喀斯特小流域石漠化综合治理技术研究
——以贵州省毕节市石桥小流域为例

高渐飞[1,2], 熊康宁[1,2], 苏孝良[1,2], 周 玮[1,2]
(1. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001;
2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 采用 SPOT 影像(2.5 m 分辨率),利用 3S 技术勘察研究了贵州省毕节市石桥小流域不同土地利用方式的石漠化分布情况。研究结果表明,流域内部分耕地、灌木林地、疏林地、荒草地发生了石漠化(轻度及以上),其它土地利用方式无石漠化分布。根据流域上、中、下游段生境特征与社会经济发展情况,分别对发生石漠化的各类土地采取生物与工程措施治理,以坡耕地林—草、林—粮、粮—草间作及轮作复合经营作为高人口压力下生态建设的突破口,以水资源提取—高位水池—管网调度利用为核心,建立了城郊型混农林草牧(禽)业模式,初步形成引领小流域农村经济发展的生态产业。流域内水土流失与石漠化趋势得到遏制,流域土壤流失量减少了 32%,人均收入增加了 532 元,生态、经济、社会发展逐渐步入可持续发展轨道。

关键词: 3S 技术; 土地利用; 石漠化; 综合治理技术
文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2011)02-0117-05 **中图分类号**: S157, P931

Integrated Rehabilitation Techniques of Rocky Desertification in a Watershed of Karst Areas
— With Special Reference to Shiqiao Catchment of Bijie City, Guizhou Province

GAO Jian-fei[1,2], XIONG Kang-ning[1,2], SU Xiao-liang[1,2], ZHOU Wei[1,2]
(1. *Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou* 550001, *China*; 2. *The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountiain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou* 550001, *China*)

Abstract: The distribution of rocky desertification in different types of land use was identified on SPOT imagery (2.5 m resolution) with 3S technology. The results indicate that, rocky desertification (over mild degree of desertification) occurred in parts of cultivated lands, shrub lands, sparse woodlands and/or grasslands. According to the habitat characteristics and social economic development of the upstream, midstream, and downstream areas in Shiqiao catchment, engineering and biological measures of desertification control were suggested as followed: (1) Practicing intercropping and rotation of tree—grass, tree—crop, crop—grass in sloped farmland as breakthrough points of ecological construction under high population pressure; (2) Optimizing water resource network of water pumps, head tanks and channels as the kernel; (3) Developing a suburban hybrid industry of agriculture, forestry and animal husbandry as a ecological system to promote rural economic growth in future. Finally, water and soil loss, rocky desertification will be controlled with soil erosion reduction of 32%, income increase of 533 yuan per capita, and sustainable ecology, economy and society.

Keywords: 3S technology; land use; rocky desertification; integrated rehabilitation technology

不同土地利用方式形成的石漠化具有不同的生态功能,不同等级石漠化恢复方式亦不同,如果这些问题不能及时得到有效解决,治理措施的布局很难在空间位置和程度上做到有的放矢和准确把握,因此会直接影响到石漠化治理的工作进度和整体效果[1]。当前,对石漠化与土地利用的关系或相关性也有研究,但结果与实际却有一定差异,有些研究[1-2]认为有林地、灌木林地存在强度石漠化,甚至极强度石漠化,

收稿日期:2010-09-16 **修回日期**:2010-10-24
资助项目:国家"十一五"科技支撑计划重大课题"喀斯特高原退化生态系统综合整治技术与模式"(2006BAC01A09); 贵州省科技计划课题"贵州喀斯特石漠化生态系统综合整治技术与模式研究与示范"[黔科合 S 字(2007)1061 号]; 贵州师范大学学生科研重点项目
作者简介:高渐飞(1985—),男(汉族),贵州省威宁县人,硕士研究生,主要从事 GIS 与石漠化治理研究工作。E-mail:gaojf2010@163.com。
通信作者:熊康宁(1958—),男(汉族),贵州省威宁县人,教授,主要从事喀斯特环境研究工作。E-mail:xiongkn@163.com。

