

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20181030.004

蒋忠诚,罗为群,邓艳,等. 广西岩溶区的水土流失特点及其防治[J]. 广西科学,2018,25(5):449-455.

JIANG Z C,LUO W Q,DENG Y,et al. Features and treatment of soil erosion in karst areas of Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2018,25(5):449-455.

广西岩溶区的水土流失特点及其防治*

Features and Treatment of Soil Erosion in Karst Areas of Guangxi

蒋忠诚^{1,2,3**}, 罗为群^{1,2}, 邓艳^{1,2}, 杨奇勇^{1,2}, 覃星铭^{1,2}, 喻琦雯^{1,2}

JIANG Zhongcheng^{1,2,3}, LUO Weiqun^{1,2}, DENG Yan^{1,2}, YANG Qiyong^{1,2},
QIN Xingming^{1,2}, YU Qiwen^{1,2}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004; 2. 国土资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室, 广西桂林 541004; 3. 国土资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 广西桂林 541004)

(1. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi, 541004, China; 2. Ecosystem and Rocky Desertification Treatment Key Laboratory of Ministry of Land Resources, Guilin, Guangxi, 541004, China; 3. Karst Dynamic Key Laboratory of Both Ministry of Land Resources and Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要: 广西岩溶地区水土流失遥感数据和典型地区监测资料显示, 广西岩溶地区水土流失有 3 个显著的特点: 土壤侵蚀模数低, 以水土流失为主要过程, 坡耕地是重要水土流失区。水土流失的突出危害是导致严重的岩溶内涝灾害和大面积耕地丧失。21 世纪以来, 国家和广西区政府对于广西岩溶地区水土流失防治工作高度重视, 组织实施了一大批水土保持工程, 治理水土流失面积 14 000 km², 遏制了石漠化, 降低了土壤侵蚀模数, 形成了高效生态产业, 创建了弄拉、龙何等生态与经济协调发展的水土保持模式。但广西岩溶地区水土流失和内涝灾害防治力度不够, 建议进一步加大力度实施广西岩溶地区水土流失、内涝防治以及耕地资源丧失的水土保持工程。

关键词: 岩溶 水土流失 水土漏失 水土流失防治 广西

中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2018)05-0449-07

Abstract: The remote sensing data of soil erosion in the karst area of Guangxi and the typical regional monitoring data show that there are three significant characteristics of soil erosion in this area: The soil erosion modulus is low, and the soil and water loss is the main process. Slope farmland is an important soil erosion area. The prominent harmfulness of soil erosion is the serious karst floods and the loss of large-scale cultivated land. Since the 21st century, the State and the Guangxi Autonomous Region government have attached great importance to the prevention and control of soil erosion in the karst areas of Guangxi, and have organized and implemented a large number of water and soil conservation projects. As a result, 14 000 km² soil erosion areas were treated, the rocky desertification was held back, the mean soil erosion modulus was decreased, and high effective eco-productions were formed. In Nongla and Longhe villages, a soil and water conservation model that

收稿日期: 2018-08-29

作者简介: 蒋忠诚(1962—), 男, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事岩溶生态环境研究, E-mail: zhjiang@karst.ac.cn.

* 国家重点研发计划专题(2016YFC0502403-2), 国家自然科学基金项目(41571203)和中国地质科学院基本科研业务费项目(YYWF201725)资助。

** 通信作者。

prevention and control of soil erosion in the karst areas of Guangxi, and have organized and implemented a large number of water and soil conservation projects. As a result, 14 000 km² soil erosion areas were treated, the rocky desertification was held back, the mean soil erosion modulus was decreased, and high effective eco-productions were formed. In Nongla and Longhe villages, a soil and water conservation model that

promoted the coordinated development of ecology and economy was created. However, the prevention of water and soil loss and the prevention of internal disasters in the karst area of Guangxi are not enough. Therefore, it is recommended to further strengthen the implementation of water and soil conservation projects for soil leakage, water logging and the loss of cultivated land resources in the karst areas of Guangxi.

