

西南喀斯特山地水土流失特点及有关石漠化的几个科学问题

张信宝^{1,2}, 王世杰², 曹建华³, 王克林⁴, 孟天友⁵, 白晓永^{1,2}

- (1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;
2. 中国科学院地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
3. 中国地质科学院岩溶地质研究所国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;
4. 中国科学院亚热带农业生态所, 湖南 长沙 410125; 5. 贵州省毕节地区水土保持办公室, 贵州 毕节 551700)

摘要: 由于特殊的岩土结构, 喀斯特坡地的水土流失具有如下特点: 地表和地下流失相互叠加; 地表产流、产沙少; 纯碳酸盐岩区地下流失比例大。论文区别了石漠化和石质化的科学内涵, 指出了喀斯特山地石漠化的核心是土地的石质化, 提出了按照地面物质组成与裸岩率叠加的石漠化分类系统。根据土壤中硅酸盐矿物的物质平衡, 提出了不同碎屑岩含量碳酸盐岩区的土壤允许流失量介于 5%~500 t/(km²·a) 之间。喀斯特坡地土壤虽然肥沃, 但总量太少, 矿质养分不足可能是石质坡地植物生产力低的重要原因。此外, 根据农耕驱动土地石质化的机制, 提出了相应的石漠化治理对策建议, 具体是: (1) 不但要治标, 提高植被覆盖率, 更要治本, 防止或减缓土地石质化, 同时还要增加群众收入; (2) 按照坡地岩土组成的垂直分带特点, 因地(土)制宜, 开展治理; (3) 重视矿质肥料的施用; (4) 在纯碳酸盐岩土质和石质坡地农田的小型蓄水工程修建中, 要加强集流面建设。

关键词: 喀斯特; 水土流失; 石漠化; 防治对策; 中国西南地区

中图分类号: S157 **文献标识码:** A

0 引言

2006年, 笔者承担了973项目“西南喀斯特山地石漠化与适应性生态系统调控”的水土流失课题。几年来, 通过对前人研究成果的学习消化、实地考察、案例研究和与学界同仁的交流, 特别是与本文其他作者的相互切磋, 对西南碳酸盐岩山地区石漠化的认识逐步加深, 并就一些科学问题共同撰写了几篇文章^[1~5]。本文是这几篇文章要点的系统阐明。

1 喀斯特坡地的岩土结构特点

1.1 土-石直接突变接触, 岩层孔隙和孔洞发育

喀斯特坡地的土壤和下伏碳酸盐岩之间的土-石界面清晰, 为直接突变接触。完整的风化壳剖面, 土层和基岩之间有时发育有厚约数厘米至十余厘米的“杂色粘土层”(石灰岩), 或“碳酸盐岩腐蚀带”, 俗称“糖砂层”(白云岩)。笔者用土壤蠕滑充填土下伏碳酸盐岩溶蚀产生的孔隙的机制解释了碳酸盐岩风化壳的土-石界面突变接触现象^[2]。由于化学溶蚀, 组成坡地的碳酸盐岩岩层孔隙和孔洞发育。喀斯特坡地的表层岩溶带可以看作为一个布满“筛孔”的石头“筛子”, 溶沟、溶槽和洼地为被土壤塞住的形状不一, 大小不等的“筛孔”。坡地地表径流和壤中流极易通过“筛孔”渗入表层岩溶带, 进入地下暗河系统。

1.2 成土速率低

基金项目: 国家重点基础研究发展计划973项目(2006CB40320)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-306)、中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB2-08)、国家科技支撑计划项目(2008BAD98B07)、中国科学院地化所环境地球化学重点实验室开放课题基金项目(SKLEG9008)

第一作者简介: 张信宝(1946—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: zxbao@imde.ac.cn。

