

# 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

李瑞<sup>1</sup>, 刘瑞禄<sup>1</sup>, 吕涛<sup>2</sup>, 李勇<sup>2</sup>, 刘云芳<sup>1</sup>, 杜迪<sup>2</sup>

(1. 贵州省水土保持技术咨询研究中心, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省水土保持监测站, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 对位于贵州省喀斯特地区的龙里水土保持科技示范区 10 个不同种植模式的径流小区进行了试验观测。研究表明, 在相同的降雨条件下, 灌木(如树莓)、天然草地和撂荒地等坡面径流产沙量较小, 径流量分别为 0.71, 0.74 和 0.71 m<sup>3</sup>, 产沙量分别为 20.3, 20.3 和 20.16 g, 上述 3 种植模式坡面水土保持功能较好。乔木种植模式则因未能形成灌木层、草本层及枯枝落叶层等, 其坡面水土保持功能较差, 3 个乔木径流小区的径流量分别为 1.18, 0.98 和 0.95 m<sup>3</sup>; 产沙量分别为 119.56, 126.56 和 125.89 g, 均远大于其他几种种植模式。坡耕地因免耕、地表结皮等原因, 其水土保持功能也好于乔木种植小区。

**关键词:** 喀斯特地区; 径流小区; 径流产沙; 种植模式; 水土保持功能

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0132-04

中图分类号: S157.1

## Runoff and Sediment Yield on Slope with Different Planting Patterns for a Typical Small Watershed in Karst Region of Guizhou Province

LI Rui<sup>1</sup>, LIU Rui-lu<sup>1,2</sup>, LÜ Tao<sup>2</sup>, LI Yong<sup>2</sup>, LIU Yun-fang<sup>1</sup>, DU Di<sup>2</sup>

(1. Guizhou Provincial Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Guiyang, Guizhou 550002, China;

2. Technical Consulting and Research Center for Soil and Water Conservation of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550002, China)

**Abstract:** Ten runoff plots with different planting patterns were established for experimental observation in the Longli soil and water conservation demonstration area of science and technology in karst region of Guizhou Province. Results show that under the same rainfall condition, shrub land (such as *Rubus idaeus*), natural grassland and abandoned land presented the best function of soil and water conservation. Runoff yields on the three kinds of land were 0.71, 0.74 and 0.71 m<sup>3</sup> and sediment yields, 20.3, 20.3 and 20.16 g. The function of soil and water conservation was poor for arbor planting pattern, because the shrub layer, herb layer and forest floor were not formed. Runoff yields for the three plots with arbor planting pattern were 1.18, 0.98 and 0.95 m<sup>3</sup> and sediment yields, 119.56, 126.56 and 125.89 g. Because of no-tillage, surface crust and other effects, the function of soil and water conservation in slope farmland was better than that in runoff plots with arbor planting pattern.

**Keywords:** karst region; runoff plot; runoff and sediment yield; planting pattern; soil and water conservation function

贵州省是中国水土流失最为严重的省份之一,也是中国唯一没有平原支撑的省份。这里喀斯特地貌发育,坡耕地比重大,土壤侵蚀严重,大量基岩裸露,土地生产力严重下降,形成了类荒漠化现象,即石漠化。坡面水蚀是贵州省喀斯特地区主要的土壤侵蚀类型。因此,对贵州喀斯特地区径流产沙的研究具有重要的意义。

国内外对流域降雨产流、产沙研究的报道较多,也取得了一系列的研究成果。有研究表明,土地利用状况特别是植被状况与产沙之间存在相关关系,不同植被状况下的泥沙输移过程也不同<sup>[1]</sup>;关于泥沙含量和流量之间的关系,有学者通过试验研究认为两者之间为幂函数关系<sup>[2]</sup>,但是也有学者持反对意见,认为泥沙含量和流量之间并无显著的相关关系<sup>[3]</sup>。

收稿日期:2011-10-09

修回日期:2011-12-28

资助项目:贵州省自然科学基金项目“贵州喀斯特地区典型小流域降雨与径流泥沙关系研究”(黔科合 J 字[2008]2076);贵州省水利重大科研课题“贵州喀斯特地区土壤侵蚀机理及水土流失预测”(KT200703)

作者简介:李瑞(1979—),男(彝族),贵州省六盘水市人,博士,主要研究方向为水土保持与石漠化治理。E-mail:rlfer@126.com。

国内在径流产沙方面进行了很多试验研究,并取得了许多研究成果<sup>[4-7]</sup>。但喀斯特地区坡面径流产沙方面的研究鲜见报道,本文以位于贵州省喀斯特地区的龙里县羊鸡冲小流域为例,研究了贵州省喀斯特地区典型小流域不同坡面种植模式下的径流产沙规律,探讨不同植被措施的水土保持功能,为贵州省喀斯特地区坡面水土流失治理、坡耕地整治等提供参考。