Key words: karst, soil erosion, soil leakage, treatment of soil erosion, Guangxi

0 引言

广西岩溶面积 $9.87 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是世界上最典型的岩溶地区之一^[1-2]。广西碳酸盐岩的年平均溶蚀速度大于 90 mg/m^3 , 居全国首位^[3], 由此, 不但形成典型的岩溶地貌, 而且在岩溶区由溶蚀残留物形成的土壤少, 大部分地区土层很薄, 不足 30 cm ^[4], 但这些有限的土壤在广西岩溶区非常宝贵, 形成了养活广西岩溶区 1 300 多万人的耕地。然而, 20 世纪末至 21 世纪初, 强烈的岩溶作用与不合理的人类活动导致广西的石漠化加剧, 岩溶县的森林覆盖率仅 12.90%, 石漠化面积达 $2.73 \times 10^4 \text{ km}^2$, 且石漠化加剧水土流失, 岩溶地区大量耕地流失, 成为我国西南岩溶地区水土流失问题最严重的地区^[5]。

2005 年, 水利部、中国科学院和中国工程院联合组织的“中国水土流失和生态安全考察活动”, 发现了西南, 尤其是广西岩溶地区水土流失问题的严峻形势^[6], 引起了国家和相关部门领导人的关注和高度重视, 并因此修改了岩溶地区水土流失标准, 加大了西南岩溶地区水土流失的治理力度。同时, 中国地质科学院岩溶地质研究所等科研院所通过在广西峰丛洼地开展试验示范研究, 提出了水土流失防治理论、模式和技术^[7], 有效推动了广西乃至我国西南岩溶地区水土流失防治和水土保持工作。本文拟通过分析总结广西岩溶地区水土流失特点以及水土流失防治经验和存在问题, 以进一步引起国内外相关部门和学者对典型岩溶地区特殊水土流失过程的重视, 深化岩溶地区水土流失及其防治理论和技术研究。

1 广西岩溶区水土流失的特点

1.1 广西岩溶地区土壤侵蚀模数低, 必须采用岩溶区水土流失标准

前人统计的结果显示, 广西岩溶区河流的泥沙量明显比花岗岩区和砂页岩区少, 岩溶地区河流输沙模数在 $61.5 \sim 129 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 平均 $85.1 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 分别是花岗岩区 $315.7 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 和砂页岩区 $188.6 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的 $1/3$ 和 $1/2$ ^[8]。即从地表河中推算的土壤侵蚀量, 岩溶区偏低。因此, 广西岩溶区水土流失造成的地表土壤侵蚀模数比非岩溶地区低得

多。究其原因有两个方面, 一是广西岩溶地区的碳酸盐岩岩性很纯, 酸不溶物含量低, 形成土壤的速度慢, 地表土壤量少; 二是广西岩溶地貌以峰丛洼地为主, 地下河发育, 土壤漏失到地下河中, 难以在地表发生侵蚀。

广西地处华南准台地, 华南区的碳酸盐岩沉积比较单一, 主要沉积于泥盆系至二叠系, 即加里东以后的地台发育阶段。碳酸盐岩几乎是无间断地连续沉积, 连续厚度可达数千米。除了在广西分布范围很少的三叠系碳酸盐岩之外, 其他碳酸盐岩酸不溶物含量普遍低于 5% (表 1)^[9], 桂林泥盆系碳酸盐岩的酸不溶物含量更是低于 1%^[10], 碳酸盐岩中酸不溶物含量低导致成土速率缓慢, 使广西岩溶区的成土速率低至每形成 1 m 厚的土壤层需要几十万年^[11]。

表 1 华南区不同地质年代碳酸盐岩酸不溶物含量 (%)^{*}

Table 1 Content of insoluble substances in carbonate rocks of different geological ages in south China (%)^{*}

地区 Region	T	P	C	D
桂西 West Guangxi	8.58	1.45	1.06	1.42
桂中、桂东 Middle and east Guangxi	3.39	3.73	2.32	2.28
平均 Mean	6.60	2.59	1.45	1.36

注: * 据中国科学院地质研究所岩溶研究组数据(1979)

Note: * After karst research group of Geological Institute, China Science Academy (1979)

中国水土流失监测中心提供的 2002 年遥感数据表明, 广西区水土流失面积 $10\,369.43 \text{ km}^2$, 占土地面积的 4.38%, 远低于贵州省和滇东地区的水土流失面积和土地占比, 后两地的水土流失面积和占地比例分别为 $73\,078.56 \text{ km}^2$ 、45.2% 和 $59\,740.71 \text{ km}^2$ 、41.52%^[6]。