收稿日期: 2010-03-06

碳酸盐岩酸不溶物含量低,成土速率低。不少学者根据碳酸盐岩酸不溶物含量和溶蚀速率求算了西南喀斯特地区土壤的成土速率,并用以表征土壤允许侵蚀量。各家的结果差别不大,成土速率每年每平方公里多介于数吨至数十吨。柴宗新提出的广西喀斯特区的土壤允许侵蚀量为 $68\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[6];韦启璠认为南方喀斯特区的土壤允许侵蚀量不超过 $50\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[7];李阳兵认为,贵州连续性碳酸盐岩区和碳酸盐岩夹碎屑岩区土壤允许侵蚀量分别为 $6.84\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 和 $45.53\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[8];曹建华认为,西南喀斯特地区的容许流失量为 $38\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[9]。笔者分析求得的贵州茂兰喀斯特森林保护区的成土速率为 $17.4\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[3]。

1.3 土壤总量少、异质性强,土地贫瘠

西南喀斯特地区的大部分坡地为土层薄,地面土石相间的石质和土石质坡地,土壤分布于岩脊间的溶沟、溶槽和凹地内,异质性强。坡地上部多为石质坡地;顺坡向下土质面积逐渐增加,中下部坡地多为土石质坡地;一些坡地的坡麓地带无岩石出露,为土质坡地。严冬春等调查了黔中高原清镇市王家寨喀斯特坡地的土壤厚度,调查坡地长53m、平均坡度 22° 。坡地土壤为黑色石灰土,坡脚处为黄壤。土壤平均质量厚度(单位面积 $<2\text{mm}$ 颗粒的干土重), $16.04\text{kg}/\text{m}^2$ ^[10]。李豪等调查了中科院长沙亚热带农业生态所广西环江站喀斯特坡地的土壤厚度,调查坡地长122m,平均坡度 22.5° ,平均土壤质量厚度为 $21.95\text{kg}/\text{m}^2$ ^[11]。以土壤容重 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 计,两坡地相应的土壤厚度分别仅为1.6cm和2.2cm。

2 水土流失特点

2.1 地表和地下流失叠加的水土流失方式^[2]

地表流失系指地表侵蚀产出泥沙的流失,流失的泥沙为表层的土壤。喀斯特坡地地表流失产出的泥沙部分直接随地表径流直接进入地表河流,部分沉积于坡地的溶沟、溶槽和凹地内。地下流失系指地下径流侵蚀产出泥沙的流失,流失的泥沙主要为表土层以下的或岩石孔隙、裂隙中充填的土体,这些土体可以是土下岩石化学溶蚀产生的酸不溶物,也可以是沉积于溶沟、溶槽和凹地内的地表流失产出的泥沙。地下流失产出的泥沙通过地暗河系统最终汇入地表河流。

封闭的峰丛洼地流域,地表径流携带的坡地地表流失产出的泥沙进入洼地后,部分经落水洞进入暗河系统,部分沉积于洼地内。沉积于洼地内的泥沙也可能以土体沉陷的方式通过底部的埋藏落水洞进入暗河系统,最终汇入地表河流系统。

2.2 喀斯特坡地地表产流、产沙少

喀斯特坡地的地面径流极易通过地表的溶沟、溶槽和洼地等“筛孔”渗入表层岩溶带,进入地下暗河系统,地表径流量小;由于地表的少量土壤分布于溶沟、溶槽和洼地内,不易侵蚀,和径流量小的缘故,喀斯特坡地的地表产沙量低。

