

喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式

彭晚霞^{1,2,3}, 王克林^{1,3,*}, 宋同清^{1,3}, 曾馥平^{1,3}, 王久荣^{1,3}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128

3. 中国科学院亚热带农业生态研究所环江喀斯特生态实验站, 环江 547200)

摘要:以西南喀斯特地区为例,通过总结前人的研究成就和采集中国科学院亚热带农业生态研究所喀斯特生态实验站部分收集整理和试验数据,系统分析了喀斯特脆弱生态系统及其退化的机理,从“人-自然-经济复合生态系统”的观点出发,以干扰程度、群落类型、服务功能、土地退化和贫困状况为指标,创新性地提出了喀斯特脆弱生态系统的复合退化模式(含 4 个阶段),运用现代生态恢复学原理、方法和现代管理学创新理论,建立了喀斯特脆弱生态系统复合退化的控制模型。以此为基础,在喀斯特石山区、半石山区和土山丘陵区 3 个区域环境尺度范围内,针对性地建立了生态保护型、外向经济型和双三重螺旋 3 种生态恢复与重建模式,以促进喀斯特区域生态、经济、社会的全面协调与可持续发展。

关键词:喀斯特脆弱生态系统;复合退化;控制与重建;模式

文章编号:1000-0933(2008)02-0811-10 中图分类号:Q149,Q16,X171.1 文献标识码:A

Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable Karst ecosystem

PENG Wan-Xia^{1,2,3}, WANG Ke-Lin^{1,3,*}, SONG Tong-Qing^{1,3}, ZENG Fu-Ping^{1,3}, WANG Jiu-Rong^{1,3}

1 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 Station of Karst Ecology in Huanjiang, Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Huanjiang, 547200, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0811 ~ 0820.

Abstract: The Karst area located at the center of Guizhou Tableland in China is the largest continuous Karst zone in the world. The typical problems in this region are poor ecological environment and poverty, where the degraded ecosystems are hardly to be recovered or restored; it is one of the six most vulnerable ecosystems in China. Degradation of the vulnerable karst ecosystem is a complex process which was characterized by intensive human activities as driving force and decreasing vegetation as inducement acting on the fragile geological resources, as a consequence, land deteriorated and desert landscape appeared. In this study, a new model was established to simulate the complex degradation process of vulnerable karst ecosystem based on local human activities, natural environment and economic development by using interruption degrees, community types, service and function of ecosystems, land degradation and poverty as indicators. The model

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题资助项目(2006CB403208);中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB2-08);国家十五科技攻关资助项目(2004BA606-08)

收稿日期:2006-12-10; **修订日期:**2007-07-03

作者简介:彭晚霞(1980~),女,湖南双峰人,博士生,从事生态学研究. E-mail: pengwanxia@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kelin@isa.ac.cn

致谢:感谢魏文学博士对本文写作的帮助。

Foundation item: The project was financially supported by the Project of the National Key Basic Research and Development Plan 973, China (No. 2006CB403208), West Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-08), and the Science and Technology Attacking Project of National Tenth Five-year Plan of China (No. 2004BA606A-08)

Received date: 2006-12-10; **Accepted date:** 2007-07-03

Biography: PENG Wan-Xia, Ph. D. candidate, mainly engaged in agricultural ecology. E-mail: pengwanxia@yahoo.com.cn

showed that there were four major stages dominating the complex degradation process which were vegetation decreasing, loss of service and function of ecosystem, degeneration of soil quality and rocky desertification.

The processes of degradation and restoration of vulnerable karst ecosystem did not occur simultaneously, and there were no linear relationships between them and restoration process took much longer time and was more difficult. A controlling model was also established to prevent rocky desertification using the principles and methods of temporary restoration ecology and temporary management. Based on this model, 3 types of recovering and restoration patterns of ecological protection, open economic and bi-triple helix were set up according to rocky mountain area, semi-rocky mountain area and mountain and hilly region, respectively, which would be greatly helpful to boost the harmonious and sustainable development of ecology, economy and society in Karst areas.

Key Words: vulnerable Karst ecosystem; complex degradation; controlling and restoration; model

世界喀斯特石山面积约占陆地面积的 12%, 中国是世界上喀斯特分布最广的国家, 面积约 $344.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 裸露面积为 $90.79 \times 10^4 \text{ km}^2$, 主要分布在云南、贵州、四川、湖南、湖北、广东以及北方的山西、山东、河南、河北一带^[1]。其中以贵州高原为中心连带成片的我国西南喀斯特地区是世界三大岩溶区之一, 地理坐标为 $102 \sim 104^\circ \text{E}$, $22 \sim 32^\circ \text{N}$, 区域面积为 $115 \times 10^4 \text{ km}^2$, 岩溶面积达 $70 \times 10^4 \text{ km}^2$, 属低纬度的热带—亚热带气候, 主要地貌特征为峰丛洼地和喀斯特谷地, 是我国六大脆弱生态系统之一, 极易退化, 生态经济问题独特, 很多学者从不同的角度尝试研究和探讨了喀斯特生态系统的恢复与重建措施, 提出了许多有益的治理模式^[2~6]。本文以西南喀斯特地区为例, 通过总结前人的研究成就和采集中国科学院亚热带农业生态研究所喀斯特生态实验站的部分收集整理和试验数据, 在系统分析喀斯特脆弱生态系统形成机理和退化机制的基础上, 从“人类-自然-经济生态复合系统”的观点出发, 运用现代生态恢复学原理和方法^[6~12], 提出了喀斯特脆弱生态系统的复合退化模型, 并根据喀斯特独特的地质地貌结构, 在石山区、半石山区和土山丘陵区 3 个区域环境尺度范围内, 针对性地建立了各种生态控制、恢复与重建模式, 为促进喀斯特区域生态、经济、社会的协调发展提供一定的科学理论依据。

