设计

庞冬辉¹, 李先琨², 何成新², 蒋忠诚³

(1. 广西山区综合开发技术中心, 广西南宁 530012; 2. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西桂林 541006; 3. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004)

摘要: 桂西岩溶峰丛山区生态系统功能脆弱、抗干扰能力低, 面临严重的生态危机, 急需修复和重建。以生态学的原理与方法为指导, 进行土地利用的优化设计, 调整农村产业结构, 通过全面封育与先锋群落的构建, 实行乔灌藤草优化配置、生态防护林体系与特色农林产品基地建设结合, 恢复良好的森林植被, 涵养表层岩溶水, 改善生存环境, 进行不同地貌部位和岩溶地质背景下适生植物合理布局, 是峰丛岩溶区生态恢复重建的基本步骤。

关键词: 岩溶山区; 峰丛洼地; 环境特点; 农业生态系统优化

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)05-0408-06

Environmental characteristics and ecological rehabilitation and optimization of eco- agricultural system in karst peak cluster areas in Western Guangxi

PANG Dong-hui¹, LI Xian-kun², HE Cheng-xin², JIANG Zhong-cheng³

(1. Guangxi Technical Center of Integrate Exploitation of Mountain, Nanning 530012, China; 2. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and Academia Sinica, Guilin 541006, China; 3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China)

Abstract: In Western Guangxi, the ecosystem function of karst peak cluster areas is fragile and anti-turbulence ability is absent, raising the risk of the frequent nature disaster. According to the method and principles of ecology, rehabilitating the forest vegetation to adjust structure of rural produce, optimizing agriculture internal developing proportion, exploring various effective models for sustainable agriculture development is the basic way to remedy and reconstruct the ecosystem of karst areas. The type of the barren hill and the local weather pattern are required to seal a mountain pass of limestone hill and construct vegetation in different zone with indigenous species of arbor, shrub, grass, vine and optimizing their combination; to select excellent local tree species, especially the fast-growth evergreen broadleaves tree species as main species for woodland reconstruction. The well-adjusted planting in different geomorphic positions and karst geological backgrounds, will develop special local product and promote economic development and environmental improvement.

收稿日期: 2003-03-25; 修订日期: 2003-07-30

基金项目: 国家科技攻关计划重大课题(2001BA606A-08, 国攻 2000-k01-04-08); 广西科技攻关重大项目(桂科攻 0133001)。

作者简介: 庞冬辉(1959-), 男, 广西博白人, 助理研究员, 主要从事山区农业综合开发与综合治理研究工作。

Key words: karst region; karst peak cluster area; environmental characteristics; optimization of eco-agricultural system

我国是岩溶大国,岩溶(包括覆盖、埋藏)总面积达 344.3 万 km^2 , 占全世界岩溶地貌面积的 60% 以上, 其中裸露型面积为 90.7 万 km^2 。西南岩溶区包括贵州、广西、云南、四川、重庆等省市最为集中分布, 包括浅覆盖岩溶在内, 岩溶面积合计达 111.6 万 km^2 (广西科学院, 1994), 占全国岩溶面积的 32.4%。

我国西南岩溶区由于其优越的地理环境条件, 养育形成了资源的多样性, 然而, 资源蕴藏量低, 特别是长期的低技术组合下靠拼资源、高物质和人力的投入来发展经济, 是一种粗放型的发展模式, 经济增长与资源、环境和资金的矛盾相当尖锐。资源面临严重危机, 尤其是水资源、土地资源的紧缺严重阻碍人民生活、生产的改善。由于土地利用方式不当, 广西岩溶地区的土壤侵蚀模数平均达 $2\,550\text{ t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 以上, 严重地段可达 $10\,000\sim 20\,000\text{ t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$, 据统计, 广西岩溶石漠化面积已达 $21\,840\text{ km}^2$, 且以每年 3%~6% 的速度发展 (贺根生, 2002)。近 500 a 来, 岩溶区旱涝灾害的频率高达 40.1%~76.5%, 灾害发生面积分别占广西全区的 35%~73%。