贵州普定陈旗小流域的大型全坡径流场揭示了黔中喀斯特坡地的产流产沙特点。6个径流场的坡度 $31^\circ \sim 37^\circ$,面积 $684.3 \sim 2\,890.0\text{m}^2$,岩被面积率 $20\% \sim 50\%$,土壤为黑色石灰土,土地利用类型分别为幼林、稀疏灌丛、坡耕地、灌草地、火烧迹地、复合植被。6个径流场2007年7月—2008年2月的径流深介于 $0.96 \sim 10.4\text{mm}$,相应的径流系数为 $0.02\% \sim 1.9\%$,远低于流域径流系数 45% 。其中,复合植被径流系数最高,封禁的幼林地最低。降雨量 $<60\text{mm}$,基本不产流;降雨量超过 60mm 时,径流系数随降雨量增加逐渐加大;降雨量超过 $80 \sim 90\text{mm}$ 时,径流系数随降雨量增加迅速升高。6个径流场的侵蚀模数,2007年1月—2007年12月,介于 $0.69 \sim 32.49\text{t}/\text{km}^2$;2008年1月—2008年12月,介于 $0.05 \sim 154.2\text{t}/\text{km}^2$ 。侵蚀模数最高的是放牧严重的稀疏灌丛,最低的是封禁的幼林地^[12,13]。中科院长沙亚热带农业生态所的广西环江站喀斯特坡地10余个大型径流小区,设置于塔状丘峰中、下部的薄层撒落物覆盖坡地上,坡地表土层为含砾黑色石灰土,厚度多不足 30cm ,下伏裂隙密集的风化白云岩。土地利用类型有次生灌丛、灌丛迹地、自然修复地、水保林、坡耕地、各种牧草和对照裸地等。每个径流场的面积 $2\,000\text{m}^2$ 左右,2005年开始观测,5年来基本不产流产沙^[5]。

据贵州普定、茂兰和广西环江6个喀斯特洼地沉积物的¹³⁷Cs断代研究^[14~21],茂兰坡格森林小流域表层土壤的侵蚀速率最低,1963年以来的平均速率 $1.0\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[14,15],森林植被1979年遭受严重破坏的普定石人寨小流域最高,1979年以来的平均速率 $2\,315\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,其中森林植被遭受破坏初期的1979—1990年期间的侵蚀速率可能高达 $6\,000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上^[17];其他4个不同程度石漠化的小流域,近期土地利用无明显变化,1963年以来的平均侵蚀速率 $15.2 \sim 51.4\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。显然,由于森林植被的保护,森林小流域表层土壤流失轻微,石漠化小流域,易于流失的表土已流失殆尽,表层土壤流失量也不大;森林植被刚遭受破坏的小流域,短期内表层土壤流失可能非常强烈。

2.3 纯碳酸盐岩地区地下流失量比例大

¹³⁷Cs核素仅赋存于表层土壤,地表流失产出的泥沙含¹³⁷Cs,地下流失产出的泥沙基本不含¹³⁷Cs,因

此可以根据表层土壤与出水洞泥沙或塘库表层底泥的 ^{137}Cs 含量,利用混合模型求算喀斯特小流域地表流失和地下流失的相对产沙量。茂兰喀斯特森林保护区的坡格洼地森林小流域,出露岩层为二叠纪石灰岩,坡地表层土壤和附近出水洞泥沙的 ^{137}Cs 平均比活度分别为 7.12 Bq/kg 和 1.43 Bq/kg ,利用混合模型求得的小流域地面流失和地下流失的相对产沙量分别为20%和80%。长沙亚热带农业生态所广西环江生态站次生灌丛小流域,出露岩层为泥盆—石炭纪白云岩,坡地表层土壤和水库底泥的 ^{137}Cs 平均含量分别为 15.17 Bq/kg 和 1.82 Bq/kg ,地面流失和地下流失的相对产沙量分别为12%和88%^[3]。

3 石质化、矿质养分与硅酸盐矿物物质平衡

3.1 石漠化与石质化

石漠化系指石质荒漠景观为标志的严重土地退

化,表征的是生态景观的变化;石质化系指土地退化标志之一的土地石质面积的增加,表征的是地面物质组成的变化。土壤是植物赖以生存的基础,土地的石质化意味着土壤的减少和土地提供植物水分和养分能力的降低,因此喀斯特山地石漠化的核心是土地的石质化^[1]。