这与有林地的盖度属性就是相互矛盾的(强度石漠化岩石裸露率>90%[3],而有林地郁闭度≥80%,灌木林地郁闭度≥40%[4])。因此,迫切需要研究引起石漠化发生的土地利用方式的条件以及规律。此外,当前石漠化综合治理试点在即,贵州省有 350 余条小流域被列入试点,但以喀斯特小流域为单元的石漠化综合治理研究仍然空缺。本研究以试点小流域毕节石桥小流域为研究区,利用 3S 技术,调查研究不同土地利用方式引起石漠化的条件和程度,并在此基础上根据小流域环境条件与经济社会发展方向,研究不同土地利用方式的石漠化治理技术以及小流域综合治理模式与方式,为同类喀斯特环境石漠化综合治理提供可操作的实践借鉴。

1 研究区概况

石桥小流域位于乌江流域上游毕节市东南部鸭池镇白浦河支流区,区内三叠系永宁组灰岩石广布(>90%),为典型喀斯特中山高原山地地貌,最高海拔 1 742 m,最低海拔 1 400 m,相对高差 342 m,具有温凉山地气候特征,常年平均气温 12.8 ℃,雨水丰沛,平均降雨量 863 mm,但时空分布不均,5—10 月降雨量占全年雨量的 82.3%,季节性缺水相当严重;由于地下通道、暗河较为发育,区域内地表径流全部渗入地下,属典型水土不匹配、工程性缺水严重区域。区域内植被覆盖率低(治理前 23.5%),石漠化较为严重,利用研究区 2007 年 SPOT 卫星遥感影像数据(2.5 m 分辨率),根据 0.01 km^2 的图斑中岩石裸露率(%)、植被+土被覆盖率(%)为解译标准,将石漠化等级分为:无石漠化、潜在石漠化、轻度、中度、强度及极强度石漠化[3];依据全国土地分类(过渡期间适用),将土地利用类型划分为:水田、旱地、园地、有林地、灌木林地、疏林地、河流水域(包括河流、坑塘水面)、建筑用地(含农村居民地、城镇用地、公路用地及工矿用地)、荒草地。采用 3S 技术,通过 GPS 野外实地建立解译标志,用遥感影像的光谱特征自动提取和人机交互解译相结合的方法,同时叠加地形图、土地利用图、植被图、林业资源二次调查图等图件综合分析,经过野外实地验证校正,建立土地利用与石漠化空间数据库,通过空间叠加分析,查明不同土地利用方式下的石漠化分布情况。

研究结果表明,在 775.99 hm^2 的喀斯特面积中,石漠化面积占 52.0%。其中,轻度、中度和强度石漠化分别占 38.8%,10.9%和 4.5%,仅有 26.1%的土地无石漠化分布,仍有 22.8%的土地处于潜在石漠化区,且石漠化土地中以耕地为主,占到 55.10%;灌木林地、疏林地和荒草地的石漠化分布分别为 31.00%,11.10%和2.80%。在流域 4 个区中,上游东区(大坡顶、甘堰塘)除洼地分布有少许水稻田外,其余以坡耕地为主,已开垦至山体上中部,有的至坡顶,但仍有较厚土层,石漠化状况以轻度为主,山体上部及顶部残留少量的灌木、灌草,山头多出现裸岩,表现为中度、强度石漠化;西区(张家院子、石家院子、田湾子与吉家寨子)多为石旮旯地,陡坡开垦严重,基岩裸露面积大,只在不具开垦条件的陡险山坡上有灌木或灌草丛,生态环境十分恶劣,以中、强度石漠化为主;中游区包括半坡、余家坡、大苗寨;中游至下游区(以龙潭边为主),除洼地分布有水田外,其它区域主要是坡地,土层较厚,石漠化等级以轻度为主(表 1)。

表 1 石桥小流域不同土地利用方式下石漠化的分布情况 hm^2

土地利用类型	无石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	强度石漠化	非喀斯特区
水 田	14.56	0	0	0	0	0
旱 地	78.40	86.96	160.25	41.83	20.37	54.20
有林地	12.15	3.21	0	0	0	9.21
灌木林地	23.25	61.98	93.86	31.40	0	4.87
疏林地	24.85	25.13	35.13	0	0	6.45
河流水域	5.70	0	0	0	0	0
建筑用地	36.04	0	0	0	0	3.37
荒草地	0	0	0	11.38	9.54	0

