DOI: 10.5846/stxb201610072003
王克林,岳跃民,马祖陆, 雷廷武,李德军, 宋同清.喀斯特峰丛洼地石漠化治理与生态服务提升技术研究.生态学报,2016,36(22): - .
Wang K L, Yue Y M,Ma Z L, Lei T W, Li D J, Song T Q.Research and demonstration on technologies for rocky desertification treatment and ecosystem services enhancement in karst peak-cluster depression regions.Acta Ecologica Sinica,2016,36(22): - .

# 喀斯特峰丛洼地石漠化治理与生态服务提升技术研究

王克林[1,2,*],岳跃民[1,2],马祖陆[3], 雷廷武[4],李德军[1,2], 宋同清[1,2]
1 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125
2 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 环江 547100
3 中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004
4 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083

**摘要**:针对峰丛洼地区域石漠化面积削减较为迅速、亟需从前期治理侧重遏制面积扩张转向生态服务提升为主的新阶段后面临的治理投入与分区较为粗放、治理技术与模式缺乏针对性、综合效益亟待提升等问题,以生态服务提升为核心目标,系统研究生态工程实施以来区域石漠化演变的关键因子、水土流失/漏失关键过程与调控、植被恢复与人工诱导提升土壤生态功能机理,突破面向生态功能优化的区域生态系统监测评估、表层岩溶水生态调蓄与高效利用、有机物资源利用与退化土壤肥力提升、耐旱型植物群落构建与规模化建植、可持续性生态衍生产业培育等关键技术,形成生态服务提升与民生改善的区域石漠化治理系统性解决方案,为石漠化治理二期工程与扶贫提供科技支撑与示范样板。

**关键词**:喀斯特;峰丛洼地;石漠化;演变机理;治理技术;生态服务提升

# Research and demonstration on technologies for rocky desertification treatment and ecosystem services enhancement in karst peak-cluster depression regions

WANG Kelin[1,2], YUE Yuemin[1,2],MA Zulu[3], LEI Tingwu[4], LI Dejun[1,2], SONG Tongqing[1,2]
1 *Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Hunan, Changsha* 410125, *China*
2 *Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Guangxi Huanjiang* 547100, *China*
3 *Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guangxi Guilin* 541004, *China*
4 *College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*

**Abstract**: The rocky desertification is the most seriously eco-environmental problem in karst regions, Southwest China. The local and national Chinese governments have being implemented a series ecological restoration projects to combat and control rocky desertification. The decrease of rocky desertification in karst peak-cluster depression regions is relatively faster than other karst landforms. However, the treatment of rocky desertification still faced the extensive investment and subregion, the lack of regional pertinence for treatment technology and model, and low comprehensive benefits. Therefore, it should be paid more attention to enhance the ecosystem services in combating and controlling rocky desertification in karst peak-depression regions, including the area increase of rocky desertification. One of the National Key Research and Development Programs has been supported by the Ministry of Science and Technology of China (Grant No. 2016YFC0502400). This program aimed to enhance the ecosystem services of karst peak-cluster depression. Firstly, this program explores the mechanisms of rocky desertification evolution on regional scale, the regulation and control of water and soil loss and drop out processes, vegetation recovery and human-driven enhancement of soil ecological functions. Then, it will research and

**基金项目**:国家重点研发计划项目(2016YFC0502400)
**收稿日期**:2016-10-07
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: kelin@ isa.ac.cn

develop the adaptively ecological restoration and reconstruction technology related to the function optimization-oriented ecosystem monitoring and assessment, the regulation, storage, and efficient utilization of epikarst water, the utilization of organic materials and improvement of degraded soil fertilities, the construction and assembly of drought-enduring vegetation communities and large-scale plantation, the cultivation and development of ecological derived industries. At last, with the integration and demonstration of adaptive restoration technology, the program will propose systemic solutions to accomplish the synergies of ecosystem services enhancement and livelihoods improvement for the comprehensive treatment of rocky desertification. This implementation of this program will provide scientific foundations and demonstration prototype for the implementation of karst rocky desertification management and control project and poverty relief.