本文通过对岩溶区生态环境特点、地质背景、自然资源和社会人文条件的深入调查和研究, 弄清岩溶山区生态系统退化的机理, 探索不同岩溶环境有效恢复森林植被的途径, 提出可持续发展的岩溶生态系统与社会经济系统相互作用的资源、生态、经济合理配置模式, 为岩溶石山区经济、社会和生态环境的可持续发展提供科学依据和成功的样板。

1 广西岩溶环境特征

广西岩溶总面积为 9.7 万 km^2 , 占广西全区总面积 41%。广西的岩溶地貌主要包括 3 种类型: 峰丛洼地、峰林谷地和孤峰平原 (图 1)。峰丛洼地主要分布于桂西北和桂中地区, 峰林谷地主要分布于桂东北的桂林、柳州一带, 孤峰平原主要分布于桂中地区, 如来宾等地, 桂东北也有分布。

调查研究表明, 广西的植物种类在全国列第三位, 且特有植物也较多。桂西南岩溶区是我国三个植物特有现象的分布中心之一, 为具有国际意义的生物多样性关键地区之一 (陈灵芝, 1993)。以广西弄岗自然保护区来说, 有维管束植物 1 454 种, 特有

种 29 种 (广西植物研究所, 1988)。

岩溶区的国土面积和人口数量均大, 但其中的耕地面积所占的比例很低, 以广西而言, 28 个重点岩溶县的耕地占土地总面积的 9%, 大大低于全国耕地面积占国土总面积 14% 的比例。岩溶区不但耕地资源数量不足, 而且耕地资源质量低。

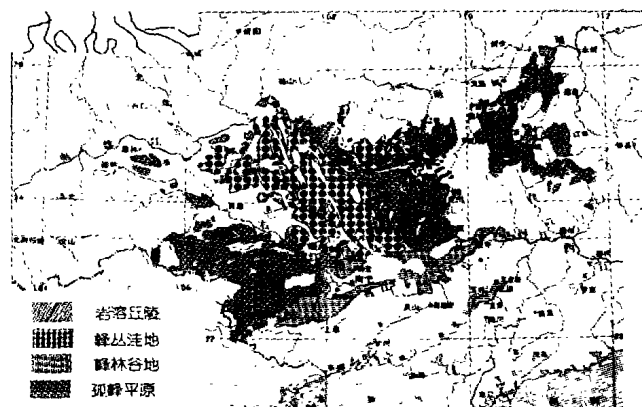


图 1 广西岩溶类型分布图
Fig. 1 The karst region and its physiognomy in Guangxi

岩溶山区生态脆弱的自然因素, 主要是可溶岩尤其是纯石灰岩造壤能力低, 营养元素匮乏和在长期强烈岩溶作用下产生的地表、地下双层空间结构, 导致土壤贫瘠 (袁道先, 1988), 加之人类不当的土地利用方式引起水土流失, 导致石漠化。广西岩溶区是一个生产力水平较低的社会经济系统与双层结构的脆弱的岩溶生态系统相容共存相互作用的复杂系统, 但只要采取积极的措施、实施人为正向干扰, 是可以修复或复原的 (李先琨, 2002)。根据生态学原理, 设计新的人工生态系统, 是促进岩溶山区的社会经济可持续发展的唯一出路。

2 桂西峰丛洼地区域农业生态系统优化设计

2.1 广西的岩溶峰丛洼地分布及其环境特点

广西的峰丛洼地总面积为 $49\,642.0\text{ km}^2$, 其中 70% 分布于桂西。地貌上, 峰丛洼地由众多高低错落的联座尖峭 (锥状) 山峰与其间形态各异的多边形

