

# 喀斯特地区坡面径流对产沙的影响

李华林<sup>1</sup>, 高华端<sup>1</sup>, 胡勤<sup>1</sup>, 高儒学<sup>1</sup>, 孙泉忠<sup>2</sup>

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省水土保持技术咨询研究中心, 贵阳 550002)

**摘要:**贵州省关岭县蚂蝗田小流域属典型喀斯特流域, 根据小流域 2009—2012 年 6 个坡面径流小区的定位观测资料, 研究了乔木林(黄花梨)、灌木林(女贞)、撂荒草地三种不同植被类型下坡面径流对产沙的影响。结果表明: 三种植被类型的产流次数相同, 但产沙次数存在较大差异, 表现为荒草地>乔木林>灌木林; 灌木林与乔木林的年均径流量相差不大, 荒草地的年均径流量是它们总和的 2 倍; 荒草地的年均产沙量最大, 为 55.17 t/km<sup>2</sup>, 是灌木林的 11 倍, 乔木林的 6 倍; 乔木林的产流量与产沙量无明显相关关系; 灌木林表现出线性关系, 拟合方程为  $y=0.1707x+0.2526$ ,  $R^2$  值为 0.48; 荒草地表现为幂函数关系, 拟合方程为  $y=0.3246x^{1.2965}$ ,  $R^2$  值为 0.64。

**关键词:**喀斯特; 植被类型; 坡面径流; 产沙量

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)02-0026-05

## Influence of Runoff on Sediment Yield on Slope in Karst Area

LI Hualin<sup>1</sup>, GAO Huaduan<sup>1</sup>, HU Qin<sup>1</sup>, GAO Ruxue<sup>1</sup>, SUN Quanzhong<sup>2</sup>

(1. Forestry college of Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Soil and Water Conservation Technical Consulting and Research Center of Guizhou Province, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** Mahuangtian watershed is a typical karst basin in Guanling County of Guizhou Province. According to the observation data of six slope runoff plots from 2009 to 2012 in the small watershed, we've studied the effect of runoff on sediment in three different vegetation types, which are arbor forest, shrub forest and a-bandoned grassland. The main results are as followings. Three vegetation types had the same effect in times of runoff, but sediment yield events were different, the yield of sediment decreased in the order: grassland>arbor land>shrub forest; annual runoff in shrub land and arbor forest land was similar but the annual runoff of grassland was double as the total of former two types. Annual sediment yield of grassland was 55.17 t/km<sup>2</sup> which is 11 times of sediment yield in the shrub forest, and 6 times of sediment yield in arbor; the runoff and sediment yield showed no significant connection in arbor forest but the linear relationship between runoff and sediment yield was found in shrub forest, the fitting equation is  $y=0.1707x+0.2526$ ,  $R^2$  values is 0.48, and power function relationship was found in grassland, the fitting equation is  $y=0.3246x^{1.2965}$ ,  $R^2$  values is 0.64.

**Keywords:** karst area; vegetation types; slope runoff; sediment yield

中国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一, 水土流失面积占国土面积的 37.1%, 土壤侵蚀是影响社会可持续发展的主要因子, 而贵州省是我国水土流失最为严重的省份之一<sup>[1]</sup>, 没有平原支撑、坡耕地面积比重大、水土流失严重、人地矛盾突出、不合理的人类活动等因素加剧了水土流失, 极易导致地表基岩裸露, 从而形成石漠化。水蚀是贵州喀斯特地区最主要的土壤侵蚀类型, 因此对喀斯特地区径流产沙进行研

究具有非常重要的意义。

我国 20 世纪 90 年代才开始研究喀斯特地区水土流失, 起步较晚, 其中多以贵州喀斯特地区为研究对象。贵州省位于西南喀斯特地区的核心地带, 山区坡度大, 成土速度极低, 加之人口增长与经济的不协调迫使居民毁林开荒, 从而导致严重的水土流失, 成为中国水土流失最为严重的地区之一, 并具有代表性。影响喀斯特地区水土流失的因素主要有地