为此, 根据 2005—2007 年中国水土流失与生态安全综合考察活动的专家意见, 2009 年, 水利部组织颁发了岩溶地区的水土流失标准 (SL 461—2009), 将石灰岩峰丛山区土壤允许流失量调减到 $200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以下。据 2013 年全国第一次水利普查公报结果, 广西区 2011 年水土流失面积 $5.05 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占土地总面积的 21.3%, 这是根据新的水土流失标准的调查结果, 该结果表明, 广西水土流失面积

与贵州相差不大(表 2)。同时也表明,2011 年广西水土流失面积比过去的调查结果大近 5 倍,并不是因为表 2 桂、黔、滇 2011 年不同程度水土流失面积对比(km²)

Table 2 Comparison of different soil erosion area in 2011 among Guangxi, Guizhou and Yunnan(km²)

省(区) Province(Region)	总面积 Total area	轻度 Gentle degree	中度 Middle degree	强度 Heavy degree	极强度 Extreme heavy degree	剧烈 Violent degree
广西 Guangxi	50 537	22 633	14 395	7 311	4 504	1 334
贵州 Guizhou	55 269	27 700	16 356	6 012	2 960	2 241
云南 Yunnan	109 588	41 876	34 764	15 650	8 963	5 125

1.2 广西岩溶地区以水土漏失为主,水土流失具有隐蔽性

水土漏失主要发生在岩溶地区,虽然前人早就通过抱粉、泥炭和考古等方法发现此现象^[13-15],但对于其明确的概念,是由广西峰丛洼地的典型流域研究而首先提出的^[7]。由于广西岩溶发育最强烈,地下河和洞穴高度发育,地表岩溶地貌多为封闭的峰丛洼地,水土漏失成为主要的水土流失形式,降雨携带泥沙通过落水洞和岩溶裂隙进入地下河。龙何石漠化综合治理示范区的研究结果表明,虽然不同地貌部位水土流失形式有差异,但山峰、垭口、山坡、洼地等部位均以水土漏失量占的比例较大,而且,即使在山坡存在坡面土壤冲刷流失现象,但最终堆积在洼地的土壤都可通过落水洞漏失到地下河^[16]。

从表 3 调查资料看,由于水土漏失的数据不能通过遥感调查获得,遥感解译的岩溶地区水土流失面积比例明显偏低,不符合岩溶地区的实际情况,必须通过现场监测来调查水土漏失量。

最近,中国地质科学院岩溶地质研究所在龙何石漠化综合治理示范区内建立了岩溶关键带监测站,其重要目的之一,就是研究如何科学监测岩溶峰丛洼地的水土漏失。不同地貌部位的水土流失监测,结合同位素采样分析,可比较准确计算流域的水土漏失量^[7,16]。

1.3 广西岩溶区水土流失主要发生在坡耕地,由不合理的土地利用造成

广西岩溶地区地势陡峭,坡耕地面积大。以龙须

水土流失迅速加剧^[12],而是由于采用了岩溶地区新的水土流失标准的结果。

河流域为例,龙须河是右江右岸的一条支流,行政区划属百色市,包括靖西县、德保县、田东县及天等县的一部分,流域总面积 3 199.46 km²,岩溶石山面积为 2 097.49 km²,占流域总面积 65.56%。流域内>8°的坡地面积占土地面积的 88%,>25°的占土地面积的 52.65%,其中岩溶石山区>8°和>25°的坡地面积分别占岩溶石山面积的 91.66%和 59.2%(表 4)。

表 3 广西部分岩溶县水土流失遥感数据与调查数据的对比
Table 3 Comparison between remote sensing data and investigation data in some karst counties of Guangxi

县名 County name	2002 年遥感调查的水土流失面积占土地面积比例 Ratio of soil erosion area occupying land area by remote sensing data in 2002 (%)	2005 年现场调查的水土流失面积占土地面积比例 Ratio of soil erosion area occupying land area by field survey in 2005 (%)
平果县 Pingguo County	2.57	32.79
大化县 Dahua County	2.96	15.07
凤山县 Fengshan County	4.65	26.38
凌云县 Lingyun County	4.03	31.55
环江县 Huanjiang County	3.73	5.75