1 喀斯特脆弱生态系统的形成机理

1.1 动力潜能和物质基础

在古环境岩溶过程中, 自晚震旦纪到三叠纪晚期, 以贵州为中心发育了四大碳酸盐岩沉积构造, 纯碳酸盐岩底层构成了喀斯特石漠化的物质基础, 强烈的地质运动塑造了陡峻而破碎的喀斯特地貌景观, 由此而产生了较大的地表切割度和地形坡度, 形成了以峰丛洼地和喀斯特谷地为主的地貌结构特征, 提供了石漠化的动力潜能^[13,14]。

1.2 溶蚀性和成土速度

我国西南的喀斯特地区高温多雨, 水热匹配, 年平均气温 $20 \sim 21^\circ \text{C}$, 7 月平均气温 $27.5 \sim 29.0^\circ \text{C}$, 年平均降水量在 $1300 \sim 1500 \text{ mm}$ 之间, 年际变化明显, 多雨年为 $1600 \sim 2000 \text{ mm}$, 少雨年只有 $800 \sim 1200 \text{ mm}$, 碳酸盐岩溶蚀性强, 90% 的溶蚀物随水流失, 又加上岩石中 Si、As、Fe 等成土元素含量低, 成土速度缓慢, 年成土模数平均值为 50 t/km^2 , 形成 1 cm 厚土壤需 $2000 \sim 3000 \text{ a}$ 以上, 是其他类型母岩成土时间的 10 倍, 土层浅薄且不连续, 可耕地不足 10%, 裸露石山面积占总土地面积的 40% 以上, 极易形成石漠化景观^[15,16]。

1.3 水文二维结构和水土流失

丰富的降水和高温加速了碳酸盐岩的溶蚀, 形成了众多的溶洞、溶沟、溶隙、漏斗、地下河和溶水洞, 地表水和地下水水文二维结构明显, 地表漏水严重, 地面溶入系数 0.3 以上的面积占总面积的 89%, 其中渗入系数 0.3 ~ 0.6 的占 69%, 0.6 ~ 0.9 占 20%, 首先到达地面的降水 90% 迅速渗入地下, 每年剥蚀表土层 0.3 cm , 水土流失相当严重^[16~18]。

1.4 雨热状况不均和季节性干旱

喀斯特地区平均年降雨量为 1389.1mm,蒸发量却多达 1570.7mm,比降雨量多 181.6mm,且时间和空间分布不均,如东部地区,秋雨不足年总量的 16%,此时日照强,蒸发量大,降水量仅为蒸发量的 38%~50%,西部地区春雨少而迟,不足年总量的 26%,又加上土层浅薄,水文二维结构明显,蓄水保水能力差,极易形成季节性干旱,如广西中部全年出现干旱现象的平均频率为 45.7%^[19]。

1.5 森林结构和生物量

喀斯特独特的地质积累和气候条件决定了其适生植物具有嗜钙性、耐旱性和石生性特点,物种多样性低,系统结构简单,生物量少。如茂兰喀斯特顶极群落常绿阔叶林群落的绿色生物量为 149.123t/hm²,远低于同生态位的非喀斯特森林,只相当于沙漠边缘或北泰加林(150 t/hm²)^[20]。

总之,在地球内动力、强烈的地质运动、高温多雨且分布不均、碳酸盐岩溶蚀性强、水文二维结构明显和喀斯特森林结构简单、生物量低等综合因子的影响下,喀斯特生态系统的稳定性和抗干扰性差,与北方干旱-半湿润区、西北干旱脆弱区、华北平原区、南方丘陵区、西南山地和青藏高原区并列为我国六大典型脆弱生态系统,也是喀斯特生态系统极易退化的内在驱动力。

2 喀斯特脆弱生态系统退化机制

我国西南喀斯特生态系统的顶极群落为常绿阔叶林,具备生境复杂、植被茂密、生物种类多样、反馈功能高、系统平衡等总体特征。但喀斯特独特的地质地貌背景和气候条件决定了其是抵抗外界干扰能力低、自身的稳定性差的脆弱生态系统。在外界干扰下,原有生态系统平衡极易失去,系统的结构和功能发生变化并形成障碍,造成破坏性波动或恶性循环从而导致系统的退化。

2.1 喀斯特生态系统退化的驱动力

喀斯特生态系统的脆弱性是其退化的内在驱动力,而外在驱动力主要来自人类的干扰,二者叠加形成石漠化现象,其中人为因素是主因。我国西南喀斯特地区,土地瘠薄,生境脆弱,土地承载力低,相关研究表明,峰丛深洼地区人口容量为 50 人/km²,高山盆地为 1~10 人/km²,峰林平原地为 100~200 人/km²。喀斯特地区的人口压力非常大,人地矛盾尖锐。2000 年贵州省的人口密度就超过了 200 人/km²,超过全国平均人口密度的 68%,并仍呈上升趋势,远远超过了该区的人口容量^[20]。特别是一些资源缺乏、生态环境恶劣的石山区,人口密度大大高于土地资源相对丰富的土山丘陵区,如广西壮族自治区尚有 50 万人生活在人均面积不足 0.02hm²的大石山区,因资源缺乏,大多生活贫困,整个西南喀斯特贫困人口数占全国贫困人口数的 44.4%^[21]。为生存起见,人类通过砍伐、开垦、采樵、采矿、放牧、旅游开发、工程建设等方式对本来脆弱的喀斯特生态环境进行不断的干扰和破坏,导致生态环境更加恶化,从而形成了以人类干扰为驱动机制的“贫困-人口增长-土地退化”的喀斯特退化生态系统^[22~26]。