质、地貌、植被、土壤、气候等,但对这些因子的研究较少且深度较浅。2013年,艾宁等人通过对不同植被类型下降雨对坡面径流侵蚀产沙的影响研究,发现降雨量在一定范围内时,产沙量随着降雨量的增大而增大<sup>[2]</sup>;Cerdeira, Carroll等从恢复生态学的观点和原理出发,对植被的改土效应等进行了研究,结果表明:植被对土壤侵蚀的影响占主导地位<sup>[3-4]</sup>;张晶晶等通过坡面产流产沙影响因素的分析得出:雨强、降雨量、植被盖度对产沙量和径流量有显著影响<sup>[5]</sup>。杨春霞等人研究发现,随着覆盖度的增加,产沙和径流相关性在减少<sup>[6]</sup>。余新晓等人通过多元回归分析,表明产沙量随雨强和径流的增加而增大,随植被覆盖度增加而减小<sup>[7]</sup>。刘栋等人通过研究灌木林地、荒草地、裸地不同植被类型的降雨量与产沙量、径流量的关系表明:径流量与降雨量之间相关性显著;产沙量随降雨量的增大而增大<sup>[8]</sup>。而喀斯特地区相关研究很少,2008年,胡顺光利用径流小区监测方法分析得出:植被类型不同,枯落物的种类以及持水量也不同;不同的植被配置方式可以得出不同的水土保持效果,其中以乔灌草三者结合最好<sup>[9]</sup>。2013年,纪启芳、蒋荣研究表明:植被的减流减沙作用是一个循序渐进的过程,且林草植被配置方式对植被的减沙作用很大,林冠和地被物在减流方面发挥主要作用,植被根系在减沙方面发挥主要作用。总体上,不同植被减流减沙作用表现为:经济林>人工草地>水保林<sup>[10-11]</sup>。刘凤仙、周素萍研究贵州喀斯特地区不同植被措施对水土保持的影响,研究结果却不同,刘凤仙研究表明:水保林的保水保土效果比经济林强,周素萍却得出相反的结果<sup>[12-13]</sup>。综上所述,降雨量与产流产沙的关系研究,主要集中在黄土高原区,研究比较全面,涉及到不同植被类型,雨强,降雨量,植被覆盖度等因素,由于喀斯特地区的特殊性,研究具有一定的局限性,野外径流小区与自然情况最相近,但是难以控制试验的变量,加深了试验难度;研究区的径流小区泥沙资料年限较短;研究方法比较单一、研究因素较少,涉及到喀斯特地区坡面径流对产沙的影响很少。本文以贵州省关岭县蚂蝗田小流域为例,通过径流小区观测法,研究贵州省喀斯特地区坡面径流对产沙的影响特征,弥补前人的研究空白,为喀斯特地区治理水土流失和遏制当地生态环境的恶化提供理论依据。

## 1 研究区概况

关岭布依族苗族自治县坐落于云贵高原东部脊状斜坡南侧向广西丘陵倾斜的斜坡地带,地势西北高、东南低,裸岩裸露、地下溶洞较多,土壤稀薄贫瘠,

地层主要为三叠系,地貌形态多种多样,类型复杂多样,且碳酸盐岩分布广泛,岩溶发育形成的岩溶地貌与常态地貌交错分布,是贵州喀斯特地貌代表之一。该县雨量充沛,年降水量在1 205.1~1 656.8 mm,是全省降水中心之一。蚂蝗田水土保持监测点位于贵州省安顺市关岭县花江镇养原村,地理位置为东经105°34′36″、北纬25°49′2″,属于珠江流域北盘江水系。该区土壤侵蚀严重,各种侵蚀类型均有分布。该监测点所在的蚂蝗田小流域面积为2.43 km<sup>2</sup>,小流域属亚热带季风气候,多年平均降雨量1 236 mm,集中在五到十月份,多年平均气温19.2℃;现有植被类型多为次生乔木林、疏幼林,乔木品种主要有:柳杉、杉木、马尾松、滇柏等,土壤为黄壤。该监测站点为全国水土保持监测网络二期工程建设的国家级监测点,始建于2008年,主要监测设施有:简易气象观测场1个、坡面径流小区6个、控制站1个、雨量站1个、观测便道200 m等;主要设备有:自记雨量计、自记水位计、烘箱、电子天平、取样瓶、铝盒等;主要检测内容为:降雨、径流、泥沙、悬移质。

## 2 数据来源

本研究采用径流小区观测法来对喀斯特地区的产流产沙进行分析研究。根据试验区的气候、土壤、植被、地质、地形及地貌条件,在坡度为20°,坡向为东偏南的蚂蝗田水土保持监测点荒坡上设置径流小区,共设置了2个长20 m,宽10 m,面积为200 m<sup>2</sup>,4个长20 m,宽5 m,面积为100 m<sup>2</sup>的径流小区。6个小区平行排列,小区下部布设有集水池、集流槽、沉沙池,相互连通。三个乔木林径流小区,小区编号为1,4,5种植黄花梨;黄花梨应用广泛,市场需求大,不光用作高档家具,还具有药用价值;适生性强,耐旱,对土壤要求低;因此,是贵州喀斯特地区坡面代表性经济作物。两个灌木林小区,小区编号为2,3,种植女贞。一个撂荒草地,小区编号为6。每一个径流小区的基本情况见表1。