经实地调查统计 2007 年末流域内总人口 4 410 人,人口密度高达 516 人/km^2,农业人口占 99%。因耕地石漠化问题突出,水源缺乏,粮食产量低而不稳,人均耕地虽有 0.10 hm^2,但绝大部分(96%)的耕地为山坡上的石旮旯地,主要经济来源为农作物、养猪和外出务工,产业结构单一,主要农作物为玉米(>90%)、黄豆、辣椒等。

2007 年农民人均纯收入 2 173 元,其中外出务工收入占 64%;46%的人畜饮水存在困难,是贵州省生存条件恶劣的贫困区之一,面临生态重建和加快经济发展的双重压力。解决人畜饮水问题,规划调整用地结构,引领农村产业发展,把农民从“种玉米—饲养猪—生态破坏”的恶性循环中解救出来是石漠化治理的关键课题。

2　治理措施布设

2.1　措施总体布局

石桥小流域地处喀斯特高原山区,垂直高差不大,但流域上、中、下游的生境差异大,如上游区和分水岭地带水资源贫乏,而下游地段和洼底间则遭受水淹、内涝;石漠化程度亦表现出中上游强于下游区的特点[5]。流域上、中、下游段发生石漠化的疏、灌林地及荒草地,采取自然与人工促进封育以及营造生态林等措施。对发生石漠化的耕地,上游区,以林—粮间作为主;甘堰塘附近种植桃树;其它区域发展大泡壳核桃。中游地区,苗寨至大苗寨进行坡改梯及生产便道建设,改善生产条件,解决 2 个寨子基本口粮短缺问题;半坡一带采取粮—草间作,用阔叶菊苣与玉米间作,以短养长,并发展壮大该区域的生态养殖(鹅)业。下游地区,洼地排水保住基本农田;坡地实行桃与牧草(黑麦草+苜蓿)的间作;在地势较平坦(<10°)的地块进行牧草与本地玉米的轮作,通过建设棚圈、青贮窖,配套饲草机械等设施,培植草地畜牧业大户。针对居住在"半坡"地区人畜饮水困难的村寨,以"提水站—高位水池—管网调度"方式实现流域水资源的优化调配,并在混农林(草)区配置生产道路及引水管道(图 1)。共完成治理石漠化面积 387.12 hm^2,治理率 95.9%。实施坡改梯 21.25 hm^2,自然封禁 28.40 hm^2,人工促进封禁 51.87 hm^2,以女贞+柏木为主的生态林23.21 hm^2,泡壳核桃 207.24 hm^2,九九桃王 33.96 hm^2,栽植牧草 29.10 hm^2(其中粮—草间作 8.8 hm^2,林—草间作 8.09 hm^2,本地玉米与黑麦草轮作 10.15 hm^2,紫花苜蓿与黑麦草混播 2.06 hm^2),建设生产便道 3 695 m;排(灌)渠道 2 140 m,新建提水站 2 座(含高位水池 2 座,引水管道 2 080 m);配套建设棚圈3 224 m^2,青贮窖 1 903 m^3,饲草机械以及沼气池等。

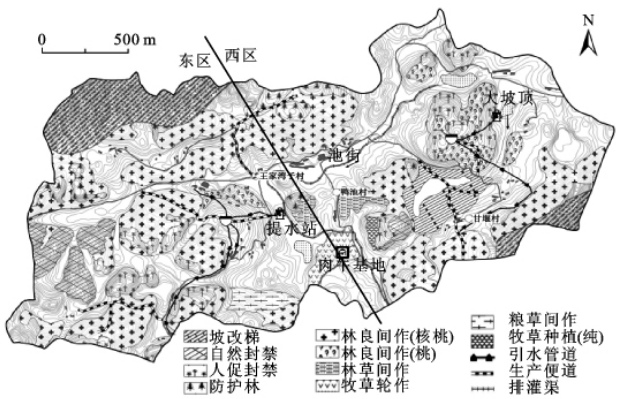


图 1　石桥小流域石漠化综合治理措施配置

2.2　措施设计

2.2.1　**封禁技术**　贵州省的亚热带湿热气候条件,为植被自然恢复提供了良好的水热条件,只要被破坏地段上存在繁殖体(残存或侵入的),自然恢复的可能性就存在[6]。位于马鞍山,王婆岭及大坡顶等区域的轻、中度石漠化的灌木林与疏林地,是原森林植被遭受严重破坏,经多次采樵、放牧或火烧后,以根、桩萌芽、萌蘖或草本植物与少量残存或侵入的灌木混生而成的典型次生植被,这些地段生境的多样,植被有较大的自然恢复可能性与潜力。根据不同类型的植被特征,将封育类型划分灌木型、稀疏灌丛荒草坡型和低价值乔林型,采取相应的自然与人工促进措施,保护植被,避免再次遭受破坏,加快其恢复的进程。