2.2 喀斯特生态系统退化的诱因

脆弱的生态环境、沉重的人口压力、掠夺式经济方式造成了喀斯特地区植被的严重破坏。如贵州省的森林覆盖率由 20 世纪 40 年代的 40% 以上下降到 90 年代的 13% 左右。21 世纪林地面积虽然有所回升,达到了 30.8%,但幼龄林和人工林分别占 60% 和 70%,树龄小,植被盖度低,树种结构单一。喻理飞、朱守谦等人^[27]的研究表明,随着喀斯特森林由顶极群落(常绿阔叶林)→常绿落叶阔叶林→灌乔林→灌丛灌木林→草灌群落→草本群落的逆向演替,其群落高度(16.9~0.6m)、盖度(0.79~0.29)、显著度(21.8981~0.8720)、物种数(50~16)、多样性指数(4.72~0.99)、生物量(87045~3.49t/hm²)等逐步降低,结构逐渐简单化,功能逐步消失,从而诱发生态环境恶化,导致土地退化,直至出现石漠化。

3 喀斯特脆弱生态系统的复合退化模式和表现特征

生态系统的退化实际上是系统的逆向演替,如正向演替一样,是一个连续变化的过程,包含突变、渐变、跃变、间断不连续及复合退化几种形式^[6]。喀斯特顶极群落为常绿阔叶林,小生境复杂,系统稳定,物种繁多,如贵州茂兰保护区,2 万 hm² 面积内的兽类、鸟类、爬行类和天敌昆虫的种类分别达 34、95、39 种和 60 种,维管

束植物达 801 种^[28]。森林结构完整,乔木层发达,林下荫蔽。大径级乔木数量较多,林下枯枝落叶十分丰富,有机质含量较高。据沈有信等^[29]调查,最大乔木的胸径值超过 100cm,乔木层分为 3 层:上层高 20~22m,中层 8~10m,下层高 4~5m,林中藤本较多,林下有大量幼苗,枯枝落叶层厚达 10cm。然而,喀斯特生态系统本身的自然特征决定了其稳定性和抗干扰性差,具备天生的脆弱性,极易退化,加上该区的人地矛盾尖锐,自 20 世纪 40 年代以来,人类通过不同形式的掠夺性经营,对喀斯特生态系统干扰的作用强度、时间、频率、规模等非常严重,出现了植被减少、系统结构简化、服务功能丧失、土地退化直至完全石漠化的过程多元化和程度多样化退化过程,形成了“人的素质降低、经济更加落后、生活更加贫困、掠夺经营更加严重、环境更加恶化”的“人-自然-经济”复合退化模式(见图 1),大体可分为 4 个阶段。

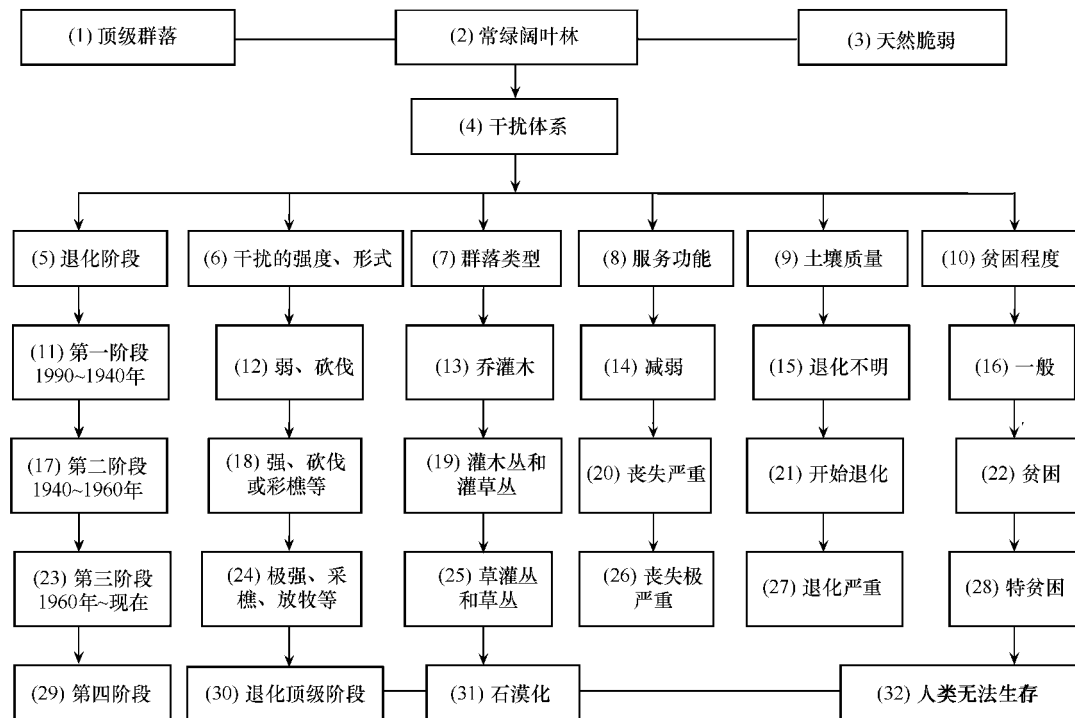


图 1 喀斯特脆弱生态系统复合退化模式

Fig. 1 The model of complex degradation of vulnerable Karst ecosystems

(1) climax community; (2) green latifoliate forest; (3) essential fragility; (4) disturbance systems; (5) degraded stages; (6) the Form and intensity of disturbance; (7) community types; (8) : the service and functions of ecosystems; (9) soil quality; (10) economic status; (11) : the 1st stage: from 1900 to 1940; (12) : mild disafforestation; (13) forest or forest with shrubbery; (14) weakening; (15) slight degeneration; (16) common; (17) the 2nd stage: from 1940 to 1960; (18) intense disafforestation and logging; (19) shrubbery or shrubbery with grass; (20) severe loss; (21) start of degeneration; (22) poor; (23) the 3rd stage: from 1960 till now; (24) very intense disafforestation, herding and logging; (25) brushwood or brushwood with shrub; (26) greatly severe loss; (27) bad degeneration; (28) poor in special; (29) the 4th stage; (30) climax stage of degeneration; (31) rocky desertification; (32) the worse environment where human couldn't survive