封闭洼地组成,常连片分布 $10\text{ n} \sim 10^3\text{ n km}^2$ 。海拔高度 $200 \sim 1\,830\text{ m}$,相对高度 $100 \sim 1\,260\text{ m}$ 。都安、大化、南丹、马山、河池、忻城、田阳、东兰、巴马、凌云、乐业、天等、靖西、德保等县的峰丛洼地面积大,分布集中;环江、平果、宜州、凤山、隆林、西林、百色、天峨、田林、田东等县的分布面积相对较少。峰丛洼地具有完整的岩溶水垂直动力分带及岩溶水赋存极不均一与动态变化不稳定的特点。饱气带厚度大,一般均有数十米至二、三百米不等,并向云贵高原斜坡地带增大。渗流带竖向洞穴、浅潜流带洞穴、地下河洞穴发育,漏斗、落水洞、竖井、天窗比比皆是。地表水贫乏,地下水埋藏深,常为数十米至二、三百米。峰丛洼地由质纯的石灰岩、白云岩、白云质灰岩、灰质白云岩及全碳酸盐岩组合构成,岩石容易溶解,故由岩石风化形成的土层很薄,峰丛洼地区土壤稀少,植物生长困难。峰丛洼地地区的旱涝灾害非常频繁和十分严重;峰丛岩溶山区也是十分贫困的地区,其所在县绝大多数为国家级贫困县。当地居民不但贫困,且饮用水非常困难,耕地严重不足,交通十分不便。因此,无论是生态环境、社会环境,还是生存条件,桂西峰丛洼地地区都亟待治理或改善。

2.2 有关生态学原理的运用

2.2.1 生态主导因子原理 生态系统动态受生态因子的影响,在诸多复杂的生态因子中,有一个或几个具有支配作用(余作岳等,1996),即主导因子,它(们)直接影响岩溶脆弱生态系统恢复重建的进程。

岩溶脆弱生态系统的恢复重建,首要任务是控制水土流失、解决人畜饮水和耕地用水,提高土地生产率。在退化生态系统恢复重建过程中,生态主导因子也不是固定不变的,需要根据不同时期分阶段调整工作重点。

2.2.2 时空分布的生态原理 良好的生态系统能最大限度地利用自然资源,随着系统的动态变化而保持相对的平衡和稳定,这取决于系统的时空调节和自我稳定性。在系统科学和系统工程的理论领域,认为社会经济生态系统具有耗散结构的特征,也类似于生态学理论的时空原理(李先琨,2003)。

生态系统中生物的容纳量,直接依赖于可利用的空间范围,如何在时间和季节上使生态系统充分利用自然资源的优势,最大限度地发挥光能、热能及其它资源的生产潜力,从而造就生态系统的良性循环,需要利用时间格局的生态学原理。

2.2.3 生态位和多样性原理 稳定的生态系统内部,各物种都占据一定的生态资源,且都具有各自的生态空间,物种之间的竞争与合作关系并不十分紧密,各自占据着已分化了的生态位(马世骏,1988)。

岩溶区在复合农林业生态系统的构建时,需要合理配置物种的水平空间、垂直空间和地下空间的生态位分布,构建多层次的复合群落,并提高物种和系统的多样性。

2.2.4 干扰理论与人工诱导恢复 根据系统干扰的普遍性原理,对岩溶生态系统实行正干扰。人工的积极干扰需通过岩溶环境学和生态学、保护生物学、农学等学科的交叉研究,从岩溶地球化学背景的角度考虑适生树种、植物的选择及不同环境条件下的植物群落的构建技术,选择优良的乡土树种、从相似的生物地理气候地带引进优质高效性能稳定的适生树种,参照区域性的顶极植物群落,人工模拟构建岩溶山地植被生态系统。

2.3 示范区设计

国家“十五”攻关计划项目示范区——广西平果县果化镇布尧村龙何屯,地处 $107^{\circ}23'E$ 、 $23^{\circ}23'N$,属于典型的岩溶峰丛洼地地貌。峰丛洼地由众多高低错落的联座尖峭(锥状)山峰与其间形态各异的多边形封闭洼地(当地村民称“弄”)组成,全屯共有 35 个弄。峰丛洼地底部标高 $300 \sim 400\text{ m}$ 不等,石峰高度可达 550 m 。与示范区相距不远的右江河谷标高只有 100 m 。