## 1 研究区概况

贵州省龙里水土保持科技示范园区是水利部首批水土保持科技示范园区,位于贵州省龙里县东郊的羊鸡冲小流域,属长江流域乌江水系。羊鸡冲小流域距贵阳市 35 km,321 国道、贵新高等级公路、黔桂铁路、湘黔铁路穿境而过。中心位置为东经 107°00′,北纬 26°28′,系岩溶中低山丘陵地貌,总面积为 1 189 hm<sup>2</sup>,是水力侵蚀为主的面蚀侵蚀区,属轻度水土流失区。龙里水土保持科技示范区以羊鸡冲小流域为自然单元。主要示范内容包括:水土保持林 333.3 hm<sup>2</sup>,封禁治理及生态修复面积 253.3 hm<sup>2</sup>,

经果林 106.67 hm<sup>2</sup>,母本园 26.67 hm<sup>2</sup>,苗圃 13.33 hm<sup>2</sup>,盆景观赏园 2 hm<sup>2</sup>,水土保持培训设施,降雨及径流观测设施,土壤侵蚀观测试验场,组织培养室,温室以及节水灌溉设施等。

羊鸡冲小流域属亚热带季风气候,多年平均气温 14.7℃,多年平均降雨量 1 158.5 mm,极端最高气温 35℃,极端最低气温 -3℃,积温 4 274~4 574.6℃。

## 2 材料与方法

### 2.1 坡面径流小区选择

龙里水土保持科技示范园共设 18 个径流小区,本研究根据小区不同种植模式选取其中的 10 个径流小区进行试验观测。其中种植乔木的选择杨树(*Populus* spp.)、柏树(*Platycladns* spp.)及杨树+柏树各 1 个,计 3 个径流小区;种植灌木(小乔木)的选择杨梅(*Myrica rubra*)、山桃(*Amygdalus davidiana*)、树莓(*Rubus corchorifolius*)各 1 个,计 3 个;农耕地选择 2 个(横坡、顺坡各 1 个);撂荒地和自然草地各 1 个(如表 1 所示)。

表 1 试验径流小区基本情况

| 序号 | 种植模式   | 坡向 | 坡度 | 土壤类型 | 投影坡长/m | 宽/m | 水平面积/m <sup>2</sup> |
|----|--------|----|----|------|--------|-----|---------------------|
| 1  | 杨树     | 南  | 20 | 黄壤   | 20     | 5   | 100                 |
| 2  | 柏树     | 南  | 20 | 黄壤   | 20     | 5   | 100                 |
| 3  | 杨树+柏树  | 南  | 20 | 黄壤   | 20     | 5   | 100                 |
| 4  | 杨梅     | 北  | 20 | 黄壤   | 20     | 9   | 180                 |
| 5  | 桃树     | 北  | 20 | 黄壤   | 20     | 9   | 180                 |
| 6  | 树莓     | 北  | 20 | 黄壤   | 20     | 9   | 180                 |
| 7  | 农耕(横坡) | 西  | 20 | 黄壤   | 15     | 5   | 75                  |
| 8  | 农耕(顺坡) | 西  | 20 | 黄壤   | 15     | 5   | 75                  |
| 9  | 自然草地   | 南  | 20 | 黄壤   | 20     | 5   | 100                 |
| 10 | 撂荒地    | 南  | 20 | 黄壤   | 20     | 5   | 100                 |

### 2.2 观测方法

(1) 雨量观测。径流场布设 1 台自记雨量计和 1 个雨量筒,相互校验。因径流小区相对集中,无须增加雨量筒数量。在降雨日 18 时换取记录纸,并相应记录雨量筒雨量。

羊鸡冲小流域径流小区相对集中,径流小区间降雨量变化不大。本次研究从龙里县羊鸡冲小流域 2008—2010 年 60 余场有效降雨(即有径流泥沙产生的降雨)中选取较为典型的 28 场降雨进行统计,同步统计 28 场降雨条件下的径流、产沙。