(1) 灌木型。封育地段为马鞍山,王婆岭一带以轻度石漠化为主灌木林地,树种多分布于石沟、石缝等有土生境中,且多具刺,叶小、革质、较厚等旱生特点。主要组成种类有火棘、化香、云南鼠刺、马桑、悬钩子等,很少见草本植物,组成树种具有较强的萌芽、萌蘖能力,多成丛生长(马桑 1 丛约 5 株,火棘 10 株),自然恢复潜力较大,但正在遭受作为薪柴的砍伐、农闲时的畜牧践踏与火烧的破坏,通过封育管护,禁止人畜活动,促进自然恢复。

(2) 稀疏灌丛荒草坡型。封育地段位于张家大山、吉家寨子以中度石漠化为主的灌草丛,这些区域生境严酷,且异质性高,正在向荒草、裸岩阶段演替,不少地段常出现空地。此地段火棘、马桑、细叶铁仔等树种能形成优势种群,草本植物有矛叶荩草何首乌、毛蕨等,仅靠天然更新,植被恢复速度慢。进行局部补植女贞与刺槐,密度 1 050 株/hm^2 左右。整地时间 11—12 月,采用穴状整地,种植穴根据原生植被分布的疏密情况"见缝插针"的进行布置。栽植时间 12 月—翌年 2 月末,选用Ⅰ或Ⅱ级苗。

(3) 低价值乔林型。位于大坡顶区域以轻度石漠化为主的稀疏林地,原为马尾松人工林,因多次砍伐后,天然更新而形成的一种残次林,林内植被以响叶杨、化香、马桑及矛叶荩草、鬼针草等侵入的木草本植物为主。通过消除干扰,保持现有群落主要树种响叶杨、化香,引入新驱动种刺槐与柏木,密度约 1 050 株/hm^2,补植方式同上(女贞与刺槐),逐渐改变组成结构,通过天然更新与局部人工造林结合措施,促使新驱动种和主要树种较快生长,加速群落演替。

2.2.2　**生态林**　位于石头坡及其它局部地区以蒿类、毛蕨、白茅、矛叶荩草、鬼针草、苔草、何首乌等组成物种的荒草地,石漠化呈现出中度、强度(基本表现裸岩地迹象),这些地段木本植物尤其乔木树种种源较为匮乏,植被自然更新较为困难,通过引入女贞(实生两段育苗)、柏木(营养袋)等适生种,重建新的群

落,加快演替。女贞+柏木采取行间(2行)混交种植,株行距原则按照2 m×3 m,密度约为2 505株/hm²,在岩石出露率高地段,采取见缝插针式种植,不受株行距限制。林地清理时主要对造林地段实行局部除杂,并保留穴间草灌植被,清理时间11月上旬至12月中旬,结合整地同时进行,整地要求沿等高线进行,整地时种植穴按"品"字形配置,栽植方法同上(女贞与刺槐)。

2.2.3 经济林 经济林造林地区域均为发生石漠化的坡耕地,上游西区吉家寨子、石家院子,以中强度石漠化程为主,是流域内生境最严酷的区域,土层瘠薄且不连续,石旮旯地分布面积比重大,地表水匮乏,布置适宜温凉气候,耐旱耐瘠适应钙性环境的本地泡壳核桃。泡壳核桃主根发达,能深入石灰岩裂缝,适应性强、挂果快,产量高、壳薄、种仁饱满,出仁率和含油率高,具有显著生态和经济效益。东区小树包包至三叉塘区域以轻度石漠化为主,临近山塘,土层较厚,种植九九桃王。九九桃王属引进种,具有果实大,品质好,产量高,现在半坡一带已有部分村民种植,经济效益十分可观。流域中游至下游区以轻度石漠化为主,水土条件稍好,土地综合生产力较高,进行复合经营,栽植九九桃王并配套林下种草。