第一阶段,植物种群及年龄结构发生变化,乔木层发生分层现象,由优势种不明显的顶级群落常绿阔叶林退化成为了以园果化香(*Platycarpus longipes*)、月月青(*Itea yunnanensis*)、白枪杆(*Fraxinus malacophylla*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)等为优势种组成的常绿阔叶混交林,优势种群年龄结构向右位移,老龄个体居优、中幼龄个体少,更新不成功,物种丰富度下降了 39.5%^[30],上层平均高度下降至 10~12m^[29],泛化种种群也在扩大,以植被为依存的动物种群数量和年龄结构也发生了不良改变。此阶段可分为次生乔木林和乔灌木 2 个亚阶段,人为干扰较弱,退化较轻,系统的服务功能和环境变化不大,自然恢复容易,最典型的恢复方式是封山育林。

第二阶段,人为干扰(主要是砍伐)加强,乔木层消失,系统的服务功能发生不良变化,光照强度加强,环

境因子尤其是温度和水分的变幅加大,引发了小气候、水文等系统环境的退化,群落高度和生产力急剧下降,平均高度 $\leq 2\text{m}$,没有 3cm 以上径级的茎干,生物量与顶级群落相比下降了 94.7% ,优势种群地位下降,群落的丰富度、密度和均匀度增加,主要乔灌木物种有清香木(*Pistacia weinmannifolia*)、青冈、余甘子(*Phanthus emblica*)、浆果糖(*Cipadessa baccifera*)、化香(*Platyrya longipes*)、绣线菊(*Spiraea martini var. Pubescens*)、白桦羊蹄甲(*Banhenia variegata*)、槲栎(*Quercus dentate*)、毛叶柿(*Diospyros mollifolia*)等,植被退化成灌木和藤刺灌丛群落^[28~31]。随着人口的增长和贫困的增加,能源问题更加突出,出现了以采樵为主的干扰形式。虽然土壤退化尚滞后于这些变化,表现不明显,但随着地表植被的退化,枯落物—根系—石面的关系被破坏,原先被枯落物直接覆盖的、纵横交错的沟槽、凹槽、沟谷、洼坑、石牙等开始逐步裸露,积存的有机物开始大量分解或流失。逆转这个退化阶段需花费一定的人力和物力,必须采用人为调控和自然恢复相结合的方法,但所需时间较长。

第三阶段,随着人为干扰强度增大(以采樵、放牧、开垦等方式为主),群落的高度、生产力、密度、物种多样性、覆盖度等全面下降,植物无性繁殖能力加强,动物种类和种群数量下降,许多珍稀动物消失,植被退化成草灌丛和草丛群落。常见的草种有鬼针草(*Bidens tripartita*)、狗尾草(*Apluda mutica*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、黄茅草(*Heteropogon*)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、旱茅(*Eremopogon delawayi*)、鼠尾草(*Sporobolus indicus var. Purpurea-suffusus*)、金茅(*Eulalia trispicata*)、罗仕草(*Schizachyrium delawayi*)、白茅(*Imperata cylindrica*)等^[28],发展为草丛群落后,没有乔灌木物种出现。系统的服务功能基本丧失,温度升高,季节性干旱严重,暴雨成灾,水土流失加剧,土壤侵蚀严重,土层逐步瘠薄,土壤结构变坏,土壤养分严重减少,土壤微生物的种群数量、酶活性和呼吸强度严重下降,土壤肥力质量综合指标值仅为 0.524 左右,与第一、二阶段(0.851 左右)相比,下降程度明显^[31~36]。通过自然恢复在相对短的时间内逆转这个阶段基本不可能,必须先改善或重建非生物环境,创造适宜于幼苗定居的微生境。

第四阶段,植物几乎完全丧失,只有零星的土壤分布,形成石漠化状态,人类已无法生存,石漠化土地每年正以 508.16hm^2 的速度不断扩展,态势十分严峻。扭转退化决定于气候和土壤条件,需要足够的资金支持,搬运客土,重建土壤环境,并坚持不懈地进行物质和能量输入,逐步进行恢复。

4 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制模式

喀斯特脆弱生态系统的退化是一个复合过程,表现为:人为因素→林退、草毁→陡坡开荒→土壤侵蚀→耕地减少→石山、半石山裸露→土壤侵蚀→完全石漠化的逆向发展模式,它以脆弱的生态地质环境为基础,以强烈的人类活动为驱动力,以植被减少为诱因,以土地生产力退化为本质,以出现类似荒漠景观为标志。随着人口的增长,贫困加剧,对天生脆弱的喀斯特生态系统实施掠夺性经营,植被减少,群落产生逆向演替,环境恶化,土壤质量下降,导致石漠化的发展,如此循环,“人-自然-经济”三者之间形成一种互成因果的正反馈机制,且方向性一致,即人口增加,贫困加剧,掠夺性经营增强,退化加深。退化与恢复的过程具有非同步性,退化与恢复的速度具有非线性关系,退化容易且时间短,恢复难而时间长,因此,在恢复与重建之前,必须首先建立喀斯特脆弱生态系统复合退化的控制模式,以遏止其石漠化进程。根据喀斯特脆弱生态系统的退化机制,首先必须消除人为干扰,提高人的素质,制定相应的政策法规,确保退化控制措施的顺利实施,为此建立了模式(1):

教育 + 法规 + 控制措施(生物措施 + 工程措施) 模式(1)

式中,教育包括文化、环保、思想等方面的素质教育。法规包括土地开垦、旅游开发、计划生育、水利工程建设用地等法规和制度。

控制措施进一步分解: $\geq 25^\circ$ 的坡地全部实施封山育林, $15 \sim 25^\circ$ 的坡地退耕还林, 3a 之后实施封山育林, $\leq 15^\circ$ 的坡地实施退耕还草, 3a 之后退草还林,洼地或谷地实施保护性种植和养殖。