**Key Words**: Karst; peak-cluster depression; rocky desertification; evolution mechanisms; treatment technology; ecosystem services enhancement

经过“十一五”、“十二五”期间大规模的生态保护与建设,西南喀斯特区域生态重建初见成效,石漠化面积已实现由持续增加向“净减少”的重大转变,石漠化治理已进入从前期有效遏制转到深入推进的转型阶段[1-2]。峰丛洼地在喀斯特高原、断陷盆地、槽谷等八大喀斯特地貌类型中面积最大(12.5 万 $km^2$),约占西南喀斯特区域总面积的 1/4,主要位于贵州高原向广西丘陵过渡的大斜坡地带[3-5]。该区石漠化防治与脱贫、资源开发与生态保护的矛盾更为突出,亟需将生态治理与生态系统服务功能提升有机结合[3, 6-7, 9-11]。

喀斯特地区生态环境问题是当今国际地学研究的热点[12-14]。国际上早期的喀斯特研究以欧洲占主导地位,侧重开展地理地质综合研究,近年来侧重研究喀斯特生态环境脆弱性成因以及对全球变化的相应,人类活动对植被演替、水土过程和生态服务的影响也得到关注[15-18]。瑞士充分利用喀斯特山区的景观资源发展旅游业,成为人类与喀斯特资源环境协调发展模式的典范[19]。国外喀斯特地区人口和贫困压力相对舒缓,生态环境以保护为主,而我国西南喀斯特地区环境脆弱、社会经济发展水平低,以高强度农业活动为主,人地矛盾尖锐,生态恢复在国际上缺乏可借鉴的科学经验和技术[5, 20]。

“十五”以来,国内围绕喀斯特水资源开发利用、退化生态系统重建与产业发展,建立了贵州高原喀斯特、广西峰丛洼地石漠化治理试验示范基地,在构建复合农林生态系统、发掘和推广特色农林植物、水土保持与土壤改良等方面形成了一些治理技术与方法,提出了具有一定推广意义的治理模式[3, 8-9, 21-25]。相比喀斯特高原、断陷盆地、槽谷等喀斯特地貌类型区,峰丛洼地水热条件相对较好、石漠化面积削减相对迅速,但治理面临着植被群落稳定性差、生态服务提升慢、治理技术与模式缺乏区域针对性等问题[3, 5, 9]。作为我国西南生态安全屏障关键区域和扶贫攻坚核心区域,峰丛洼地地区比邻西南出海大通道,是国家重点发展的北部湾经济区生态腹地,亟需在前期研究生态系统退化机制与适应性修复技术基础上,以减少人类活动干扰和缓解贫困为主线,将生态治理与人口-产业布局调整、特色生态衍生产业培育和民生改善有机结合,通过石漠化综合治理提升区域生态服务功能,促进区域可持续发展。

2016 年 7 月,国家重点研发计划项目“喀斯特峰丛洼地石漠化综合治理与生态服务功能提升技术研究示范”正式立项,该项目由中国科学院亚热带农业生态研究所作为牵头单位,联合中国地质科学院岩溶地质研究所、国家林业局石漠化监测中心、中国农业大学、中国水利水电科学研究院、广西植物研究所、广西师范学院等国内喀斯特研究优势单位共同承担。该项目的立项与实施,既是贯彻中共中央国务院《关于加快推进生态文明建设的意见》“继续推进石漠化综合治理”的具体举措,也是落实“十三五”规划纲要关于“提升西部生态安全屏障功能、推进石漠化区域综合治理”的具体行动。

## 1 项目研究内容

### 1.1 主要研究内容

(1)生态工程背景下区域石漠化演变机制及治理成效评估

开展区域生态本底状况与石漠化时空格局演变研究,揭示生态工程实施以来石漠化格局演变的关

键驱动因子及其贡献率,研发面向功能优化的区域生态系统监测与评估技术,评估前期石漠化治理成效及其存在的问题,提出区域石漠化治理重点与分区优化防控方案,构建业务化运行的石漠化动态监测与防控决策支持系统。