泡壳黑桃栽植种植密度为330株/hm²,株行距为5 m×6 m,呈"品"字型或三角形配置,采取穴状整地方式,规格60 cm×60 cm×60 cm(土层浅薄的地方,见基岩即可),穴面与原坡面持平或稍向内倾斜,外侧起10 cm左右的蓄水土垄,整地时间11—12月;栽植时间为1—2月,栽前每穴施20～30 kg农家肥作为基肥,采用"三填、二踩、一提苗"造林技术,苗木定植后,在定植坑面覆盖杂草、枯枝或小石块。果树栽植1～3 a内,可在林间套种农作物(以黄豆、辣椒等矮干作物较好),以耕带抚,农作物种植时,保持果树林冠四周留有约50 cm的生长空间。九九桃王的株行距为4 m×4 m,种植密度为630株/hm²;其它工艺及套种农作物方式同上(泡壳核桃)。

2.2.4 牧草栽植技术 在流域中游半坡一带,有种草养鹅的习惯,在农户周边轻度石漠化的缓坡区(坡度<10°)进行玉米与阔叶菊苣的农草间作,发展以户为经营模式的种草养鹅生态产业。

在流域下游区,发展大户肉牛养殖产业。在其附近的轻度石漠化缓坡区(坡度<10°),进行一年生黑麦草与本地玉米的轮作种植,黑麦草种植时间为10—11月,草籽用量22.5 kg/hm²,采取条播方式。玉米播前要精选种子,去掉小粒、病粒和秕粒,晒种2～3 d,在果穗的籽粒上表现出1/4乳线阶段进行收割。坡中部进行九九桃王与多年生黑麦草+紫花苜蓿的林草间作,牧草栽植时保留林冠四周50 cm空间,草籽用量黑麦草为27 kg/hm²,紫花苜蓿为9 kg/hm²,栽植技术同黑麦草。

2.2.5 坡改梯 位于大苗寨寨子前的洼地四周,坡度在15°左右,以轻度石漠化为主,局部土层厚度达60 cm,大量土壤流入落水洞(2007年土壤侵蚀量2 974.69 t/km²),严重威胁到耕地及粮食安全。设计修建水平梯地,遏制水土流失,提高粮食产量,解决该寨子基本口粮短缺问题。

2.2.6 生产道路 生产道路主要布局于林果(草)及坡改梯区域,方便老百姓林草的管理、采收及梯地耕作。生产道路宽0.8 m,路面用水泥碎石砂浆铺底夯实0.1～0.2 m,铺0.1 m厚的*M*7.5水泥砂浆,在陡坡地带设立梯步,步高0.12 m。

2.2.7 排水(灌)渠道 针对从三叉塘流出的山水,原水渠淤积堵塞,造成沿沟至下游石桥边一带的农田遭受水淹,而这些区域恰恰是该流域仅有的水田分布区。通过修建排(灌)水沟,建立新的排灌系统,根据汇流面积及径流计算,渠道上段规格60 cm×60 cm,下半段800 cm×100 cm,墙体用*M*7.5浆砌石衬砌,厚40 cm,*M*10砂浆压顶5 cm,沟底碎石铺垫15 cm,然后用*C*10混泥土现浇5 cm,沟渠内壁用*M*10水泥砂浆勾缝。

2.2.8 提水站 居住在流域中上游"半坡"地区的半坡、吉家寨子、苗寨等寨子,人口共为2 045人,11 419头大型牲畜(猪占90 %),饮水困难,该区域地下水埋藏深,地表水积蓄利用难度大,且存在水质安全隐患,通过附近水源及水质调查,余家坡坡脚有一水源,枯水流量3.0 L/s,水源出露高程1 426.0 m与供水区高控制点高差109 m;甘堰塘出露水源枯水流量3.6 L/s,高程1 440,与控制点差100 m。两处水源均不能直接取水(无安装放水泵条件),通过在水源出露点围泉建池,建设泵房,以电力提水方式泵入山头高位调节水池,再经管道调度,形成区域性供水网,解决居民生活与畜牧饮水困难与安全问题。