示范区地层主要为 $P1q$ 和 $P1m$,局部地区出露有 $P2$ 和 $T2$,岩石主要为纯石灰岩和硅质灰岩,东南角有少量泥质成分。该点生态环境的突出特点是:岩石裸露、石漠化严重,生态环境脆弱。由岩石风化形成的土层很薄,峰丛洼地区土壤稀少,岩石裸露,加之人对土地资源的不合理利用,石漠化趋势明显。植被覆盖率和森林覆盖率很低,植被覆盖率不足 10% ,森林覆盖率不足 1% ,树种单一(以任豆为主),旱涝灾害非常频繁和严重。全屯依靠一个岩溶泉维持人畜用水。

全屯 114 户,人口 530 人,其中劳动力 378 人。农民人均年纯收入 780 元,主要来源于种养业和劳务输出;文化水平较低,文化程度普遍在初中以下。耕地严重不足,农业作物单一,生产力水平低,资源利用率低。

根据果化岩溶峰丛洼地示范区的特点、环境状况、土地利用情况和当地生产及居民经济水平,生态

重建主要从土地整理、调整农业产业结构、改善农业基础设施建设与恢复植被入手,将当地的生态重建工作与农业生产、居民生活水平的提高结合起来考虑。

2.3.1 岩溶区退化生态系统的土地整理 以生态学及生态经济学原理为基础,寻求人类活动与自然协调的生态规划,通过土地利用结构调整,控制水土流失,遏制石漠化趋势。

土地整理是提高土地质量,增加有效耕地面积,改善农业生产条件和生态环境的重要措施。土地整理不但涉及山、水、田、林、路的全面调整,而且还有灌溉系统和土壤质量的改造,土地质量提高的另一措施是坡改梯工程建设、增加石质梯田土壤和中低产田的土壤改良。在土壤肥力分析的基础上,增施有关肥料。

示范区通过优化岩溶地区农业资源和土地利用结构,带动山区种植结构的调整和水旱轮作;通过生物措施、增施有机肥和监测配方施肥,改善土壤理化性状,改革耕作制度,提高复种指数,减少水土流失,提高地力,实现退耕还林还草,改善和保护生态环境。

根据龙何屯附近峰丛洼地的自然条件及土地利用现状,将耕地和山地划分为 2 大类、6 个立地类型:

I、耕地(参考因子:坡度、土层、裸岩率等)

I₁:坡度 $\leq 10^\circ$,土层深度 > 50 cm,裸岩率 $< 30\%$;

I₂:坡度在 $10^\circ \sim 25^\circ$ 之间,土层厚度 $25 \sim 50$ cm,以梯地为主,裸岩率 $< 70\%$ 。

I₃:坡度 $> 25^\circ$,以石穴地为主,裸岩率 $\geq 70\%$ 。

II、荒地(参考因子:植被盖度、植物生长状况、土壤盖度等)

II₁:植被盖度 $\geq 80\%$,灌木、草本植物生长良好,在封育条件下能自然恢复;

II₂:植被盖度介于 $30\% \sim 80\%$ 之间,灌木、草本植物生长一般,土壤覆盖度 $\geq 10\%$,可进行人工造林;

II₃:植被盖度 $< 30\%$ 。土壤主要分布于石缝中,土壤盖度 $< 10\%$,难以造林。

2.3.2 全面封育与退耕还林 岩溶区植被恢复的第一步是封山育林已经成为共识,但有的石山经封山后几年可恢复形成植被,并逐渐形成岩溶森林,而有的石漠化地区久封不育或极难恢复,这是由于岩溶

环境造成植被和生态的特殊性,富钙的地球化学背景造成岩溶森林植物的喜钙性,岩石裸露导致植物岩生性,岩溶干旱使森林生态表现为旱生性而岩溶洼地积水又导致生态的湿生性,环境中的碳循环加强了岩溶动力条件,加速元素迁移和某些难溶成分的活化;地貌景观与微环境的多样性使岩溶区植被在小范围内常常有常绿林与落叶林、阔叶林与针叶林共存,洼地底部到高差只有 300 m 的峰顶也有明显的垂直分异;地质背景的差异也使得植物物种产生分异(蒋忠诚,1997,1999);因此,在岩溶山地封育过程中,充分考虑生境的异质性和地球化学背景的作用,更有利于植被的恢复。