表 4 广西龙须河流域地形坡度分级及其面积

Table 4 Grade and area of topographic slope degree in Longxu river basin of Guangxi

坡度等级 Slope degree grade	土地面积 Land area(km ²)	占土地总面积比例 Occupy ratio of total land area(%)	岩溶石山面积 Karst stone area(km ²)	占岩溶石山总面积比例 Occupy ratio of total karst stone area(%)
平坡 Plain slope(<8°)	383.90	12.00	174.84	8.34
缓坡 Gentle slope(8°~15°)	411.15	12.85	262.50	12.51
缓陡坡 Gentle steep slope(15°~25°)	719.94	22.50	418.34	19.94
陡坡 Steep slope(>25°)	1 684.47	52.65	1 241.81	59.20
合计 Total	3 199.46	100.00	2 097.49	100.00

龙何石漠化综合治理示范区不同土地利用类型区 2008—2012 年的土壤侵蚀模数观测表明,类似的地质地貌环境,坡耕地土壤侵蚀模数始终保持较高,且有逐年增加的趋势,5 年平均值是 48.18 t/(km²·a),是灌丛地的 2 倍多,草地的 3 倍多^[16]。

2 广西岩溶地区水土流失的主要危害

2.1 堵塞地下管道,内涝灾害严重

广西内涝浸没耕地面积 6.12×10⁴ hm²,是全国内涝最严重的省份,近年来有加剧的趋势,主要发生于岩溶地区,与岩溶地区水土流失堵塞地下河管道密切相关。根据水文地质调查资料,广西长度大于 2 km,并独立存在的地下河有 435 条,总长度超过 10 000 km,密度 0.1 km/km²。地下河系统是峰丛洼地、谷地的主要泄水通道,其过水断面基本固定,自然情况下一般能够排泄水流,只有在强降雨条件下才发生暂时性排水不畅,但如果地下河过水断面或落水洞被泥沙堵塞就容易发生内涝。

广西内涝按成因可分为 3 类,都与水土流失密切相关。

(1)峰丛洼地内涝:地形表现为四周是挺拔的山峰,中间是封闭的洼地,相对高差通常为 200~300 m,最大可达 600 m,呈圆筒状,形如锅底。天然降雨由周边山坡汇集流向洼地,经由洼地中的落水洞、漏斗流入地下,当雨量过大或落水洞(漏斗)流水不畅,就会导致内涝的发生。位于马山县古寨乡加善村的拉断屯,就处于典型的锅底式洼地之中,全屯 33 户,127 人,靠洼地中 6.8 hm² 耕地生产、生活。但这里的居民长期经受内涝的困扰,每隔 2~3 年的 5—8 月,就要发生一次严重的内涝,尤其是 2005 年 6 月 19—21 日的连续降雨(212 mm),造成特大的内涝,水深最大可达 18 m(图 1),大部份房屋浸没,洼地中的集水持续至 7 月 20 日才渐渐消退完,农作物颗粒无收。



图 1 马山县古寨乡拉断屯洼地内涝

Fig. 1 Water logging in karst depression of Laduan village, Mashan County

(2)峰丛谷地内涝:由多个相连的洼地互相连通,贯穿成更大范围的平整洼地,洼地中有落水洞、漏斗及地表有间歇性或长流性的河谷。如马山县百龙滩镇龙昌村丹同片,该片区分布 10 个自然屯,居住 220 户,850 人,有平整耕地 1 km²,但该谷地位于古零谷地的下游,虽然谷地中有数量不少的落水洞、漏斗,但大多被土壤所堵塞,因此,丹同片常发生内涝。

(3)岩溶区与非岩溶区接触过渡带内涝:如凤山县的坡心地下河,流域面积 760 km²,其上游为碎屑岩区,流经下旧谷地,耕地 0.8 km²,谷地中有地表溪流,排向坡心地下河,由于沙石淤塞进入地下河的消水通道、落水洞和漏斗,消水不畅,使得下旧谷地经常发生大面积内涝。

岩溶内涝固然与岩溶水文的双层结构、地下河管道发育的不均一性有关,但主要原因是水土流失造成岩溶地下管道的堵塞,加剧了内涝的严重程度,因此,治涝首先从水土流失防治开始。