5 喀斯特复合退化生态系统的恢复与重建模式

喀斯特生态系统本身具有雨热资源、生物资源和水能资源丰富,小生境复杂和物种繁多等优势,尽管目前

在人类干扰下产生了不同程度的退化,但仍可以利用生态学的理论和方法,以该系统整体优化为目标,坚持以“生物措施为主、工程措施为辅,生态效应为主,经济、社会效应为辅,以本地物种或已经驯化了的物种为主、以外来物种为辅”的原则,通过在关键环节系统投入,对系统整理和重建,正向加速生态系统的演替过程,形成一种有利于人类的、良性循环的、达到或超越原始未受人类活动严重干扰的生态系统水平,且该系统更易于人类控制,保证“人-自然-经济”全面协调和可持续发展。本文针对喀斯特脆弱生态复合退化的机制和过程,总结前人的研究结果,在该系统复合退化控制模式的前提下,基于喀斯特地区的地形地貌特征,在喀斯特石山区、半石山区和土山丘陵区 3 类环境尺度范围内提出了喀斯特复合退化生态系统的恢复与重建模式,用以指导该区域人类、环境和社会的协调发展。这些模式不是“普适”或“万能”的,而是动态变化的,在不同的退化阶段、不同生境尺度范围内使用时要因地制宜加以协调和修正,最大限度地发挥模式的功率。

5.1 喀斯特石山区生态保护性重建模式

喀斯特石山区面积占总土地面积的 40% 以上,桂西北的都安、大化等县高达 90%, 25° 以上的陡坡地占 60% ~ 80%,土层瘠薄,耕地多分布在小而分散的洼地中,水文二维结构明显,易干旱缺水的耕地占 80% 以上,稻谷产量比常规水田低 50% ~ 60%,温饱问题尚难解决^[22],人地矛盾尖锐,掠夺性经营和人为干扰强烈,土地石漠化现象严重。在模式(1)的基础上,以生态效益和脱贫为主,兼顾社会和经济效益,以自然恢复为主,人工恢复为辅,建立保护性重建模式:

环境移民 + 劳务输出 + 养殖 + 沼气 + 种植

模式(2)

环境移民是一个综合系统工程,需要大量的人力、物力、财力和技术作保证,且对迁入区的生态环境有不良的影响。在顶级退化阶段、非人类生存区方能实施,否则部分移民,实现 1 户搬迁,2 户脱贫,或不移民。

劳务输出不仅能脱贫、减轻人地矛盾,且能将外界的信息与技术带回原地,投资少,效益高,各级政府部门和单位应加强引导和组织。

沼气是模式中重要的生态链条,将人、养殖、种植紧密结合在一起,同时能美化环境,最主要的是能节约能源,减少采樵,促进植被恢复。

养殖和种植是模式的中心内容,是生态恢复的突破口,但养殖和种植的对象应因地制宜,养殖的种类和密度也应控制在有利于生态恢复的范围内。种植除必须严格按模式(1)的控制措施实施外,不同的演替阶段应采取不同的植被恢复对策,其中草本阶段应大量补充繁殖体,特别是先锋性的固氮物种,适当考虑种植一些乡土经济林木;草灌阶段除补充繁殖体外,保护好已有的灌丛并适当修剪,加速植物生长,缩短其进入种子生产期的时间,尽快恢复植物种群的有性繁殖更新链;灌丛阶段应适当增加一些演替后期物种的繁殖体,同时间伐一些多灌木丛的径干,保留主干,加速乔木层的形成;灌乔阶段以森林抚育为主要措施,尽快形成顶级群落。

中国科学院亚热带农业生态研究所与广西区人民政府合作,从 1996 年起,在自然条件和生存条件十分恶劣的广西环江县下南乡按模式(2)实施,充分利用下南牛肉畅销海内外的品牌效应,以养牛为突破口,种植桂牧 1 号(牛草料),以养换粮,提高了农民的生活水平,家家户户建立了沼气池,基本消除了采樵、砍伐等干扰,且洼耕地都有部分实行了退耕还草,取得了良好的生态、经济和社会效益^[21]。贵州省花江示范区以种植花椒、砂仁等为突破口,在没有进行环境移民的条件下,按模式(2)实施同样取得了巨大的成功^[37]。

5.2 喀斯特土山丘陵区双三重螺旋生态重建模式

喀斯特土山丘陵区立地条件较好,小生境复杂、植物资源丰富、土特产品较多,而且还有大量的荒山荒地可进行开发(广西全区面积约 6 万 hm^2)^[21],是该区域的经济发展主战场。由于过分追求经济效益,盲目开垦和开发现象严重,土地退化现象也十分严重,为防止土山丘陵区逆向演替为石漠区,严格按照模式(1)实施的基础上,在保证生态效益、防止环境恶化的前提下,突出经济和社会效益,建立双三重螺旋生态重建模式即模式(3)(见图 2)。

此模型是近几年在国际创新研究中以 Etzkowitz 和 Loet 为领军人物提出了的三重螺旋模型^[39~43]的基础上建立的,与“政府 + 科技 + 企业 + 基地 + 农户”的简单自由放任型或线型模型不同,两个三重模型的每一个

参与者都具有很强的“互动自反”效应。“互动”指参与各方互动,产生网络和混合型组织;“自反”是指每一个参与者在完成任务使命的同时,也兼而扮演其他参与者的角色。上、下两个模型以企业为纽带,相互促进,螺旋上升。