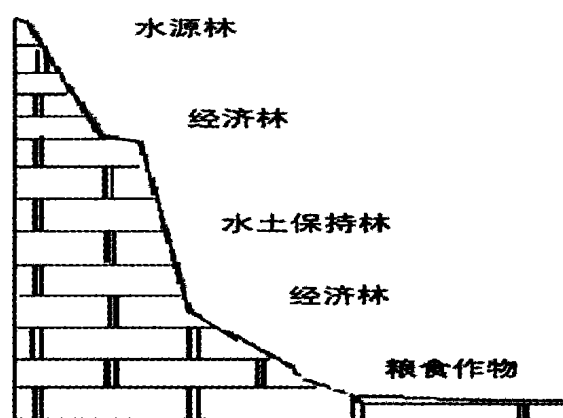


图 2 岩溶峰丛洼地区复合农林系统立体布局图
Fig. 2 The vertical layout of agro-forestry system in karst peak cluster area

人工促进先锋群落的形成是岩溶植被有效恢复的途径,先锋群落一旦形成,将大大改善岩溶环境,有利于常绿树种的定居生长,促进先锋群落的形成是岩溶生态重建一项重要的工作,当前,在岩溶生态重建过程中,石山造林树种单一、以落叶树种为主(常用的包括任豆、香椿等),生态恢复过程中以经济林代替生态林的现象普遍存在,岩溶植被生态系统功能低下,对于改善岩溶山区的生态环境质量十分不利,亟需构建生态功能优良的复层植物群落。

果化示范区石漠化非常严重,封山育林作为主要的工作,规划总面积 320 hm^2 。封山育林工作包括 2 个主要方面,一是划分不同类型、并根据不同的立地条件制定封山育林的措施与对策,分别采取“以封为主,封造结合”和“封造并举”的方法,进行封山育林;二是配置适生优良树种、进行人工优化植物群

落的构建。

在适宜地段及缓坡地开展人工育林试验,加速植被恢复的进程。计划造林面积 50 hm²,植树 2 万棵,开展植被恢复试验、人工植物群落优化配置模式试验及其配套技术体系等试验面积 20 hm²。在岩溶环境调查基础上,选择适宜种植的速生先锋树种,采集种子、培育高质量的营养袋苗和裸根苗,植树造林或直播法造林,配置灌草种类构建先锋群落,构建石漠化地区植被恢复的优良模式。拟选择用于造林的先锋树种:任豆、香椿、青冈、化香、菜豆树、海南蒲桃、南酸枣、苦楝、银合欢、茶条木等。

2.3.3 乔灌藤草优化配置与地带性植被的构建 参照区域性的顶极植物群落,选择优良的乡土树种、从相似的生物地理气候地带引进优质高效性能稳定的适生树种,重视和加强高新技术手段的运用,人工模拟构建岩溶山地植被生态系统。一个有高度生态功能和生产力的植被的关键在于其适宜的树种和草种。缺乏多样的优良树、草种将导致地区生物多样性减少、植被涵养水源保持水土功能微弱,生产力低下,病虫害蔓延和地力衰减,极不利于保持和发展持久的生态环境建设的效力,也无助于提高农民收入。为此,除首先从当地原生植被中选用适宜的树、草种,以及重视和加强包括高新技术手段在内的育种研究外,最有效的手段就是从相近似的生物地理气候地带引进性能稳定的优良树种和草种,以此丰富和改善林草植被的生物多样性、生态功能和经济效益(李先琨,2003)。