没有植被覆盖的岩石地面是喀斯特山地石漠化最醒目的景观标志,也是遥感调查易于识别的土地类型。因此,没有植被覆盖的岩石地面的面积率(裸岩率)是现行石漠化分级的单一指标或主要指标。主要根据裸岩率制定的石漠化程度分级标准,未反映石漠化前后地面物质组成的变化,难以满足石漠化成因分析和石漠化治理的需要。如轻度石漠化坡地可能是没有土壤的石质土地,也可能是土壤较多的土石质土地,这两种坡地的治理对策和措施差别很大。为此,笔者提出了地面物质组成和植被覆盖程度的石漠化叠加分类(表1)。

表1 地面物质组成与裸岩率叠加的石漠化分类

Tab. 1 Karst land desertification classification by integration of ground materials with bare rock ground area ratios

石漠化等级 (裸岩率,%)	地面物质组成(石质土地面积率,%)				
	土质 (<20)	土质为主 ($20\sim<40$)	土石质 ($40\sim<60$)	石质为主 ($60\sim<80$)	石质 ($80\sim 100$)
无($30\sim 0$)	无石漠化土质坡地	无石漠化土质为主坡地	无石漠化土石质坡地	无石漠化石质为主坡地	无石漠化石质坡地
轻度($50\sim >30$)		轻度石漠化土质为主坡地	轻度石漠化土石质为主坡地	轻度石漠化石质为主坡地	轻度石漠化石质坡地
中度($70\sim >50$)			中度石漠化土石质为主坡地	中度石漠化石质为主坡地	中度石漠化石质坡地
强度(>70)				强度石漠化石质为主坡地	强度石漠化石质坡地

另须指出的是,土地石质化是西南纯碳酸盐岩山地地貌演化的不可逆的自然过程。由于云贵高原隆升和气候趋向湿润等原因,第四纪以来西南喀斯特山地喀斯特作用显著加强,纯碳酸盐岩区成土速率低,不足以弥补土壤流失,土质坡地逐渐演化为石质坡地。人类不可能逆转西南纯碳酸盐岩山地石质化的自然过程,只能加速或迟缓这一过程。

3.2 矿质养分

在一定的热光条件下,植物的生长主要受控于水和养分的供应。贵州茂兰喀斯特森林保护区等地现存的石质坡地天然森林表明,在“天无三日晴”降水丰沛的气候条件下,石质坡地的水分条件可以满足森林植被的生长,喀斯特山地的许多植物具有耐短期干旱和有水时快速生长的特点。“有收无收在于水,收多收少

在于肥”。在一定的水分条件下,植物的生产力主要取决于养分的供应,因此矿质养分不足可能是石质坡地植被生产力低下的重要原因之一。植物的生长不但需要N、P、K,还需要大量的Si、Fe、Mn和各种微量元素。以灰分含量9.5%计,地上部分生产力 $480\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的中低生产力的喀斯特森林地上部分每年从土壤中吸收了 $45.6\text{ t}/\text{km}^2$ 的矿质养分,除去CaO和MgO,需要 $30.8\text{ t}/\text{km}^2$ 的Si、K、Na、Fe、P、N等元素的氧化物^[4]。除N可以部分从大气中获取外,其余的矿质元素养分都必须从土壤和岩石中获取。纯碳酸盐岩酸不溶物含量低($<10\%$),根系能够从岩石中获取的矿质养分非常有限,植物主要从土壤中获取生长所需要的矿质养分。纯碳酸盐岩坡地的成土速率往往低于 $30.8\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[3],在持续砍伐森林和收获作物的情

况下,岩石的风化成土不可能长期补充土壤被植物吸收的矿质养分。喀斯特坡地的石灰土等土壤的N、P、K和有机质含量不低,土壤是肥沃的;但土壤总量少,土地是贫瘠的。只有施用矿质肥料,才能满足高生产力植物对矿质养分的需求^[4]。

3.3 硅酸盐矿物物质平衡^[3]