2.2 耕地大面积丧失,急需大力抢救和保护耕地资源

自 1980—2000 年,20 年间,西南岩溶地区水土流失导致 33 604.4 km² 耕地石漠化,广西是最严重的地区之一。从 2000—2015 年,广西岩溶地区新增 4 913.4 km² 耕地石漠化(表 5),其中,重度耕地石漠化 677.93 km²,中度耕地石漠化 1 643.20 km²,轻度耕地石漠化 2 592.27 km²,新增丧失耕地面积达到 1 859.40 km²,平均每年丧失耕地面积 366.67 km²。2015 年,耕地石漠化面积大于 100 km² 的耕地石漠化严重县有 26 个。广西岩溶地区本来土壤缺乏,土被分布不连续,耕地面积比其他地区少很多,如此巨

表 5 广西岩溶地区耕地石漠化面积统计(km²)

Table 5 Statistics of rocky desertification area from farmland in karst region of Guangxi(km²)

石漠化等级 Grade of rocky desertification	耕地石漠化面积 Rocky desertification area from farmland		合计 Total
	2000 年	2015 年新增 Increased in 2015	
轻度 Gentle degree	2 176.40	2 592.27	4 786.67
中度 Middle degree	2 788.53	1 643.20	4 431.73
重度 Heavy degree	1 807.93	677.93	2 485.86
小计 Total	6 772.80	4 913.40	11 686.20

大的耕地面积丧失,将造成区域耕地资源的极端匮乏,急需引起国家和广西区政府的高度重视,提出有效的耕地抢救和保护对策。

3 广西岩溶区水土流失防治进展

3.1 广西岩溶地区水土流失防治工程

近年来,广西相继实施了中央财政预算内专项资金水土保持工程、珠江上游南北盘江石灰岩地区水土保持综合治理工程、水土保持生态修复试点工程、生态清洁型小流域试点工程、坡耕地水土流失综合治理试点工程以及崩岗治理工程。

据统计,2003—2017年,广西全社会共投入资金60多亿元,完成水土流失治理面积14 000 km²。其中中央和全区各级财政共投入10.63亿元用于水土保持工程建设,先后对210条小流域进行治理,共治理水土流失面积2 044 km²,完成坡耕地改造111.3 km²;林业、国土、农业、发展与改革、环境保护等部门实施的相关生态工程及社会力量也加强了水土流失治理^[17]。以2003—2009年实施的珠江上游南北盘江石灰岩地区水土保持综合治理工程为例,该工程共对52条小流域进行了综合治理,治理水土流失面积458 km²,其中治理石漠化和潜在石漠化土地面积近300 km²^[18]。

3.2 广西岩溶地区水土流失防治成效

经过重点治理的小流域,林草覆盖率明显增加,泥沙明显减少,生态明显好转,抗御自然灾害能力增强。在项目实施过程中,各县把治理水土流失与改善农村生产生活条件相结合,与培育发展高效现代特色农业相结合,与改善人居环境相结合,经过治理的区域,水土流失得到有效控制,生态好转,群众生产生活条件明显改善。2016年以来,广西坡耕地水土流失综合治理工程累计完成坡改梯24.53 km²,并通过配套生产道路,设置截排水沟,修建小型引蓄水工程等措施,项目区耕作的交通和灌溉条件得到改善,农业综合生产能力进一步提高。很多项目县区群众在坡耕地改造以后,种植上了一些优质农林产品,如平果发展火龙果,靖西发展香橘、环江发展红心柚、南丹发展猕猴桃等,切实推动了当地农业产业结构调整,增加了农民收入。

据监测,经过治理的区域,综合治理5年左右的小流域土壤侵蚀模数下降了50%左右,水土流失强度明显降低;水土流失综合治理工程实施坚持山水田

林路统一规划,林草植被面积明显增加,治理区的林草植被覆盖率基本提升到了治理后的75%左右;治理区蓄水保土能力不断提高,广西现存的水土保持措施年均减少土壤流失量 4×10^7 t,增加蓄水能力 7.6×10^8 m³。龙何石漠化综合治理示范区,2002年植被覆盖率不足10%,平均土壤侵蚀模数1 800 t/(km²·a),经过10多年的治理,2015年,植被覆盖率达到70%,土壤侵蚀模数降低了80%,石漠化得到有效治理^[19]。而且,在国家实施西南岩溶地区石漠化综合治理工程以来,虽然坡耕地石漠化有加剧的趋势,但广西是西南8省(区、市)中石漠化总面积减少最多的地区,由2000年的 2.73×10^4 km²下降到2015年的1.93 km²^[20]。