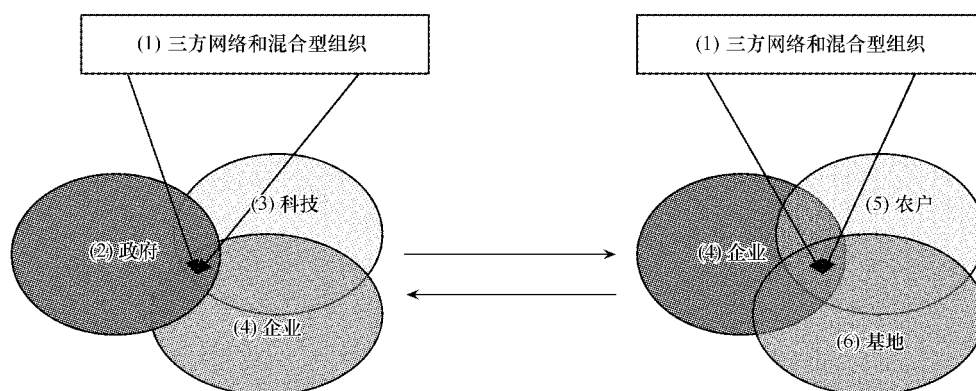


图2 喀斯特土山丘陵区双三重螺旋生态重建模式

Fig.2 The bi-helix model of Karst ecology restoration in hilly regions

(1) the network of the three sides and complex organization; (2) the government; (3) technology; (4) the enterprises; (5) farmers; (6) the bases

三重螺旋模型起源于对发达国家的研究,该理论认为在知识经济背景下,“高校(科技)-产业界-政府”三方应该相互协调,以推动知识的生产、转化、应用、产业化以及升级,促使系统在三者相互作用的动态过程中稳步提升。双三重模型针对我国社会主义初级阶段的农业产业化特点和喀斯特地区的特殊情况,对原三重螺旋模型进行了修正和调整。首先,我国是一个以全民所有制为主、多种经济体制和成分共存的国家,和发达国家相比,政府的主导力量更大;其次,科研成果转化率低^[43],仅10%~15%,企业特别是蓬勃兴起的民营农业企业技术力量薄弱,非常渴望技术,两者之间脱钩现象严重;三是喀斯特地区生态环境恶劣,经济条件落后,企业发展缓慢,既需要政府和科学技术的支持,又需要农户和基地的支撑;最后,我国实行分田到户、家庭承包责任制之后,小规模生产和社会化大市场之间的矛盾日益突出。双三重模型将能很好地解决以上喀斯特土山丘陵区的四种主要矛盾和问题,指导该区农业产业化进程的顺利进行。

基地建设在模式(1)的基础上,根据土山丘陵区土层深厚、有机质丰富、土壤综合肥力水平较高的特点和具体地形建立立体生态农业模式,即山顶树+坡腰果+山脚粮,树、果、粮应根据当地资源和市场需求而定。中国科学院亚热带农业生态研究所与广西壮族自治区政府从1996年开始合作实施的桂西北喀斯特地区异地扶贫开发科技示范项目,合作组织了政府、科研单位、农户三方参与和土地入股的科环扶贫开发有限公司,购置未开发土地247hm²,安置大石山区迁出的贫困户80户400余人,统一规范、统一建设、统一承贷承还资金,统一生产、统一技术、统一销售,按模式(3)操作,建立了国内外影响很大的喀斯特肯福环境移民基地,取得了重大的生态效益和经济效益,产生了深刻的社会影响^[44~47]。

5.3 喀斯特半石山区和其他特定环境生态重建模式

喀斯特半石山区是土山和石山的嵌合体,其中土地丘陵区可按模式(3)操作,石山区应逐步向土山区移民,并背靠石山区,根据当地资源环境 and 市场情况,石山区实施封山育林之外,还可实施封闭的经果林种植和特种养殖,由土山丘陵区带动石山区,建立外向型农业经济发展模式。其他诸如采石区、废矿区、火烧迹地、旅游开发区等根据模式(1)因地制宜、分门别类地建立生态重建模式^[48~50]。

References:

- [1] Cai Y L. Ecological rehabilitation and development of agriculture, forestry and animal husbandry in Karst mountain areas of southwest China: Status and trend of study. Resources Science, 1999, 21(5): 37-41.