该区人用需水量依据公式[7]

$$W_{人}=P\cdot q_{人}/1\ 000 \qquad [P=P_0(1+\gamma)^n]$$

牲畜用水量:$W_{畜}=P_{畜}\cdot q_{畜}/1\ 000$

据实地调查,半坡区域1 448人,大型牲畜7 240头,苗寨597人,大型牲畜4 179头,$\gamma_{值}$为5‰,$q_{人}$为50 L/(人·d),$q_{畜}$为40 L/(头·d);经计算半坡区域日最大需水量为368 m³,苗寨为199 m³,结合水源与供水区空间位置,半坡从余家坡抽水,选用单吸多级清水离心泵(型号D12-25×6);采取1用1备控制柜

自动切换方式,每台抽水 10 h/d;苗寨从甘堰塘抽水,选用 D12-25×5 型单吸多级清水离心泵,日抽水时间 10 h。提水管采用 Φ50 mm 镀锌管,在管道角度发生变化处设镇墩,两个镇墩之间每 20 m 设支墩 1 个。

3　工程建后管护与效益分析

封禁及防护林区,由村委会安排专人管护(100 hm^2/人),封育治理区内设立专门的标志碑牌,明确封育范围、管护人,张贴村规民约,召开村民会议,向村民阐述违规及惩罚款项,对违规行为可依据相关规定直接做出惩罚。坡改梯、经济林、牧草及生产道路,按照谁收益、谁管护的原则,村委会与受益区农户签订目标管护责任书,市林、农业局负责相关技术培训;提水站由用水区农户推荐选举出"水官"(水管理人员)各 2 名,水官接受技术培训后,由市水利局批准后上岗,用水农户按月以 1.5～2.0 元/t 的价格缴纳水费,其中 0.02 元/t 作为水官酬劳,其余用作电及设备运行、管道维护,重大维修资金,由用水农户以用水量比重均摊,水官每月公布水费使用情况。春耕及期间灌溉用水时,村民需至少提前 1 d 到水官处登记,方可安排轮留用水。

2010 年 7 月对流域整体及不同游段的各等级石漠化区治理措施效益进行了监测与调查。结果表明,流域人均收入提高 532 元,重大干旱中人畜饮水安全未受影响,整体植被覆盖度增加 6.5%,生态环境恶化趋势得到有效控制,同一时期土壤流失量由治理前(2008 年 7 月)1 735.20 t/km^2,治理后减少到 1 178.10 t/km^2(2010 年 7 月),其中坡改梯区与种草区土壤流失量下降最显著,分别下降至 8.80 与 39.18 t/km^2,下降 99% 与 95%。衍生及培植生态产业方面,特色林果核桃和九九桃王已有部分挂果,核桃挂果面积约为 15%,九九桃王约 65%,为不影响果树生长,初年挂的果实均摘除,未带来经济收入;种草养牛规模由治理前 20 头增至 277 头(设计规模 500 头);菊苣养鹅从 5 户发展到 50 户。

两个生态产业特色林果与草地畜牧(禽)业已初步形成。以养牛为例,年盈利 222.43 万元〔1 头每天需牧草 30 kg、酒糟 1.5 kg(0.16 元/kg)、饲料 0.5 kg(2.6 元/kg),加上电、水等其它开支等,其成本共计 6 元,增重 2 kg,市场价 14 元/kg,可盈利 22 元/(d·头)〕,经济效益显著。农—林—草复合经营模式,短期内可以保障生态治理(尤其坡耕地)后老百姓基本口粮需求,以短养长,得到了农民的普遍认同,在毕节地区 8 个县(市)石漠化治理中得到广泛推广,至 2009 年末面积达 1 540.03 hm^2。

4　结 论

(1) 小流域石漠化综合治理的关键在于找出生态破坏及制约社会经济发展的主导因子,再根据区域环境条件与特色优势,结合农民种植、养殖习惯,科学规划调整用地结构,重点培育主导性农村特色生态产业,从本质上解决农民生活、生产与收入问题,石漠化治理才有希望,才可能达到经济、生态与社会的持续发展。