(2) 径流观测。龙里径流小区均设置有分流池,但近年来贵州省大旱,降雨量较小,分流设施基本没

用使用。故直接采用集流池集流,产流结束后,直接量水,根据事先确定的水位—容积曲线推求径流总量。

地表径流是衡量植被保持水土、涵养水源、消减洪峰等水文效益的一个基本指标,但影响地表径流的因素是复杂多样的<sup>[8]</sup>,除降雨量和降雨强度等直接气象因素之外,土壤、植被类型、地表覆盖程度和经营措施均对其有影响。因所设置试验小区同处于羊鸡冲小流域,故假定土壤性质一致,坡向对径流产沙无影响。

本次研究取 28 场降雨条件下同步观测的径流观测数据的平均值进行分析,研究不同种植模式对降雨

径流产生的影响。

(3) 泥沙观测。在降水结束、径流终止后立即观测, 首先将集流槽中泥、水扫入集流池中, 然后搅拌均匀, 在池中采取柱状水样 2~3 个 (总量在 1 000~3 000 cm<sup>3</sup>), 混合后从中取出 500~1 000 cm<sup>3</sup> 水样, 作为本次冲刷标准样。含沙量的求取, 是将水沙样静置 24 h, 过滤后在 105 °C 下烘干到恒重, 再进行计算。本次研究, 取 28 场降雨条件下同步观测的泥沙观测数据的平均值进行分析, 研究不同种植模式对径流泥沙产生的影响。

(4) 观测数据归一化处理。本研究所涉及的径流小区面积大小不一, 规格分别为 75, 100 和 180 m<sup>2</sup>。小区面积不一致, 所产生的径流、泥沙等均不具备可比性, 因此本研究以 100 m<sup>2</sup> 为 1 对其他规格的小区的径流、泥沙观测数据进行归一化。

### 3 结果与分析

#### 3.1 龙里小流域不同种植模式坡面产流分析

龙里县羊鸡冲小流域 2008—2010 年不同种植模式 28 场典型降雨条件下的平均产流统计见图 1。

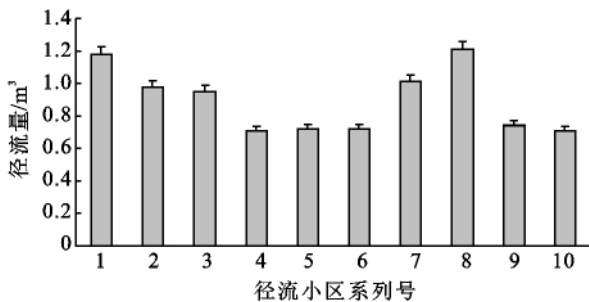


图 1 龙里县羊鸡冲小流域不同种植模式径流量

由图 1 和表 2 可清晰地看出, 10 个径流小区不同种植模式径流总量大致可分为 2 个流量等级。其中, 种植杨树、柏树、杨树+柏树、农耕地顺坡和农耕地横坡等 5 种植模式下的径流量明显高于其他 5 种植模式, 分别为 1.18, 0.98, 0.95, 1.01 和 1.21 m<sup>3</sup>。其他 5 种植模式分别为杨梅、山桃、树莓、自然草地和撂荒地, 其产流量为 0.71, 0.72, 0.72, 0.74 和 0.71 m<sup>3</sup>。

产流量较大的 5 种植模式中 3 种为乔木种植模式, 2 种为农耕种植模式。而本研究中, 径流量较小的为灌木(小乔木)、天然草地及撂荒地(以杂草为主)。人工乔木林水土保持功能不及天然草地等这一研究结论与雷瑞德<sup>[9]</sup>, 周国逸<sup>[10]</sup>等人的研究结论相符。这些研究解释了仅有乔木层而无林下枯落物和良好草被时, 林地的土壤侵蚀量增大的现象。本研究中, 3 种乔木种植模式均为人工林, 林下无灌木层和

草本层, 枯枝落叶也较少, 很好地解释了乔木种植模式径流量大于草地、灌木林、撂荒地等种植模式。

从图 1 还可以看出, 7, 8 号径流小区(农耕模式)产流量较大, 尤其顺坡耕作模式下的 8 号径流小区, 在本研究的 10 个径流小区中, 产流量最大, 为 1.21 m<sup>3</sup>。由外业调查可知, 农耕径流小区种植的作物为秋葵(*Abelmoschus esculentus*), 基本不翻耕, 很少除草, 因此地面板结程度较高。土壤板结使降雨入渗率下降, 在大雨或暴雨情况下, 多数降水未来得及入渗便形成径流, 顺坡流入集流池, 形成超渗产流。