- [2] Jiang Z C. An analysis on formation of the Karst fengcong depression in China. *Carsologica Sinica*, 1996, 15(1): 84—89.
- [3] Lin J Q. The distributed area and the features analysis of Karst and non Karst landscape in Guizhou. *Journal of Guizhou Educational College*, 2001, 21(4): 43—46.
- [4] Ding C, Shen F. Formation mechanism and distribution of karst physiognomy in China. *Journal of Tangshan Teachers College*, 2003, 25(5): 72—73.
- [5] Yao C H, Jiang Z C, Yuan D X. Vegetation Karst effects on the Karst Area of Southwest China. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(2): 159—164.
- [6] Li H Y, Ju M T. Principles and practices of ecological restoration. Beijing: Chemical Industry Press, 2004. 1—61.
- [7] Liu G H, Fu B J, Chen L X. Characteristic and distributions of degraded ecological types in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 13—19.
- [8] Mial Z, Marrs R. Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province, China. *Journal of Environmental Management*, 2000, 59: 205—215.
- [9] Li P H, Peng S L, Shen W J, *et al.* Landscape ecology and restoration of degraded ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1622—1628.
- [10] Peng S L, Lu H F. Some Key points of restoration ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1249—1257.
- [11] Martin R. Perrow, Anthony J. Davy. Handbook of ecological restoration. The United Kingdom: Cambridge University Press, 2002.
- [12] Xie Y Q. Restoration ecology. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(1): 28—34.
- [13] Zhang D F, Wang S J, Zhou D Q, *et al.* Intrinsic driving mechanism of land rocky desertification in Karst regions of Guizhou Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(4): 1—5.
- [14] Weng J T. The effect of carbonate rocks on global carbon cycle. *Advance in Earth Science*, 1995, 10(2): 154—158.
- [15] Jiang Z C, Yuan D X. Features of Kars Dynamic on Epi- karst and Its Environment and Resources Significance. *Journal of the Earth*, 1999, 20(3): 302—308.
- [16] Yuan D X. Karst and the global change research. *Advance in Earth Science*, 1995, 10(5): 471—474.
- [17] Yuan D X. Progress in the study on karst processes and carbon cycle. *Advance in Earth Science*, 1999, 14(5): 425—432.
- [18] He T B. Status of soil and water loss and counter measures of ecological agriculture construction in Guizhou Karst mountainous region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(5): 28—34.
- [19] Zhou Y Y, Jiang Z C, Wei Z L. Rational study on the drought and the cause of drought in central Guangxi Karst Agricultural area. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(2): 144—149.
- [20] Yang H K. Discussion on variation of Karst environmental quality. In: Xie Y H, Yang M D. Human activity and Karst Environment. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1994. 1—7.
- [21] Wang K L. Coordinated development tactics of agriculture and environment in ecological vulnerable regions. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 86—88.
- [22] John G, Sarah C, Michelle G, *et al.* Human impact on the Guilcagh karst, Ireland. In: Sauro U., Bondesan, A., Meneghel, M., Eds. Proceedings of the international conference on environmental changes in Karst area. Italy: Universita di Padova, 1991. 405.
- [23] Zhang H Y, Zhao X Y, Cai Y L, *et al.* The driving mechanism of human forces to the land-use change in Karst mountain area — The case study of Guizhou Province. *Geographical Research*, 1999, 18(2): 136—142.
- [24] Tuyet D. Characteristics of karst ecosystems of Vietnam and their vulnerability to human impact. *Acta Geologica*, 2001, 75(3): 325—329.
- [25] Lan A J, Xiong K N, An Y L. Analysis on driving factors of Karst rock desertification — With a special reference to Guizhou Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(6): 19—24.
- [26] Grant J P. The state of the world's Children 1994. New York: Unicef/Oxford University Press, 1994.
- [27] Yu L F, Zhu S Q, Ye J Z. Dynamics of a degraded Karst forest in the process of natural restoration. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(1): 1—7.
- [28] Liu Y L, Xue J H. Quantitative properties of degraded Karst forest communities in Maolan Mountain area of Guizhou. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2005, 29(3): 23—27.
- [29] Shen Y X, Jiang H, Chen S G, *et al.* Vegetation degradation and its restoration strategies of Karst upland in south-eastern Yunnan. *Journal of Mountain Science*, 2005, 12(4): 425—430.
- [30] Wang D L, Zhu S Q, Huang B L. Changes of vegetation features of rocky desertification process in Karst area of Guizhou. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2003, 27(3): 26—30.
- [31] Liu F, Wang S J, Luo H B, *et al.* Vegetation succession with Karst rocky desertification and its impact on water chemical of run off. *Acta*

Pedologica Sinica, 2006, 43(1): 26—32.

- [32] Long J, Huang C Y. Effect of land use pattern on the change of soil quality in Karst mountains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 76—79.
- [33] Long J, Deng Q Q, Jiang X R, *et al.* Effects of different de-farming and reforestation patterns on changes of soil fertility quality in karst region of southwesten China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1279—1284.
- [34] Liu F, Wang S J, Liu Y S, *et al.* Changes of soil quality in the process of karst rocky desertification and evaluation of impact on ecological environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 639—644.
- [35] Zhao Z Q, Hou L S, Cai Y L. The process and mechanism of soil degradation in Karst area in southwest China. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(3): 185—189.
- [36] Wang D L, Zhu S Q, Huang B L. Preliminary study on types and quantitative assessment of Karst rocky desertification in Guizhou Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1057—1063.
- [37] Teng J Z, Su W C, Liao F L. Analysis of eco-economic control models and benefits of rocky desertification region in Huajing Karst Gorge in Guizhou. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2(3): 70—74.
- [38] Etzkowitz Henry. The dynamics of innovation; from national systems and “Mode 2” to a triple helix of University- industry-government relations. *Research Policy*, 2000, 29: 109—123.
- [39] Etzkowitz Henry. The triple helix of University-Industry-Government implications for policy and evaluation, Working Paper of Institute for studier av utbildning och forskning, 2002, 11.
- [40] Etzkowitz Henry. Research groups as Quasi-Firms': The invention of the entrepreneurial university. *Research Policy*, 2003, 32: 109—121.
- [41] Loet Leydesdorff. The triple helix; A evolutionary model of innovations. *Research Policy*, 2000, 29: 243—255.
- [42] Tu J, Wu G S. An introduction of the Triple Helix model and its application in China. *Science Research Management*, 2006, 27(3): 75—80.
- [43] Shen S, Chen Q, Sun H X. Calculation and forecast for contribution rate of science and technology to Chinese economy growth. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 2003, 23(4): 108—110.
- [44] Huang Y, Su Y R, Wang K L. Influence of land utilization on soil fertility changes in Kenfu demonstration area of environmental immigrants, northwest China. *Soil and Environmental Science*, 2000, 9(4): 281—283.
- [45] Zeng F P, Wang K L, Li L, *et al.* Structure and function of several intercropping ecosystems in newly built orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(4): 497—501.
- [46] Su Y R, Huang Y, Wang K L. Soil water availability in new-cultivated hillside land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(4): 507—511.
- [47] Zeng F P. Characteristics and performances of seepage on new open paddy field in Karst regions in northwest Guangxi. *Journal of Soil and Water conservation*, 2006, 20(4): 140—142.
- [48] Long L, Xiong K N, Mei Z M, *et al.* Study on ecological recultivation of abandoned limestone quarry in Karst area — With a special reference to the Huajiang area, Guizhou *Carsologica Sinica*, 2005, 24(4): 288—292.
- [49] Zeng F P, Wang K L, Song T Q. The karst covers recovery with artificial the performance research with the mountain area a nature. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(6): 693—697.
- [50] Tao Y G, Zhang C L, Yin H M, *et al.* Study on temporal evaluation on Karst tourism destination development. *Carsologica Sinica*, 2005, 24(3): 331—337.