无论是非碳酸盐岩地区,还是碳酸盐岩地区,土壤细颗粒(<1mm)和河流悬移质泥沙的主要矿物成分均为硅酸盐矿物。非碳酸盐岩地区,土壤深厚,成土速率高,径流带走的硅酸盐溶质流失量(化学流失)和植物摄取的硅酸盐矿物质量(生物流失)微不足道,一般不予考虑。碳酸盐岩地区,与低成土速率相比,径流带走的硅酸盐溶质流失量和植物摄取的硅酸盐矿物质的量可能还是相当可观的。土壤是植物赖以生长的基础,也是喀斯特坡地系统中硅酸盐矿物质的“存储库”,土壤中硅酸盐矿物的平衡见图1^[3]。

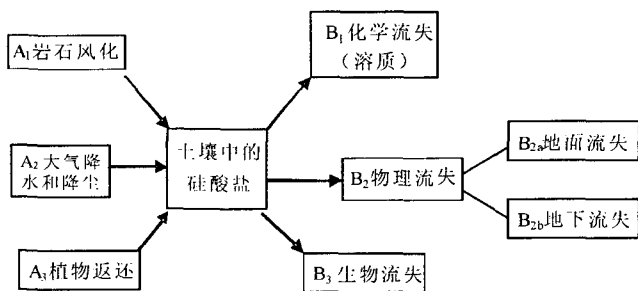


图1 喀斯特坡地土壤中硅酸盐矿物的物质平衡

Fig. 1 A diagram of silicate mineral budget in soils of karst mountains

我们利用西南喀斯特山地区地质、土壤、喀斯特、地球化学、植物化学、水文、植被、土壤侵蚀等多学科

的前人研究成果,以茂兰喀斯特森林保护区为例,计算了纯碳酸盐岩原始山地土壤的硅酸盐矿物物质平衡;在此基础上又分析了岩石组成和人类活动对土壤硅酸盐矿物物质平衡的影响,给出了极纯—不纯碳酸盐岩原始山地和非原始山地土壤的硅酸盐矿物物质平衡(表2)。尽管表中的数值是粗略的,尚须进一步完善,但大致反映了西南喀斯特山地土壤中硅酸盐矿物的物质平衡的基本状况。纯碳酸盐岩原始山地,硅酸盐矿物的大气降尘输入速率($5\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)和化学流失输出速率($5.4\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$),两者大致相当,但远低于成土速率($17.4\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。由于没有人类干扰,硅酸盐矿物的生物流失和生物返还速率相等,均为 $30.8\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,高于成土速率($17.4\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。物理流失速率(17.0)和成土速率(17.4)大致相当,其中地面流失量占20%,地下流失量占80%。极纯—不纯碳酸盐岩原始山地,由于碎屑岩含量不等,成土速率变化大($5\sim 500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$),生物返还和流失速率变化也大($5\sim 50\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$),化学流失输出速率变化不大($3\sim 10\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。表征土壤流失的物理流失量同成土速率,变化也很大($5\sim 500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$),由于地下流失受控于地下孔隙和裂隙的发育程度,地下流失量的绝对值不可能很大($0\sim 20\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$),碎屑岩含量高的不纯碳酸盐岩区,地下流失量占总流失量的比例低于纯碳酸盐岩区。极纯—不纯碳酸盐岩的非原始山地和原始山地相比,最大的变化是物理流失量可能超过 $1\ 000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,主要是地面流失量的增加,地下流失量的绝对值不可能很大($0\sim 25\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。

表2 西南喀斯特山地土壤中硅酸盐矿物的物质平衡

Tab. 2 The silicate mineral budget in soils of the karst mountains, Southwest China

山地类型	输入速率/ $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$				输出速率/ $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$		
	成土供给	大气降尘输入	生物返还	化学流失	物理流失		生物流失
					地面流失	地下流失	
纯碳酸盐岩原始山地*	17.4	5	30.8	5.4	3.4	13.6	30.8
极纯—不纯碳酸盐岩原始山地	$5\sim 500$ **	5	$5\sim 50$	$3\sim 10$	$10\sim 500$	$0\sim 20$	$5\sim 50$
极纯—不纯碳酸盐岩非原始山地	$5\sim 600$	5	$5\sim 70$	$3\sim 12$	$10\sim >1000$	$0\sim 25$	$5\sim 70$