通过生态地理气候带的对比研究慎重选择,通过试验、注重安全地积极引种将是促进和改善生态环境建设与退耕还林的一大举措。

2.3.4 特色农林产品开发与基地建设 生态环境建设必须形成可持续发展的“生态——生产产业链”。生态环境建设和退耕还林草是以重建和改善生态为第一目的,进而通过对生态环境的保育和改善所形成的优质高产的植物生产力(木材、果品、饲草等)给农民和国家带来财富,再通过生产力的转化与增值形成第二性的动物生产力(肉类、乳品、皮毛等)和第三性的深加工商品生产进入国内外的贸易市场而产生更大的财富。这样一条产业链将形成生态环境、经济和社会的可持续发展的物质、能量与价值的良性反馈链带,保证生态环境的持续优化和人民、国家的收入不断增长。因此,在生态环境建设与退耕还林草的操作中,在保证生态优化的条件下,充分开发

利用广西岩溶区具有较高经济价值的名特优资源植物,建立特色农林产品基地,兼顾经济效益与产业链的形成。适当考虑发展经济树种和人工种草以开展舍饲养畜,能避免放牧对林草的破坏,还能更好地保持水土,增肥地力和迅速增加农民收入。

广西岩溶区丰富的植物资源中许多是具有较高经济价值的名特优资源植物,形成特殊的热带和亚热带岩溶植物区系(广西植物研究所,1997;许兆然,1993)。由于天然植被的生态效益远远高于单纯的人工植被,在生态保护和建设过程中,引进、发掘和推广适宜岩溶山地区种植生长的优良常绿阔叶树种及特色农林植物生产技术,有效提高生物生产效率和植被覆盖率,通过试验示范,为岩溶植被的优质高效恢复、岩溶山地区生态环境的改善,增强生态系统功能,提供科学依据和成功样板。

平果示范区种植业主要进行峰丛洼地名特优良品种及产业化开发,包括引进中药材、经济作物、水果、经济林等,示范面积共 220 hm²。其中:中药材 80 hm²,经济作物 55 hm²,经济林 30 hm²,果园 50 hm²,优质牧草 5 hm²。发展以金银花为主的中药材、林果业为主的支柱产业,改变以粮为主、结构单一的局面。此外,开展优质特色种苗繁育与示范基地建设,种苗基地总面积 5 hm²,其中:药材面积 2 hm²,优质果木面积 2 hm²,特色经济作物面积 1 hm²。

2.3.5 发展畜禽的圈养养殖 由于岩溶峰丛洼地生态环境脆弱,草料不足,养殖业的发展方向以圈养为主,重点发展山羊圈养技术和产业,这在峰丛岩溶山区是一个创新产业。拟通过引进附加值高的山羊和黄羊作为主要发展品种,计划发展规模为 1 000 头。此外,结合当地实际情况,适当发展猪、牛、优质鸡等养殖业,以帮助当地居民尽快提高经济收入。牧草种植与养殖业相对应,相应发展一些饲料植物。

2.3.6 基础设施建设与改善 岩溶区严重缺水,重点是表层岩溶泉开发,并配套修建水柜蓄水。能源开发以兴建沼气为主,示范区建沼气池 100 个,同时发展薪炭林和部分引进液化气等能源。道路建设、供水供电、农村茅草房改造等基础设施建设也通过多方筹措资金积极解决。

2.3.7 加强群众文化素质教育和科技培训 计划培训农民 3 000 人次,采取室内上课、讲座、组织参观、实地传授、电教等多种方式进行,对少数具有一定基础、积极性高的农户分别选择 1 人送到专业培训班