参考文献:

- [1] 蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展:研究现状与趋势. *资源科学*, 1999, 21(5): 37—41.
- [3] 林俊清. 贵州喀斯特与非喀斯特地貌分布面积及其特征分析. *贵州教育学院学报*, 2001, 12(4): 43—46.
- [4] 丁晨, 沈方. 中国喀斯特地貌的形成机制及分布. *唐山师范学院学报*, 2003, 25(5): 72—73.
- [5] 姚长宏, 蒋忠诚, 袁道先. 西南岩溶地区植被喀斯特效应. *地球学报*, 2001, 22(2): 159—164.
- [6] 李洪远, 鞠美庭. 生态恢复的原理与实践. 北京: 化学工业出版社, 2004. 1—61.
- [7] 刘国华, 傅伯杰, 等. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. *生态学报*, 2000, 20(1): 13—19.
- [9] 李明辉, 彭少麟, 申卫军, 等. 景观生态学与退化生态系统恢复. *生态学报*, 2003, 23(8): 1622—1628.
- [10] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学焦点问题. *生态学报* 2003, 23(7): 1249—1256.
- [12] 谢运球. 恢复生态学. *中国岩溶*, 2003, 22(1): 28—34.
- [13] 张殿发, 王世杰, 周德全, 等. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制. *水土保持通报*, 2001, 21(4): 1—5.
- [14] 翁金桃. 碳酸盐岩在全球碳循环过程中的作用. *地球科学进展*, 1995, 10(2): 154—158.

- [15] 蒋忠诚,袁道先. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义. 地球学报,1999,20(2):302~308.
- [16] 袁道先. 岩溶与全球变化研究. 地球科学进展, 1995, 10(5): 471~474.
- [17] 袁道先. 岩溶作用与碳循环研究进展. 地球科学进展,1999,14(5):425~432.
- [18] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨. 水土保持学报,2000,14(5):28~34.
- [19] 周游游,蒋忠诚,韦珍莲. 广西中部喀斯特干旱农业区的干旱程度及干旱成因分析. 中国岩溶,2003,22(2):144~149.
- [20] 杨汉奎. 论喀斯特环境质量变异. 见:谢云鹤,杨明德. 人类活动与岩溶环境. 北京:北京科学技术出版社,1994. 1~7.
- [21] 王克林. 生态脆弱区域农业与环境协调发展策略. 中国生态农业学报,2001,9(2):86~88.
- [23] 张慧远,赵昕奕,蔡运龙,等. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究——以贵州省为例. 地理研究,1999, 18(2):136~142.
- [25] 蓝安军,熊康宁,安裕伦. 喀斯特石漠化的驱动因子分析——以贵州省为例. 水土保持通报,2001,21(6):19~24.
- [27] 喻理飞,朱守谦,叶镜中. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究. 林业科学,2002,38(1):1~7.
- [28] 刘映良,薛建辉. 贵州茂兰退化喀斯特森林群落数量特征. 南京林业大学学报(自然科学版),2005,29(3):23~27.
- [29] 沈有信,江浩,陈胜国,等. 滇东喀斯特山地植被退化及其恢复对策. 山地学报,2005,23(4):425~430.
- [30] 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化. 南京林业大学学报(自然科学版),2003,27(3):26~30.
- [31] 刘方,王世杰,罗海波,等. 喀斯特石漠化过程中植被演替及其对径流水化学的影响. 土壤学报,2006,43(1):26~32.
- [32] 龙健,黄昌勇. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响. 水土保持学报,2002,16(1):76~79.
- [33] 龙健,邓启琼,江新荣,等. 西南喀斯特地区退耕还林(草)模式对土壤肥力质量演变的影响. 应用生态学报,2005,16(7):1279~1284.
- [34] 刘方,王世杰,刘元生,等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价. 生态学报,2005,25(3):639~644.
- [35] 赵中秋,后立胜,蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨. 地学前缘,2006,16(3):185~189.
- [36] 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 贵州喀斯特石漠化类型及程度评价. 生态学报,2005,25(5):1057~1063.
- [37] 滕建珍,苏维词,廖凤林/贵州北盘江镇喀斯特峡谷石漠化地区生态经济治理模式及效益分析. 中国水土保持科学,2004,2(3):70~74.
- [42] 涂俊,吴贵生. 三重螺旋模型及其在我国的应用初探. 科研管理,2006,27(3):75~80.
- [43] 沈思,陈泉,孙红湘. 中国科技贡献率的测度和预测. 长安大学学报(自然科学版),2003,23(4):108~110.
- [44] 黄宇,苏以荣,王克林. 桂西北肯福环境移民示范区土地利用对土壤肥力变化的影响. 土壤与环境,2000,9(4):283~283.
- [45] 曾馥平,王克林,李玲,等. 新建果园几种作物间种模式生态结构及功能研究. 应用生态学报,2003,14(4):497~501.
- [46] 苏以荣,黄宇,王克林. 新垦红壤坡地土壤水分有效性研究. 应用生态学报,2003,14(4):507~511.
- [47] 曾馥平. 桂西北喀斯特地区新开水田渗漏特征与效益. 水土保持学报,2006,20(4):140~142.
- [48] 龙俐,熊康宁,梅再美,等. 喀斯特地区石材开采迹地生态复垦研究——以贵州花江示范区为例. 中国岩溶,2005, 24(4):288~292.
- [49] 曾馥平,王克林,宋同清. 喀斯特山区火灾迹地自然与人工恢复效益. 山地学报,2004,22(6):693~697.
- [50] 陶玉国,张春丽,殷红梅,等. 喀斯特旅游地开发时序评价研究. 中国岩溶,2005,24(3):331~337.