## 3 研究方法

降雨量采用自记雨量计来记录降雨量和降雨过程,记录降雨的起止时间和各阶段的雨强。计算最大30 min和最大60 min雨强、径流总量、径流深、径流系数及泥沙总量<sup>[14]</sup>。数据来源为2009—2012年蚂蝗田水土保持监测点坡面径流小区的产流产沙观测资料。通过相关资料的分析筛选,统计分析不同植被条件下坡面径流与产沙的关系。

表 1 蚂蝗田径流小区情况表

编号	投影 坡长/m	宽/ m	水平 面积/m <sup>2</sup>	坡位	土层 厚度/cm	植被 类型	措施 类型	生物措施 种类	苗木 数量	林龄/ a
1	20	5	100	上	40	乔木	经果林	黄花梨	11	I
2	20	10	200	中	43	灌木	水保林	女贞	12	I
3	20	5	100	中	43	灌木	水保林	女贞	15	I
4	20	10	200	下	40	乔木	经果林	黄花梨	40	I
5	20	5	100	中	40	乔木	经果林	黄花梨	40	I
6	20	5	100	中	45	草本	撂荒地	草	—	—

4 结果与分析

4.1 不同植被类型径流小区产流产沙频次分析

坡面径流是泥沙运输的唯一载体,只有在形成坡面径流后,达到一定的降雨量或降雨强度,才会发生土壤流失。对试验区不同植被类型小区的产流、产沙数据进行统计分析,发现每年各类型小区的产流次数相同,产沙次数却存在明显的差异。结果表明(表 2):各类型小区的产流次数相同,小区之间的土壤性状、降雨特性和环境因素等差异较小所导致;产沙次数却受植被类型的影响较大。四年来灌木林地的累计产沙次数最少,为 37 次;乔木林次之,为 43 次;荒草地的累计产沙次数最多,为 55 次。除了 2009 年,其余三年的产沙率都表现为荒草地>乔木林>灌木林。2009 年灌木林的产沙率比乔木林大,因为树种才种植,时间太短,灌木还幼小,没有形成灌木林,发挥保土作用较弱。荒草地在 2009 年和 2012 年的产沙率均达到了 100%,四年平均产沙率为 91%,而乔木林平均产沙率为 69%,平均减沙率为 24%;灌木林四年平均产沙率为 57%,平均减沙率为 37%。这一数据验证了许多学者的观点,即在水土流失地区采取合理的生物措施能够产生很明显的保土效益。灌木林和荒草地的产沙率没有明显的随着年份变化的趋势,而乔木林却表现出逐年上升趋势,且 2010 年增长率最大,达到 55%,2011 年的增长率为 3%,2012 年的增长率为 34%。其原因是乔木生长慢,短期内不能发挥较好的保土作用;但乔木林产沙率的增长率在下降,说明乔木林具有一定的保土效益,随着树木生长,保土作用越来越好。综上结果:不同植被类型的累计产沙次数排序为荒草地>乔木林>灌木林。

4.2 不同植被类型径流小区产流量分析

蚂蝗田小流域在 2009—2012 年不同植被类型下的产流量情况见表 3。不同的植被类型产流量在 7.93~105.49 mm 变化,灌木林的年均产流量最少,为 17.39 mm,荒草地的年均产流量最多,达到 65.88 mm,接近灌木林的 4 倍;乔木林的年均产流量居于灌木林和荒草地之间,为 21.90 mm。从调查记录可知,灌木林小区近地

面长出了很多杂草,林下形成了草本层。草本层具有较好的截流作用,能够降低径流流速,在径流流动过程中,部分径流因流速慢渗入土壤中,从而减少了径流量<sup>[15]</sup>。2010 年三种植被类型坡面径流量相差最大,灌木林比荒草地少了 90 mm,比乔木林少了 16 mm。经分析发现 2010 年共产生 26 次侵蚀性降雨,降雨总量为 859.8 mm,2012 年产生 16 次侵蚀性降雨,而 2009 年和 2011 年均产生 10 次,说明侵蚀性降雨次数越多,降雨量越大,各植被类型的产流差异也越大,灌木林的保水效果越明显。综上结果表明:不同植被类型的产流量关系为:荒草地>乔木林>灌木林,这说明灌木林减少径流损失的作用最明显,乔木林次之,荒草地最差。由此可见,在水土流失地区因地制宜选择合适的植被类型对减少径流损失具有非常重要的意义。