注: *以茂兰喀斯特森林保护区为代表, **参照土壤允许流失量的水利部部颁标准

西南喀斯特地区气候差异不大,成土速率主要取决于碳酸盐岩层的碎屑岩含量。由于碎屑岩含量的不同,西南喀斯特地区的成土速率存在区域差异,不是一个定值。取水利部土壤允许流失量部颁标准南方土石山区值 $500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为成土速率最大值,极纯碳酸盐岩的成土速率 $5\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为最小值,西南喀斯特地区的允许流失量介于 $5\sim 500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

4 农耕驱动土地石质化机制及石漠化防治对策建议

4.1 农耕驱动土地石质化机制

喀斯特坡地的土地石质化是土壤流失,也就是硅

酸盐矿物流失的结果。

(1)化学流失。从国内外河流硅酸盐化学流失速率分析,包括农耕在内的人类活动促进土壤化学流失的作用不大。

(2)生物流失。自然状况下,坡地土壤的生物流失量和生物返还量相等;人类砍伐森林和收获农作物,植株的矿物质不能返土壤,引起土壤的生物流失。以低产农田植物生产力 $3.0t/(ha \cdot a)$,植物灰分含量10%,灰分中非CaO和MgO的矿物质含量67.5%计,生物流失量达 $20.3t/(km^2 \cdot a)$ 。此值高于大部分纯碳酸盐岩区的成土速率。

(3)物理流失。毁林开荒,地面土壤失去植被保护,增加地表径流和破坏植物根系,疏松土壤,降低土壤抗蚀性,不可避免地要引发强烈的地表流失。如前述普定石人寨小流域1979年毁林开荒后,土壤流失速率迅速增加到 $6000t/(km^2 \cdot a)$ 以上。农耕促进土壤地下流失的机制主要有:①耕作破坏植物根系,溶沟、溶槽和洼地内的土壤失去植物根系的网固,促进土壤向下蠕滑。②犁耕动土迫使“筛孔”内的土壤向下漏失。③耕作疏松土壤易于径流入渗和灌溉渗水,均增加孔隙和裂隙的入渗水量,促进土壤的蠕滑和管道侵蚀。犁耕将坡地地块上部的土壤运移到下部,往往引起坡地上部土地的石质化。据普定开展的标线法测定犁耕侵蚀的研究,坡度 3° 、坡长24.2m旱坡地的顺坡犁耕通量 $48.2kg/(m \cdot a)$,坡顶处的侵蚀速率高达 $0.67cm/a$,和该处卧牛石30年露出了20cm的实际情况相符。

地表流水侵蚀和耕作侵蚀的叠加是土质农耕坡地土地石质化的主要驱动力,耕作侵蚀是土质农耕坡地的主要驱动力,地下侵蚀是石质坡地的主要驱动力^[5]。

4.2 石漠化防治对策建议

(1)不但要治标,还要治本和增加群众收入。提高植被覆盖率是治标,防止或减缓土地石质化和提高植物生产力是治本。此外,还要增加群众收入。

(2)按照坡地岩土组成的垂直分带特点,因地(土)制宜,开展石漠化的防治。坡顶和坡上部的石质坡地,全面封禁,自然修复为主恢复植被,避免土壤扰动,形成多年生的植物根系网封闭孔隙、孔洞,防治地下和地表土壤流失。坡腰土质土地是石漠化治理的关键地段,防治犁耕侵蚀是治理的第一要务。痛下决心,彻底改变坡腰土质土地的农业利用方式,尽可能退耕还林、还灌、还草,营造经济林、生态林和围栏放牧,防止犁耕运移土壤直接驱动土地石质化和农耕破坏植物根系、扰动土壤而促进土壤的地面和地下流失,间接驱动土地石质化。坡麓土质坡地,采用以坡改梯为核心措施的水土流失防治模式,建设高产稳产基