3.3 广西岩溶地区水土保持模式

岩溶地区的水土保持模式与以往的主要以重要植物树种发展的模式不同,重点根据岩溶地貌的不同部位和生境条件,因地制宜部署水土保持和调蓄措施,协同促进生态修复与区域经济发展。如在马山弄拉屯形成了峰丛洼地立体生态农业模式^[21],在平果县龙何屯多个洼地复合配置的峰丛山区建立了复合型生态农业模式(图2),即在山峰发展水源林涵养水源,在山坡发展水土保持林保持水土,在山麓和洼地发展果树、药材、经济作物及生态养殖形成生态产业,同时,调蓄利用表层岩溶水或开发地下河水提供水资源保障。

4 存在问题及建议

4.1 存在问题

(1)对广西岩溶地区水土流失的严重性和特殊性认识不足。广西岩溶地区土壤先天不足,后天人为干扰大,大多数地区已几乎无土可流,每流失一点土就丧失一点耕地,形势非常严峻,但目前缺乏抢救和保护岩溶地区宝贵土壤的政策和措施^[22]。而且,广西岩溶地区主要以水土漏失为主,除部分科研院所开展了典型地区的试验研究外,对于广西岩溶地区的水土漏失还缺乏区域性调查研究,区域性对策和防治技术方法不足。

(2)缺乏岩溶内涝的水土流失防治工程。广西岩溶地区是全国内涝最严重的省份,而且有越来越严重的趋势,但目前还没有安排针对内涝的水土保持工程,对于广西区域经济发展和生态安全影响很大。

(3)坡耕地水土保持工程中水土漏失防治力度不

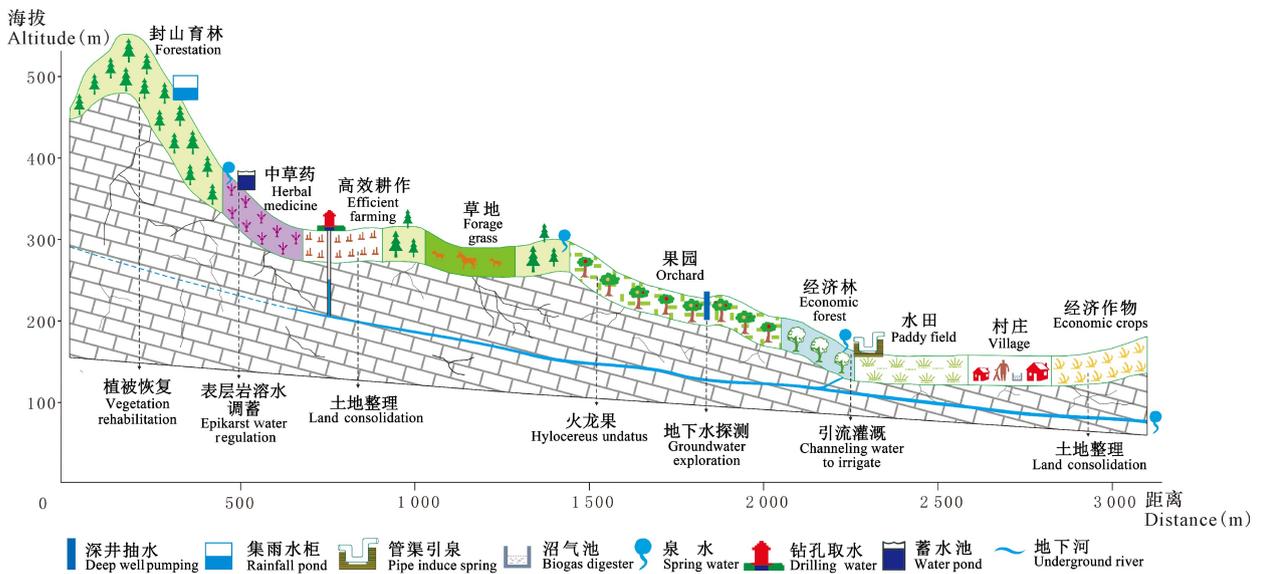


图2 广西龙何岩溶峰丛山地复合型生态农业模式

Fig. 2 Complex eco-agriculture model in karst peak cluster mountains of Longhe, Guangxi