表 2 不同植被类型产流、产沙次数

植被类型	年份	产流次数	产沙次数	累计产沙次数
乔木林	2009	9	4	43
	2010	25	17	
	2011	10	7	
	2012	16	15	
灌木林	2009	9	5	37
	2010	25	12	
	2011	10	5	
	2012	16	12	
荒草地	2009	9	9	55
	2010	25	23	
	2011	10	7	
	2012	16	16	

表 3 2009—2012 年不同植被类型每场次平均径流量

年份	侵蚀性降雨	乔木林	灌木林	荒草地
	总量/mm	径流量/mm	径流量/mm	径流量/mm
2009	434.30	13.01	23.97	45.96
2010	859.80	31.51	15.47	105.49
2011	445.80	22.13	22.18	59.18
2012	504.50	20.94	7.93	52.88
年均值	561.10	21.90	17.39	65.88

4.3 不同植被类型径流小区产沙量分析

蚂蝗田小流域在 2009—2012 年乔木林、灌木林、荒草地的产沙情况见表 4。灌木林在 2009 年产沙量

最少,仅产沙 3.43 t/km<sup>2</sup>,而荒草地在 2010 年产沙最多,达到 91.6 t/km<sup>2</sup>。荒草地的年均产沙量 55.17 t/km<sup>2</sup>,是产沙量最小的灌木林类型的 11 倍,是乔木林的 6 倍。乔木林的年均产沙量是灌木林的 2 倍。在雨滴产沙击溅侵蚀的同时,表层土壤在坡面径流的作用下不断受到剥蚀和搬运,植被在坡面径流形成过程中起着抑制作用,林冠及地表杂草对雨水的截流效应增加了降雨的入渗,减少了雨滴和薄层水流造成的面蚀和溅蚀;植物根系在土壤中盘根错节,起到巩固土壤的作用,有效的减少了水土流失<sup>[16]</sup>。所以乔木林和灌木林相当于荒草地产沙量少得多,表现出较好的保土作用。灌木林种植的树种为女贞,经过五年生长,灌木盖度和草本盖度均较高,其表层土壤有腐殖质层,结构良好,降雨被林冠层削弱较多,土壤的入渗速率也比较快,侵蚀泥沙量就少。三种植被类型下的产沙关系与产流关系保持了一致性,均表现为荒草地>乔木林>灌木林,同时也表明因地制宜选择合适的植被类型对减少土壤侵蚀具有重要意义。

表 4 2009—2012 年不同植被类型产沙量

年份	侵蚀性降雨 总量/mm	乔木林产沙量/ (t·km <sup>-2</sup> )	灌木林产沙量/ (t·km <sup>-2</sup> )	荒草地产沙量/ (t·km <sup>-2</sup> )
2009	434.30	4.35	3.43	30.91
2010	859.80	7.57	4.30	91.60
2011	445.80	7.11	4.76	49.33
2012	504.50	17.13	6.34	48.85
年均值	561.10	9.04	4.71	55.17

4.4 不同植被类型产流量与产沙量的关系

坡面径流是水土流失的主要动力,坡面径流可以冲刷土壤、挟带泥沙造成土壤侵蚀,特别是在降雨强度较大的情况下,产流增大,所挟带的泥沙量也随之增大<sup>[17]</sup>;陈奇伯,寸玉康等通过研究认为产沙量与产流量存在明显的线性关系<sup>[18]</sup>;张旭东等通过研究认为不同植被模式下坡面产沙量均随产流量的增加而增加<sup>[19]</sup>;由此可见,产流量与产沙量之间具有非常密切的关系。为了探索产流量与产沙量之间的相关性,以不同的植被类型为研究变量,根据 2009—2012 年三年来的统计数据,将三种植被类型的径流深和产沙量进行线性、指数函数、幂函数等关系的拟合,最后得出的关系曲线见图 1。