本农田。

(3)加强矿质肥料的施用。喀斯特坡地土壤总量少,碳酸盐岩酸不溶物含量低,矿质养分不足以满足高生产力森林植被和农田植物需要的特点,石质坡地和土石质要施用矿质养分,才能建设高生产力植被群落和提高农田植物产量。

(4)加强田间道路集流面建设,解决农田和经济林果干旱缺水问题。喀斯特坡地径流系数极低($<2\%$),建设面积比例 $5\% \sim 10\%$ 的硬化田间道路,作为集雨面收集降雨径流,蓄水池蓄集径流,再采用节水灌溉的方式,解决喀斯特坡地农田和经济林果的干旱缺水问题。

5 结 语

(1)喀斯特坡地的岩土组构特点决定了其水土流失的特点,研究喀斯特地区的水土流失,必须以岩土组构为切入点,今后这方面的研究还需进一步加以重视。

(2)石漠化与石质化有着本质区别,喀斯特山地石漠化的核心是土地的石质化,希望本文提出的地面物质组成与裸岩率叠加的石漠化分类,对国内同行有所参考或借鉴作用。

(3)喀斯特坡地土壤是肥沃的,但总量太少,土地是贫瘠的,今后应加强喀斯特土壤和矿质养分的研究。

(4)石漠化治理对策建议如下:①不但要治标,提高植被覆盖率,更要治本,防止或减缓土地石质化,同时还增加群众收入。②按照坡地岩土组成的垂直分带特点,因地(土)制宜,开展治理。③重视矿质肥料的施用;④在纯碳酸盐岩土石质和石质坡地农田的小型蓄水工程修建中,要加强田间道路集流面建设。

致 谢:感谢中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室、中国科学院地球化学研究所和贵州省科技厅普定喀斯特研究综合试验站、中国科学院亚热带农业生态所环江喀斯特农业生态试验站、贵州茂兰国家级自然保护区对本文的资助。

参考文献

- [1] 张信宝,王世杰,贺秀斌,等.西南岩溶山地坡地石漠化分类会议[J].地球与环境,2007,35(2):188-192.
- [2] 张信宝,王世杰,贺秀斌,等.碳酸盐岩风化壳中的土壤蠕滑与岩溶坡地的土壤地下漏失[J].地球与环境,2007,35(3):202-206.
- [3] 张信宝,王世杰,曹建华.西南喀斯特山地的土壤流失与土壤的硅酸盐矿物质平衡[J].地球与环境,2009,37(2):97-102.
- [4] 张信宝,王克林.西南碳酸盐岩石质山地土壤植被系统中矿质养