够。岩溶地区坡耕地水保工程内容多、难度大,普遍是老、少、边、穷地区,主要依赖国家和省市的投入。虽然广西水土保持规划中已把坡耕地治理单价提高到45 000元/hm²,但岩溶地区没有考虑岩溶裂隙、落水洞水土漏失防治工程和植物篱建设,因此,岩溶地区坡耕地水土漏失防治力度不够。

4.2 建议

(1)加强岩溶地区水土漏失区域调查,建立广西岩溶地区水土漏失监测网络。组织专业队伍,产学研结合,分地貌类型开展水土漏失区域调查,形成区域性和重点地区的水土漏失科学数据。对广西水土保持监测站点进行改造,增加水土漏失监测站网,加强对重点区域、重点工程的水土漏失动态监测,为政府宏观决策提供科学依据。

(2)加大坡耕地水土保持工程,增大水土漏失防治力度。结合脱贫攻坚和美丽乡村建设,把治理水土流失与改善农村生产生活条件相结合,与培育发展高效现代特色农业相结合,整合其他政策和项目资金,加大岩溶地区坡耕地综合整治项目的投入,建立耕地土壤底部水土漏失防治特色工程,耕地高效利用特色生态产业和耕地边坡水土保持植物篱工程。

(3)启动国家或广西岩溶内涝片水土流失防治工程。按照3大类岩溶内涝类型,分别实施落水洞、地下河和地表河道水土保持工程,疏通地下排水管网,提高岩溶洼地排水防洪能力,有效治理广西区严重岩溶内涝灾害。

5 结论

广西碳酸盐岩质纯坚硬,岩溶地貌奇特陡峭,不

但是世界上的典型岩溶地区,也是水土流失非常特殊的地区。广西岩溶地区水土流失有3个显著的特点:一是土壤侵蚀模数低,二是以水土漏失过程为主,三是以坡耕地水土流失最严重。岩溶地区水土流失突出危害有两个方面:内涝灾害加剧,耕地资源丧失严重。

21世纪以来,广西岩溶地区水土流失防治取得显著进展,不但取得了水土流失防治理论和技术的突破,而且恢复了生态,形成了高效生态产业,改善了民生,有效遏制了石漠化的趋势。通过典型区水土流失治理实践,分析总结出典型岩溶地貌区生态与经济协调发展的水土保持模式。

广西岩溶地区水土流失防治工作任重道远。必须充分认识和广泛宣传岩溶地区水土流失的严重性和特殊性,加强水土漏失区域调查和监测,形成水土漏失防治对策和措施,加大力度强化坡耕地土壤资源保护和岩溶内涝防治的水土保持工程。

参考文献:

[1] 广西壮族自治区地方志编纂委员会. 广西通志岩溶志[M]. 南宁:广西人民出版社,2000.
Local History Compilation Committee of Guangxi Zhuang Autonomous Region. Guangxi chorography karst records[M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House,2000.

[2] SWEETING M M. The Guilin karst[M]//SWEETING M M. Karst in China. Springer Series in Physical Environment, vol 15. Springer, Berlin, Heidelberg, 1995: 58-95.

[3] JIANG Z C. An analysis on formation of the karst Feng-chong depressions in China[J]. Carsologica Sinica, 1996,