从图 1 可知:不同植被类型的坡面产沙量大致上均随径流深的增加而增加。乔木林的径流深主要集中在 0.5~4 mm,产沙量集中在 0~3 t/km<sup>2</sup>,数据分布表现得很集中,但产沙量与径流深之间关系不明显;灌木林地径流深集中在 0~2 mm,产沙量集中在 0~1 t/km<sup>2</sup>,产量与径流深之间表现出线性关系,拟合方程为: $y=0.1707x+0.2526$ , $R^2=0.48$ ;撂荒草

地的径流深比较分散,为 0~12 mm,产流量为 0~10 t/km<sup>2</sup> 居多,产沙量与径流深之间表现出幂函数关系,拟合方程为: $y=0.3246x^{1.2965}$ , $R^2=0.64$ 。

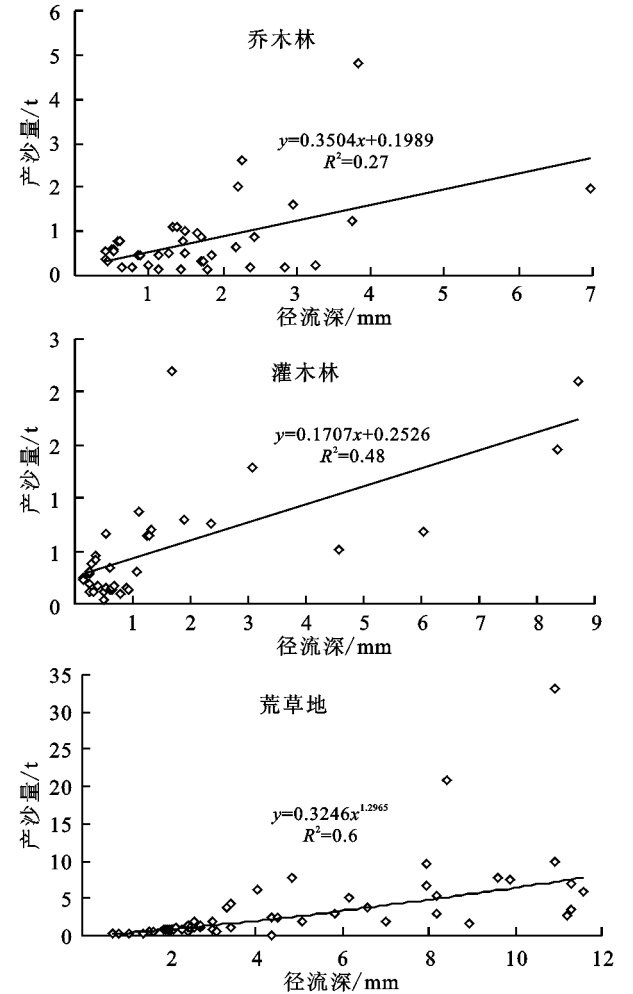


图 1 不同植被类型的产沙量与产流量关系

植被对坡面径流及产沙的影响,主要有五个方面:一是对降雨的截流作用,二是植被茎叶对雨滴的削减作用,三是改善土壤结构、增加水分入渗,四是枯枝落叶层及植物茎对径流流速的缓减作用,五是植物根系能提高土壤的抗蚀性和抗冲性。黄花梨为落叶树种,生长缓慢,分叉较少,侧枝粗壮,木性稳定,不易弯曲、变形或者开裂,有一定的韧性,为水土流失地区的经济树种;女贞,属于常绿、深根性树种,生长速度快,萌芽能力好,须根发达,是常见的水土保持措施种植树种。女贞生长快,植被覆盖度逐年增加,树下形成了较好的草本层,又因须根发达、根系盘结,增加土壤的抗冲性和抗蚀性,保水保土效果较好;而黄花梨由于种植时间短(2008 年种植),且生长慢,作为经济林种植密度过大又抑制了生长,没有形成枯枝落叶层,树下的幼林及草本生长差,保水保土效果欠佳;在相同的径流深下灌木林的产沙量要比乔木林小。乔木林,其植被年变化幅度较大,地面组成物差异较大,

产流与产沙关系不明显,而灌木林与荒草地,其植被年变化幅度较小,逐年增加,产流与产沙关系明显。降雨特性的年际变化对坡面径流及产沙的影响,侵蚀性降雨主要分布在夏季,每年侵蚀性降雨总量与次数不同,直接影响产流产沙。2010年侵蚀性降雨量最高为859.8 mm,而2009年最低为434.3 mm,侵蚀性降雨量变化较大,导致相同土壤每年的含水量不同,渗透强度不同,相同降雨下,发生水土流失的难易程度不同,从而导致乔木林产沙量变化幅度较大,而荒草地变化幅度最小。使乔木林产流与产沙之间的耦合度最差,而荒草地产流与产沙之间的耦合度最佳。因此,在治理水土流失方面,采取乔—灌—草配置方式治理效果最佳。