接受较系统的职业培训,使每户农民至少有 1 人掌握 1~2 门先进实用的农业技术。

3 岩溶峰丛洼地生态综合治理的成功经验

广西马山县古零镇弄拉屯为典型的峰丛洼地环境,土地面积 1.7 km²,主要由 2 个峰丛洼地构成,共有连座的石峰 25 座,海拔 600~740 m,石峰高峻、陡峭,占地 80%,坡度一般在 50°以上。洼地深嵌于石峰之间,是主要的耕地,面积约 4 hm²,仅占土地总面积的 5%。弄拉的天然林已于 1958~1963 年全部砍光,当时裸露石山环境使当地居民也非常贫困,饮用水也非常困难。1964 年开始对鸡蛋堡和田湾山山峰封山育林,84 年对水源林山峰重新育林并对上弄拉山峰进行封山育林,并开始发展以金银花和苦丁茶为主的药材和果树产业。1989 年人均收入 900 元,森林覆盖率达到 30%,居民基本上摆脱了贫困。当地发展生态农业,在改善当地生态环境和生活条件方面取得了重要进展。主要经验包括:(1)建立完整的立体生态农业结构,格局是:耕地、菜地主要在洼地底部和比较平缓的山凹,耕地种植以玉米、旱藕为主的旱作粮食作物,山麓、平缓的山坡重点发展果树和经济林、用材林,间种药材,峰丛垭口和比较陡的山坡主要发展金银花等藤本植物,有土地段,适当发展竹林。陡峭山峰地段则长期封山育林,重点发展水源林和景观林(蒋忠诚,2001)。(2)表层岩溶泉开发与水柜配套建设:表层岩溶带是地表强烈岩溶化过程的产物,是中国南方岩溶区非常普遍的一种岩溶现象,其厚度和特征因地而异,在弄拉可达 10m。但西南岩溶石山区,由于普遍缺乏森林覆盖、岩石裸露,表层岩溶带对雨水的调蓄能力弱,使得岩溶泉水在雨后不久即干涸,只有提高表层岩溶带的森林覆盖率才能增加表层岩溶水的调蓄功能,使表层岩溶泉水常流不断。通过岩溶所专家指导有效开发表层岩溶泉水资源,对弄拉兰电堂表层岩溶泉流路的查找和归并,建设了枯季水流量不低于 0.1 L/S 的常流岩溶泉,虽然其补给区范围仅约 400 m²,但泉水供全村人饮用有余。(3)人工培植野生名特优植物资源:如青天葵,为名贵稀少的石山地区生长的中药材,以前只有野生的,1999 年开始在弄拉人工培植,并取得成功,2000 年扩大种植规模,总产量约 100 kg,产值 3 万多元。(4)发

展名特优植物的苗圃,形成苗圃产业。到 2000 年,弄拉农民人均收入 3 000 元,饮用水问题完全解决。弄拉屯的植被覆盖率达到 80%,森林覆盖率已达到 40%,裸露岩溶石山已完全改变面貌。

4 结语

桂西地处整个东南亚岩溶石山的中心地带,是峰丛岩溶地貌最典型的地区,石漠化非常严重,综合分析桂西峰丛洼地区生态环境特点、地质背景、资源和人文条件以及生态退化和石漠化现状,探索不同类型峰丛洼地岩溶环境有效恢复森林植被的途径,具有重要意义。以系统科学的思想为指导,依据生态学和生态经济学的原理与方法进行岩溶山区社会经济生态复合系统的优化设计,设计符合不同自然条件和不同岩溶环境类型的农林牧良性生态产业链,建立峰丛洼地区良性循环的立体生态农业结构;合理配置高效的植物群落,控制水土流失、遏制石漠化,构建岩溶生态系统的优化模式。通过生态重建试验,开发岩溶石山区不同环境适生的名特优产品,不仅可带动试验区的经济发展和改善生态环境;而且可辐射至整个西南岩溶环境,为整个西南岩溶区石漠化治理、土地整理和生态重建提供典型的范例和科学依据。

参考文献:

- 广西科学院石山课题组. 1994. 广西石山地区生态重建工程技术可行性研究[M]. 南宁: 广西科技出版社.
- 广西植物研究所, 广西农村发展中心, 广西大学林学院. 1997. 广西植物资源开发利用战略研究[M]. 南宁: 广西科技出版社.
- 广西植物研究所. 1988. 广西弄岗自然保护区综合考察报告[C]. 广西植物, 增刊一.
- 马世骏. 1991. 中国生态学发展战略研究(第一集)[M]. 北京: 中国经济出版社, 1991.
- 陈灵芝. 1993. 中国的生物多样性——现状及其保护对策[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- 贺根生, 刘 昆. 2002. 岩溶地区: 不仅生存还要致富. 科学时报(第一版)[N]. 3 月 29 日.
- 余作岳, 彭少麟. 1996. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究[M]. 广州: 广东科技出版社.
- 袁道先, 蔡桂鸿. 1988. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社.
- Li XK(李先琨), He CX(何成新). 2002. Comprehensive (下转第 398 页 Continue on page 398)