- 15(1/2):83-90.
- [4] 曹建华,袁道先,潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展,2003,18(1):37-44.
CAO J H, YUAN D X, PAN G X. Some soil features in karst ecosystem[J]. *Advances in Earth Science*, 2003, 18(1):37-44.
- [5] 蒋忠诚,李先琨,胡宝清,等. 广西岩溶山区石漠化及其综合治理研究[M]. 北京:科学出版社,2011.
JIANG Z C, LI X K, HU B Q, et al. Study on rocky desertification and comprehensive treatment in karst mountain area of Guangxi[M]. Beijing: Science Publishing House, 2011.
- [6] 蒋忠诚,杨德生,曹建华,等. 中国水土流失防治与生态安全:西南岩溶区卷[M]. 北京:科学出版社,2010.
JIANG Z C, YANG D S, CAO J H, et al. Soil erosion control and ecological safety in China: Volume for karst area of southwest China[M]. Beijing: Science Publishing House, 2010.
- [7] 蒋忠诚,罗为群,邓艳,等. 岩溶峰丛洼地水土漏失及防治研究[J]. 地球学报,2014,35(5):535-542.
JIANG Z C, LUO W Q, DENG Y, et al. The leakage of water and soil in the karst peak cluster depression and its prevention and treatment[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2014, 35(5):535-542.
- [8] 水利部珠江水利委员会. 珠江流域土壤侵蚀遥感调查报告(内部资料)[Z]. 1989.
Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources of China. Survey report on soil erosion by remote sensing in Pearl River basin(Inside data)[Z]. 1989.
- [9] 中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京:科学出版社,1979.
Karst Research Group of Geological Institute, China Science Academy. Karst researches of China[M]. Beijing: Science Publishing House, 1979.
- [10] 翁金桃. 桂林岩溶与碳酸盐岩[M]. 重庆:重庆出版社,1987.
WENG J T. Karst and carbonate rocks in Guilin[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1987.
- [11] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社,1988.
YUAN D X, CAI G H. Karst environmentology[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988.
- [12] 梁刚毅. 广西水土流失演变趋势及其原因分析[J]. 广西水利水电,2014(4):71-73.
LIANG G Y. Soil erosion evolution trends of Guangxi and analysis of causes[J]. *Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering*, 2014(4):71-73.
- [13] JONES R I. Aspects of the biological weathering of limestone pavements[J]. *Proceedings of Geologists' Association*, 1965, 76:421-434.
- [14] GOSDEN M S. Peat deposits of scar close Ingleborough, Yorkshire[J]. *Journal of Ecology*, 1968, 56(2):345-353.
- [15] BELL M, LIMBREY S. Archaeological aspects of woodland ecology: BAR international series[M]. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- [16] 罗为群,张辉旭,蒋忠诚,等. 岩溶峰丛洼地不同环境水土流失差异及防治研究——以广西果化岩溶生态研究基地为例[J]. 地球学报,2014,35(4):473-480.
LUO W Q, ZHANG H X, JIANG Z C, et al. The difference in soil erosion in different environments of karst peak-cluster depression and the study of soil erosion prevention: A case study of Guohua karst ecological experimental site, Guangxi[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2014, 35(4):473-480.
- [17] 广西壮族自治区水利厅. 广西壮族自治区水土保持规划(2016-2030)(内部资料)[Z]. 2016
Water Resources Department of Guangxi Zhuang Autonomous Region. Water and Soil Conservation Planning of Guangxi Zhuang Autonomous Region(2016-2030)(Inside data)[Z]. 2016.
- [18] 水利部珠江水利委员会. 珠江上游南北盘江石灰岩地区水土保持综合治理试点工程总结报告[J]. 人民珠江,2007,28(2):1-5.
Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources. Work summary of water and soil conservation pilot project in the karst area along Nanbeipanjiang River upstream[J]. *Pearl River*, 2007, 28(2):1-5.
- [19] LUO W Q, JIANG Z C, YANG Q Y, et al. The features of soil erosion and soil leakage in karst peak-cluster areas of Southwest China[J]. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 2018, 6(1):18-30.
- [20] 蒋忠诚,罗为群,童立强,等. 21世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素[J]. 中国岩溶,2016,35(5):461-468.
JIANG Z C, LUO W Q, TONG L Q, et al. Evolution features of rocky desertification and influence factors in karst areas of southwest China in the 21st century[J]. *Carsologica Sinica*, 2016, 35(5):461-468.
- [21] 蒋忠诚,李先琨,曾馥平,等. 岩溶峰丛洼地生态重建[M]. 北京:地质出版社,2007.
JIANG Z C, LI X K, ZENG F P, et al. Ecological rehabilitation in peak cluster depressions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [22] JIANG Z C, LIAN Y Q, QIN X Q. Rock desertification in Southwest China: Impact, causes, and restoration[J]. *Earth-Science Review*, 2014, 132:1-12.

(责任编辑:符支宏)