- 分不足问题的思考[J]. 地球与环境, 2009, 37(4): 337-206.
- [5] 张信宝, 王世杰, 孟天友. 农耕驱动西南喀斯特地区坡地石质化的机制[J]. 地球与环境, 2010, 38(2): 123-128.
- [6] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J]. 山地研究, 1989, 7(4): 255-260.
- [7] 韦启璠. 我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点及防止途径[J]. 水土保持研究. 1996, 3(4): 72-76.
- [8] 李阳兵, 王世杰, 魏朝富, 等. 贵州省碳酸盐岩地区土壤允许流失量的空间分布[J]. 地球与环境, 2006, 34(4): 36-40.
- [9] 曹建华, 蒋忠诚, 杨德生, 等. 我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 1-7.
- [10] 严冬春, 文安邦, 鲍玉海, 等. 黔中岩溶坡地的土壤与¹³⁷Cs的分布[J]. 地球与环境, 2008, 36(4): 342-346.
- [11] 李豪, 张信宝, 王克林, 等. 桂西北倒石堆型岩溶坡地土壤的¹³⁷Cs分布特点[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 42-47.
- [12] 彭韬, 王世杰, 张信宝, 等. 喀斯特坡地地表径流系数监测初报[J]. 地球与环境, 2008, 2(36): 152-157.
- [13] 彭韬, 杨涛, 王世杰, 等. 喀斯特坡地土壤流失监测结果简报[J]. 地球与环境, 2009, (37)2: 126-130.
- [14] 何永彬, 李豪, 张信宝, 等. 贵州茂兰峰丛森林洼地泥沙堆积速率的¹³⁷Cs示踪研究[J]. 地球与环境, 2009, (37)4: 366-371.
- [15] Xinbao Zhang, Xiaoyong Bai and Anbang Wen, A preliminary investigation of the potential for using the ¹³⁷Cs technique to date sediment deposits in karst depressions and estimate rates of soil loss karst catchments in Southwest China[M]. IAHS publication (in press)
- [16] 何永彬, 李豪, 张信宝, 等. 贵州茂兰峰丛草地洼地小流域侵蚀产沙的¹³⁷Cs法研究, 中国岩溶, 2009, 28(2): 181-188.
- [17] ZHANG Xinbao, BAI Xiaoyong, LIU Xiuming, Application of ¹³⁷Cs fingerprinting technique to interpreting responses of sediment deposition of a karst depression to deforestation in the catchment of the Guizhou Plateau, China[M]. (in press)
- [18] 白晓永, 张信宝, 王世杰, 等. 普定冲头峰丛洼地泥沙沉积速率的¹³⁷Cs法测定[J]. 地球与环境, 2009, (37)2: 142-146.
- [19] Xiubin He, Xiaoyong Bai, Xinbao Zhang and Xiuming, LIU, Use of depression deposits and Caesium-137 measurements to investigate the erosional response to recent deforestation in a small catchment in the Guizhou karst Plateau region of Southwest China[M]. (in press)
- [20] 白晓永, 王世杰, 陈起伟, 等. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 609-618.
- [21] Xiaoyong Bai, Xinbao Zhang, Hu Chen and Yongbing He. Using Cs-137 fingerprint technique to estimate sediment deposition and erosion rates from Yongkang depression in karst region of Southwest China [J]. Land Degradation & Development. 2010, 21: 1-6.

Characteristics of water loss and soil erosion and some scientific problems on karst rocky desertification in Southwest China karst area

ZHANG Xin-bao^{1,2}, WANG Shi-jie², CAO Jian-hua³, WANG Ke-lin⁴, MENG Tian-you⁵, BAI Xiao-yong^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China;

2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China;

3. Karst Institute of Geology, CAGS, Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR, Guilin, Guangxi 541004, China;

4. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 41012, China;

5. Water Conservancy Bureau of Bijie County, Guizhou Province, Bijie, Guizhou 563100, China)

Abstract: Because of specific rock and soil composition and texture in the karst superficial zone, water loss and soil erosion on slopes in karst area is of the following characteristics: (1) superimposition of soil loss on the ground surface and under the ground; (2) limited ground surface runoff and sediment yields; and (3) higher sediment contribution from underground soil loss. This paper distinguishes scientific concept of karst land desertification and karst land rockification, points out that the rockification being the core of karst land desertification, and proposes a superimposed classification system for karst land desertification. The soil loss tolerances are mainly controlled by the proportion of clastic rocks and range between 5t/(km².a) and 500t/(km².a), which are derived from silicate mineral budgets in soils. The soils are fertile, but the land is poor because of limited soil body amount on rocky slopes; and the low plant productivities are probably caused by the shortage of mineral nutrient supply. According to the mechanism of karst land rockification being driven by the stress of cultivation, following countermeasures against karst land desertification are suggested: (1) not only improving vegetation to cure the symptoms, but also preventing or mitigating land rockification to cure the basic cause and increasing farmers' incomes; (2) countermeasures against karst land desertification should be suit to the vertical zoning conditions of rock and soil compositions in karst mountains; (3) paying more attention to application of mineral fertilizers; and (4) using the surfaces of field roads and paths as water harvesting catchments to collect runoff for micro water storage tanks on cultivated rocky or stony land.

Key words: karst; water loss and soil erosion; rocky desertification; preventive treatment; Southwest China