- Nakashizuka T, Iida S. 1995. Composition, dynamics and disturbance regimes of temperate deciduous forests in monsoon Asia[J]. *Vegetation*, **121**: 23—30.
- Nilsson C, Ekbald A, Gardfjell M, *et al.* 1991. Long-term effects of river regulation on river margin vegetation[J]. *Journal of Applied Ecology*, **28**: 963—987.
- Peng SL (彭少麟). 1987. Community dominance in Guangdong subtropical forests(广东亚热带森林群落优势度)[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **7**(10): 36—42.
- Pringle CM. 1990. Nutrient spatial heterogeneity: effects on community structure, physiognomy, and diversity of stream algae[J]. *Ecology*, **71**: 905—920.
- Reynolds JF, HL, Hungate BA. 1997. Soil heterogeneity and plant competition in an annual grassland[J]. *Ecology*, **78**(7): 2 076—2 090.
- Sakio H. 1997. Effects of natural disturbance on the regeneration of riparian forests in a Chichibu Mountains central Japan[J]. *Plant Ecology*, **132**: 181—195.
- Shi JP(施济普), Zhu H(朱 华). 2002. Effects of three main disturbances on the plant diversity of the tropical forest in Xishuangbanna(三种干扰方式对西双版纳热带森林群落植物多样性的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), **22**(2): 129—135.
- Sollins P. 1998. Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest: does soil matter[J]. *Ecology*, **79**(1): 23—30.
- Stohlgren TJ, Bachand RR, Onami Yasuhiro, *et al.* 1998. Species-environment relationships and vegetation patterns: effects of spatial scale and tree life-stage[J]. *Plant Ecology*, **135**: 215—228.
- Tabacchi E, Tabacchi AN. 1990. Decamps O. Continuity and discontinuity of the riparian vegetation along a fluvial corridor[J]. *Landscape Ecology*, **5**: 9—20.
- Titus JH. 1990. Micro-topography and woody plant regeneration in a hardwood floodplain swamp in Florida [J]. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **117**: 429—437.
- Xie JY(谢晋阳), Chen LZ(陈灵芝). 1994. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperature zone of north China(暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征)[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **14**(4): 337—344.
- Zhang JT(张金屯), Yan YC(阎耀川), Jin YX(金义兴). 1995. Plant community and heterogeneity(植物群落与异质性)[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物研究), **13**(2): 329—336.

(上接第 413 页 Continue from page 413)

- development of western China and rehabilitation, reconstruction of tropical and subtropical fragile karst ecosystem(西部开发与热带亚热带岩溶脆弱生态系统恢复重建)[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (农业系统科学与综合研究), **18**(1): 13—16.
- Li XK(李先琨), Su ZM(苏宗明), Lü SH(吕仕洪), *et al.* 2003. The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological signal for ecosystem rehabilitation and reconstruction(广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复的意义)[J]. *Journal of Mountain Science* (山地学报), **21**(2): 129—139.
- Jiang ZC(蒋忠诚). 1997. Element migration in karst geochemical processes of the dolomite in Nongla, Guangxi (广西弄拉白云岩地区的岩溶地球化学研究)[J]. *Car-sologica Sinica* (中国岩溶), **16**(4): 304—312.
- Jiang ZC(蒋忠诚). 1999. Element migration in karst dynamic system(岩溶动力系统中的元素迁移)[J]. *Acta Geography Sinica* (地理学报), **54**(5): 438—443.
- Jiang ZC(蒋忠诚). 2001. Rehabilitation of Ecology and Optimization of Eco-agricultural structure in Carst Peak cluster Area in Nongla of Guangxi (广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化)[J]. *Guangxi Sciences* (广西科学), **8**(4): 308—312.
- Xu ZY(许兆然). 1993. A study of the limestone forest flora of southern and southwestern China (中国南部和西南部石灰岩植物区系的研究) [J]. *Guihaia* (广西植物), Supp. IV (增刊IV).