(2)地表-地下水资源综合调控与高效利用技术

研究植被-土壤-表层岩溶带水文过程相互作用,构建流域尺度的地表-地下水文水质监测体系,揭示雨水、植物水、土壤-表层岩溶带水、地表水与地下水等“五水”水文循环及相互转换过程,定量评价流域尺度水资源量及缺水程度;研发以流域为单位的地表-地下水生态调蓄与优化调配、水质净化、高效利用等关键技术,增加流域内可有效利用水资源量。

(3)水土流失/漏失关键过程与阻控技术

研究水土流失/漏失关键过程与主控因素,揭示水土流失/漏失发生机制,研发室内人工模拟降雨和野外现场自然降雨条件下水土流失/漏失的定量监测技术,构建监测体系与数据库;建立水土流失/漏失过程预测模型,定量预报水土流失/漏失;研发水土流失/漏失生物-工程协同阻控技术与模式,并开展技术示范。

(4)有机物资源利用与退化土地肥力提升技术

研究退化土地碳氮转化过程及固持机理,研发碳氮关键过程调控、有机物资源就地/原位利用、退化土地肥力提升等技术,突破玉米秸秆、蔗渣、桑枝等农业有机物料就地/原位快速降解技术, 构建基于种草养畜-养殖废弃物高效处理与利用、种桑养蚕-蚕砂无害化处理-桑枝资源化利用的退化土地肥力提升技术模式,开展试验示范。

(5)植被复合经营与特色生态衍生产业培育技术

研究植被群落稳定性及多样性维持机制,研发退化植被近自然改造、生态高值功能植物种类筛选与定向培育、人工植被复合经营与高效利用、立体高效生态衍生产业培育等技术,建立标准化精准试验示范基地,开发特色植被复合经营产品,形成喀斯特特色生态衍生产业发展格局。

(6)生态服务提升与民生改善的石漠化治理模式集成与示范

以单位面积生态服务提升为主线,研发植被-土壤生态功能协同提升技术,集成适应性水-土-植被-产业技术体系,提出基于城镇化生态移民、生态旅游、精准扶贫的社会化共同治理对策,构建生态服务提升与民生改善的石漠化综合治理范式,形成区域石漠化综合治理系统性解决方案,开展县域应用示范。

### 1.2　研究思路

针对峰丛洼地区域石漠化面积消减较快、亟需从前期治理侧重遏制面积扩张转向单位面积生态服务提升,以减少人类活动干扰、缓解贫困、发展可持续性特色生态衍生产业为主线,按照“格局演变-关键生态过程机理-适应性技术研发-集成示范”的思路,形成生态服务提升与民生改善的石漠化治理系统性技术方案。

依托环江喀斯特生态系统国家野外科学观测研究站、国土资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室等研究平台,拓展与新建 4 个示范区,以生态服务提升为核心目标,分析生态工程背景下石漠化演变机理及治理成效,研发表层岩溶水生态调蓄与高效利用、土壤漏失阻控与地力提升、耐旱型植物群落构建与规模化建植、可持续特色生态衍生产业培育技术,构建生态服务提升与民生改善的石漠化综合治理模式,并开展县域应用示范。项目研究技术路线如下:

## 2　总体目标

### 2.1　项目总体目标

以生态服务功能提升为核心目标,以减少人类活动干扰、发展可持续性特色生态衍生产业和缓解贫困为主线,研究石漠化演变机理,评估治理成效,研发水土资源高效利用与植被复合经营技术,培育生态衍生产业,构建生态服务提升与民生改善的石漠化综合治理模式,为石漠化治理二期工程与扶贫提供科技支撑与示范样板。