(2) 不同土地利用类型的石漠化分布表现为:建筑、河流水域用地属无石漠化;水田、有林地主要分布在无石漠化区,但有林地可能有潜在石漠化发生;疏、灌林主要发生轻、中度石漠化;荒草地呈现中、强度石漠化景观。喀斯特山地小流域石漠化分布的游段差异明显,上游表现为中、强石漠化,中、下游则以轻度石漠化为主。不同土类的石漠化治理模式为:旱地进行混农林、草经营、建设梯平地,疏灌林地自然与人工促进封禁,荒草地营造生态林。

(3) 据相关研究[8-10],退化喀斯特植被初步自然恢复年限为 20～50 a,到达常叶落叶阔叶混交林状态则需要更长时间,因此植被恢复区需要多少年的管护时间还是治理中思考的问题。但以贵州花江峡谷为例[11-14],在强度、极强度严酷的生境条件下,其治理措施 4～5 a 后,可初步建立比较完备的以林草植被为主的生态体系,土地利用结构不断优化,农村生产、生活条件明显改善,农业综合生产能力有所提高,农民收入稳步增长,生态、经济、社会步入可持续发展的良性循环轨道,退化区植被不再有人为的植被破坏现象,因此可以认为随着喀斯特小流域石漠化治理及沼气池等配套工程进入,退化植被恢复区管护 4～5 a 即可。

(4) 据统计贵州省有 1.18×10^6 hm^2 耕地发生石漠化,占全省石漠化土地的 35.7%,且以 2.00×10^4 hm^2/a 的速度增长[15-16],而这些土地是农民的责任地,生态工程布置后,短期内势必对农民基本口粮安全造成威胁。因此耕地石漠化治理与农民生计的矛盾将会是石漠化综合治理中最关键的问题之一。

(5) 石漠化治理刚刚起步,面临许多迫切的科技需求。如不同环境条件(碳酸盐岩类型,地貌类型、小气候)生态系统特征及既有经济又具生态效益的适生物种的选择和培育[17],石漠化综合治理技术规程规范编制,喀斯特退化生态系统健康标准及初步修复后的管理维护机制、模式与技术,石漠化治理综合效益评价指标体系与方法等。单项工程技术,经济适用的岩溶水位选择及取水技术、石漠化环境的工程防渗、水源保护、水质净化实用技术等。

(下转第 127 页)

[7] 郭继勋,姜世成,孙刚. 松嫩平原盐碱化草地治理办法的比较研究[J]. 应用生态学报,1998,9(4):425-428.
[8] 黄彦,司振江,周宙. 松嫩平原盐碱化草原治理模式的建立及其应用[J]. 黑龙江水专学报,2006,33(2):13-15.
[9] 司振江,黄彦. 苏打盐碱土改良及生态环境修复效果评价[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(4):53-55.
[10] 姜国良,刘云,刘文文. 盐碱土壤修复材料对作物生长影响研究[J]. 青岛海洋大学学报,2007,33(4):547-548.
[11] 高玉山,朱知运,毕亚莉. 石膏改良苏打盐碱上田间定位试验研究[J]. 吉林农业科学,2003,28(6):26-31.
[12] 王宇,韩兴,赵兰坡,等. 硫酸铝对苏打盐碱上的改良作用研究[J]. 水上保持学报,2006,20(4):50-53.
[13] 杨金刚,邢尚军,马海水,等. 硫对盐上扦插杨树成活率及耐盐性生理指标的影响[J]. 东林业科技,2004(1):3-4.
[14] 刘刚,李新平,张永宏,等. 银北地区硫磺改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(4) : 79-82.
[15] 李海锋. 盐渍条件下作物对不同调控措施的响应研究[J]. 土壤,2002,34(1): 32-35.
[16] 杨全刚,邢尚军,刘春生. 不同改良剂组合对盐碱土化学性质及菠菜生长影响的研究[J]. 山东农业科学,2003(5):37-38.
[17] 秦嘉海,吕彪. 种植碱茅草改良河西走廊草甸盐土的研究[J]. 土壤通报,1990,21(2)57-59.
[18] 秦嘉海. 耐盐牧草籽粒苋对河西走廊草甸盐土改土培肥效应[J]. 土壤通报,2005,36(5):806-809.
[19] 秦嘉海,吕彪. 河西走廊盐土资源及耐盐牧草改土培肥效应的研究[J]. 土壤,2004,36(1):71-75.
[20] 秦嘉海. 鲁梅克斯对草甸盐土改土培肥效应研究[J]. 草业科学,2004,21(6):25-27.
[21] 龙明杰,张宏伟,曾繁森. 高聚物土壤结构改良剂的研究[J]. 土壤学报,2001,38(4):584-589.
[22] 巫东堂,王久志. 土壤结构改良剂及其应用[J]. 土壤通报,1990,21(3):140-143.
[23] 孙云秀. 土壤结构改良剂的改土效果及其使用的研究[J]. 干旱地区研究,1988(3):51-52.
[24] 徐金印. 几种土壤结构改良剂的制备及其效用[J]. 土壤学报,1984,21(3):320-322.
[25] 秦嘉海,张春年. 糠醛渣的改土增产效应[J]. 土壤通报,1994,25(5):237-238.
[26] 秦嘉海,陈广全. 糠醛渣混合基质在番茄无土栽培中的应用[J]. 中国蔬菜,1997(4):13-15.
[27] 秦嘉海,金自学,刘金荣. 含钾有机废弃物糠醛渣改土培肥效应研究[J]. 土壤通报,2007,38(4):705-708.
[28] 秦嘉海,吕彪. 河西土壤与合理施肥[M]. 兰州:兰州大学出版社,2001:150-155
[29] 曾觉廷. 三种土壤结构改良剂对紫色土结构孔隙状况影响的研究[J]. 土壤通报,1993,24(6):250-252.
[30] 汪德水. 土壤结构改良剂的改上、保水、增产效果研究[J]. 土壤肥料,1990(5):9-13.
[31] 陈伦寿,李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京:中国农业出版社,1983: 136-137.