## 5 结论

(1) 在相同的降雨情况下,不同植被类型小区产流次数相同,产沙次数却存在较大差异,荒草地的产沙次数>乔木林的产沙次数>灌木林的产沙次数。

(2) 灌木林与乔木林的年均径流量相差不大,而荒草地的年均径流量接近它们总和的2倍。

(3) 不同植被类型的产沙量存在明显差异,荒草地的年均产沙量 $55.17\text{ t/km}^2$ ,是灌木林的11倍,是乔木林的6倍。

(4) 乔木林的产流量产沙量之间不存在明显的相关关系;灌木林的产流量产沙量之间存在线性关系;荒草地的产流量产沙量之间存在幂函数关系。

(5) 相同的径流深,荒草地产沙量>乔木林的产沙量>灌木林的产沙量。

### 参考文献:

- [1] 高祥涛,李士进,陶剑. 基于相关反馈的土壤侵蚀遥感图像检索技术研究[J]. 中国农业资源与区划,2009(3):56-60.
- [2] 姚云. 不同坡长条件下扰动地表对紫色土坡面土壤可蚀性的影响[D]. 重庆:西南大学,2014.
- [3] Cerda A. Soil Erosion after Land Abandonment in a Semiarid Environment of Southern Spain[J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1997,11:163-176.
- [4] Carroll C, Hal pin M, Burger P, et al. The Effect of

Crop Type, Crop Rotation, and Tillage Practice on Runoff and Soil Loss on a Vertisol in Central Queensland[J]. Geomorphology, 2000,32:385-415.

- [5] 艾宁,魏天兴,朱清科. 陕北黄土高原不同植被类型下降雨对坡面径流侵蚀产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2013,27(2):26-30.
- [6] 杨春霞,肖培青,甄斌,等. 野外不同被覆坡面产流产沙特征[J]. 水土保持学报,2012,26(4):28-36.
- [7] 余新晓,张学霞,李建牢,等. 黄上地区小流域植被覆盖和降水对侵蚀产沙过程的影响[J]. 生态学报,2006,26(1):1-8.
- [8] 刘栋,刘普灵,邓瑞芬,等. 不同卜垫面径流小区次降雨侵蚀特征相关分析[J]. 水土保持通报,2011,31(2):99-102.
- [9] 胡顺光. 贵州喀斯特区小流域尺度生态治理的水土流失机制研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2008.
- [10] 蒋荣,张兴奇,张科利,等. 喀斯特地区不同林草植被的减流减沙作用[J]. 水土保持通报,2013,33(1):18-22.
- [11] 纪启芳. 贵州喀斯特地区坡面不同植被的减流减沙作用[D]. 南京:南京大学,2013.
- [12] 周素萍,张兴奇,张科利,等. 贵州喀斯特地区不同生物措施的水土保持效果[J]. 贵州农业科学,2011,39(4):117-120.
- [13] 刘凤仙. 贵州喀斯特地区林草措施对水土流失的影响[J]. 中国水土保持,2007(12):38-39.
- [14] 刘凤仙,覃莉,顾再柯. 贵州省水土保持监测点观测数据整编的做法及存在问题[J]. 中国水土保持,2014(3):59-61.
- [15] 李瑞,刘瑞禄,吕涛,等. 贵州省喀斯特地区典型小流域不同种植模式坡面径流产沙研究[J]. 水土保持通报, 2012,32(5):132-135.
- [16] 纪启芳,张兴奇,张科利,等. 贵州省喀斯特地区坡面产沙产流特征[J]. 水土保持研究,2012,19(4):1-5.
- [17] 刘艳,刘学全,崔鸿侠,等. 长江中游低丘黄壤坡面地表径流产沙规律初探[J]. 水土保持研究,2010,17(1):149-153.
- [18] 陈奇伯,寸玉康,刘芝芹,等. 滇西高原不同地类坡面产流产沙规律研究[J]. 水土保持研究,2005,12(2):71-73.
- [19] 张旭东,周金星,黄玲玲. 中亚热带黄壤丘陵区不同植被恢复模式产流产沙特征[R]. 海峡两岸环境与资源学术研讨会学术论文文集,2007.