### 2.2　主要考核指标

阐明峰丛洼地石漠化过程中水循环、水土流失/漏失、土壤碳氮转化与固持、植被稳定性维持、植被-土壤生态功能协同提升等机理与机制,形成相关理论研究成果;明确区域石漠化演变关键驱动因子与治理成效,揭示水土二元流失阻控途径,提出缓解贫困与提升生态服务的适应性发展模式。研发水资源高效利用技术 4 项,土壤漏失阻控与肥力提升技术

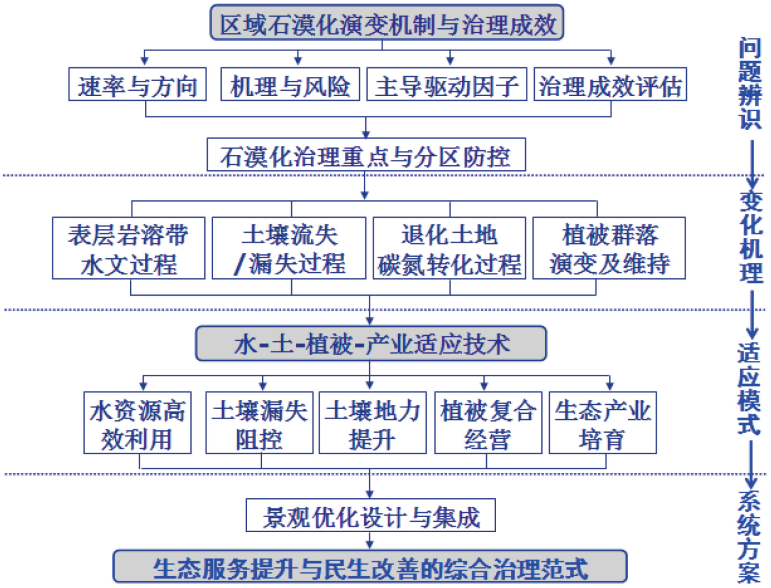



**图 1 项目研究技术路线图**

**Fig.1 The technology framework**

6 项,植被复合经营与生态衍生产业技术 7 项;提出综合治理模式 3 项,形成生态治理与生态产业协同技术方案。拓展原有 2 个示范区,新建 2 个示范区(辐射县域以上面积);示范区指标覆盖率提高 15%,土壤漏失量减少 30%,人均收入增加 50%;示范推广面积 5 万亩,辐射百色、河池、桂林等市。发表论文 100 片,申请发明专利 20 项,制订技术标准 3—5 项,提交咨询报告 2 份。培养研究生 35 名,技术培训 3000 人次。

## 3 项目研究展望

作为“十三万”国家重点研发计划的首批立项项目,喀斯特峰丛洼地石漠化治理项目的实施将集中体现专项任务全链条设计、一体化实施的特点:项目目标将转向生态治理与生态产业的有机结合、提升生态系统服务;机理研究将转向喀斯特坡地-洼地-流域的地上-地下相互作用机理及土壤-植被系统的协同恢复机制;研究方法上将重视喀斯特生态系统格局-过程-功能的耦合;适应性修复技术研发上将注重技术集成、可持续性生态产业的培育,并关注多元社会化治理模式;成果示范推广将创新石漠化治理管控机制,注重治理模式的区域针对性;生态系统管理上将加强监测评估与适应性管理,支撑石漠化治理二期工程和精准扶贫。

通过本项目的实施,将揭示峰丛洼地石漠化演变机理,评估前期治理成效,研发形成水土资源高效利用、植被复合经营、生态衍生产业培育等技术体系,构建生态服务提升与民生改善的石漠化综合治理模式,将为峰丛洼地石漠化治理二期工程与扶贫提供科技支撑与示范样板。然而,由于喀斯特特殊地形地貌及气候条件的影响,项目实施过程中可能存在一定的风险和不确定性:喀斯特多阴雨天气导致高质量遥感影像获取较为困难、石漠化信息提取可能存在一定的误差;岩土结构复杂、异质性强,野外模拟试验重复性差;降水量及地下水丰富,但有效开采存在难度等问题。针对上述可能存在的问题,项目执行过程中将利用不同遥感数据源进行融合与查补,并加强地面验证;同时,对岩土结构进行详细三维调查,根据复杂程度选择试验小区;加强水资源开发勘察基础研究,通过地表蓄水、植被-土壤生态保水蓄水措施提高水资源供给,保障项目的顺利实施。

**参考文献(References):**

[1] 国家林业局. 中国石漠化状况公报. 2012

[2] 沈国舫, 李世东. 我国生态保护和建设概念地位辨析与基本形势判断. 中国工程科学, 2015, 17(8): 103-109.