(上接第 121 页)

[参 考 文 献]

[1] 李阳兵,白晓永,邱兴春,等. 喀斯特石漠化与土地利用相关性研究[J]. 资源科学,2006,28(2):67-73.
[2] 李阳兵,白晓永,周国富,等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. 地理学报,2006,61(6):624-632.
[3] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS典型研究:以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002:17-28.
[4] 中国土地勘测规划院,国土资源部地籍管理司. GB/T21010-2007 土地利用现状分类 [S]. 北京:中国标准出版社,2007.
[5] 杨明德. 喀斯特流域结构特性及其水文效益[M]//杨明德. 喀斯特研究. 贵阳:贵州民族出版社,2003:127-136.
[6] 祝小科,朱守谦,刘济明. 乌江流域喀斯特石质山地植被自然恢复配套技术[J]. 贵州林业科技,1998,26(4):7-14,36.
[7] 中国水利水电科学研究院. SL310-2004 村镇供水工程技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
[8] 屠玉麟. 贵州喀斯特森林的初步研究[J]. 中国岩溶,1989,7(3):282-290.
[9] 朱守谦. 茂兰喀斯特森林树种生长特点初步研究[J]. 贵州农学院学报,1995,14(1):8-16.
[10] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J]. 应用生态学报,2002,13(5):529-532.
[11] 但文红. 喀斯特峡谷农业可持续发展模式研究:以贵州花江峡谷为例[J]. 中国岩溶,1999,18(3):251-256.
[12] 熊康宁,陈起伟. 基于生态综合治理的石漠化演变规律与趋势讨论[J]. 中国岩溶,2010,29(3):50-56.
[13] 苏维词,杨华. 典型喀斯特峡谷石漠化地区生态农业模式探析:以贵州省花江大峡谷顶坛片区为例[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):217-220.
[14] 熊康宁,梅再美,彭贤伟,等. 喀斯特石漠化生态综合治理与示范典型研究:以贵州花江喀斯特峡谷为例[J]. 贵州林业科技,2006,34(1):5-8.
[15] 刘拓,周光辉,但新球,等. 中国岩溶石漠化:现状、成因与防治[M]. 北京:中国林业出版社,2009:1-12.
[16] 许静. 石漠化年吞噬贵州耕地 30 万亩[EB/OL]. (2005-06-17)[2010-1-21]. http://www.china.com.cn/tech/zhuanti/wyh/2008-01/16/content_9539353.htm.
[17] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学,2008,25(9):19-25.