[3] 蒋忠诚, 李先琨, 曾馥平, 等. 岩溶峰丛洼地生态重建. 北京: 地质出版社, 2007.

[4] 刘丛强等. 生物地球化学过程与地表物质循环:西南喀斯特土壤-植被系统生源要素循环. 北京: 科学出版社, 2009.

[5] 袁道先, 蒋勇军, 沈立成, 等. 现代岩溶学. 北京: 科学出版社, 2016.

[6] 傅伯杰. 生态系统服务与生态系统管理. 第十五届中国科协年会特邀报告, 2013 年 5 月

[7] 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. 北京: 高等教育出版社, 2013.

[8] 蒋忠诚, 罗为群, 邓艳, 曹建华, 覃星铭, 李衍青, 杨奇勇. 岩溶峰丛洼地水土漏失及防治研究. 地球学报, 2014, 35(5): 535-542.

[9] 王克林, 陈洪松, 岳跃民. 桂西北喀斯特生态系统退化机制与适应性修复试验示范研究. 科技促进发展, 2015, 11 (2): 179- 184.

[10] Benayas J M R, Newton A C, Diaz A, Bullock J M. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. Science, 2009, 325(5944): 1121-1124.

[11] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, L F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F. Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. Science, 2016, 352(6292): 1455-1459.

[12] Loaiciga H A, Maidment D R, Valdes J B. Climate-change impacts in a regional karst aquifer, Texas, USA. Journal of Hydrology, 2000, 227(1-4): 173-194.

[13] White W B. Karst hydrology: recent developments and open questions. Engineering Geology, 2002, 65(2-3):85-105

[14] De Waele J, Gutierrez F, Parise M, Plan L. Geomorphology and natural hazards in karst areas: a review. Geomorphology, 2011, 134(1-2): 1-8.

[15] Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. Rocky desertification in Southwest China: impacts, causes, and restoration. Earth-Science Reviews, 2014, 132: 1-12

[16] Gutierrez F, Parise M, De Waele J, Jourde H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. Earth-Science Reviews, 2014, 138: 61-88.

[17] Yan X, Cai Y L. Multi-scale anthropogenic driving forces of karst rocky desertification in Southwest China. Land degradation & Development, 2015, 26(2): 193-200.

[18] Jeannin P Y, Hessenauer M, Malard A, Chapuis V. Impact of global change on karst groundwater mineralization in the Jura Mountains. Science of The Total Environment, 2016, 541: 1208-1221.

[19] Hall A, Day M. Ecotourism in the state forest karst of Puerto Rico. Journal of Cave and Karst Studies, 2014, 76(1): 30-41.

[20] 蔡运龙, 蒙吉军. 退化土地的生态重建: 社会工程途径. 地理科学, 1999, 19(5): 198-204.

[21] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 曾馥平, 王久荣. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式. 生态学报, 2008, 28(2): 811-820.

[22] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 王克林, 刘璐, 鹿士杨, 杜虎. 喀斯特峰丛洼地退耕还林还草的土壤生态效应. 土壤学报, 2011, 48(6): 1219-1226.

[23] 陈洪松, 杨静, 傅伟, 何菲, 王克林. 桂西北喀斯特峰丛不同土地利用方式破面产流产沙特征. 农业工程学报, 2012, 28(16): 121-126.

[24] 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势. 地球科学进展, 2007, 22(6): 573-582.

[25] 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题. 地理学报, 2012, 67(7): 878-888.