径流量较小的 5 种植模式中, 3 种为灌木林, 2 种为草地(其中撂荒地撂荒时间为 5 a, 目前形成了天然草地)。从外业调查结果知, 3 种灌木种植模式均形成了草本层, 具有较好的截流作用, 降低了径流流速, 在径流流动过程中, 因流速慢, 部分径流渗入土壤, 减少了径流量。天然草地和撂荒地因植被覆盖度较高, 达 90% 以上, 也对径流的拦截起到了很好的作用, 从而降低径流流速, 减少径流量。

#### 3.2 龙里县小流域不同种植模式坡面产沙分析

本研究所选取的 10 个径流小区, 分别代表乔木种植模式、灌木种植模式、农耕模式和天然草地等。10 个径流小区 28 场典型降雨条件下的产沙统计结果表明(图 2), 产沙量明显分为 2 个梯次, 3 种乔木种植模式在相同的降雨条件下泥沙量显著高于其他种植模式, 按小区序号分别为 119.56, 126.56 和 125.89 g。一方面乔木林种植时间短(2005 年种植), 树龄小, 平均胸径不足 20 cm, 没有形成灌木层、草本层和枯枝落叶层, 不能对降雨形成有效的拦截, 也不能有效降低径流流速, 减少挟沙能力。另一方面, 因种植时间短, 地表微生物作用不明显, 地表未形成结皮, 加之土壤较为疏松, 这就是给土壤侵蚀提供了有利的条件, 遇大雨或暴雨, 大量泥沙随径流流走, 造成流失。

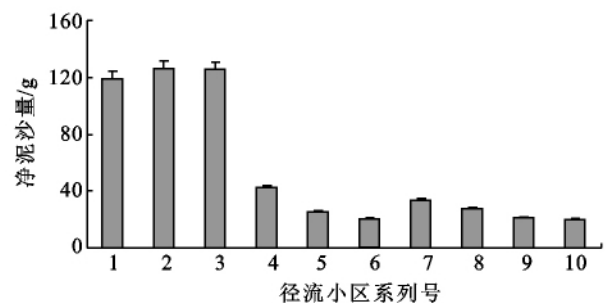


图 2 龙里县羊鸡冲小流域不同种植模式泥沙量

综上所述, 农耕模式径流量在几种种植模式中较高, 顺坡农耕地径流量 1.21 m<sup>3</sup>, 是所有种植模式中径流量最大的。但农耕模式泥沙量却远小于乔木种植模式, 横坡、顺坡农耕地分别为 33.42 g 和 27.47 g。农

耕地由于缺少翻耕,地面板结并长满杂草,降雨未来得及入渗便形成径流顺坡流入集流池,但是因土壤板结,泥沙流失量小。本研究表明,坡耕地不一定导致土壤流失,土壤流失源自于田间耕作活动(翻耕、除草等)。4—6号、8—9号径流小区为灌木种植模式、草地模式,泥沙量按照小区顺序分别为42.37,25.37,20.3,21.3,20.16 g,均远低于乔木种植模式。泥沙量最大的柏树种植模式(2号小区,126.56 g)是最小的撂荒地(20.16 g)的6倍。

## 4 讨论

(1) 龙里县羊鸡冲小流域2008—2010年观测统计结果表明,在相同的降雨条件下,不同种植模式对坡面产流影响较大。3种乔木种植模式坡面径流量均较大,其原因主要是树龄小,未形成林下灌木层和草本层,不能有效拦截降水;2种农耕模式坡面产流也较大,这与坡面板结有一定关系。

(2) 研究结果表明,坡面泥沙冲刷量最大的是3种乔木种植模式,远大于其他几种种植模式;冲刷量最小的是灌木(经果林)种植小区和天然草地(含撂荒地)等。

上述结论表明,防止坡面水土流失的有效措施不一定是造林,尤其种植乔木。在树龄较小,未形成灌木层、草本层的阶段,乔木种植模式的水土保持功能并不是最好的,甚至不如撂荒等措施。陈廉杰<sup>[11]</sup>根据3a的径流小区实测资料研究了乌江中下游余庆、彭水等3县人工林的水土保持功能,发现2块郁闭度分别为60%和50%的人工马尾松(*Pinus massoniana*)林,仅仅因为前者林下草地覆盖度(30%)小于后者(60%),径流量和土壤侵蚀模数分别增加了3.3倍和1.2倍,进一步的研究则表明2层结构(如乔—草和灌—草型)的水土保持效益优于单层乔木型,乔—灌—草3层结构的水土保持效益最好。本研究乔木种植模式为单层结构,从现场调查结果来看,乔木种植模式不能形成林下灌木层和草本层的原因除了树龄较小外,和种植密度较大(种植规格为2 m×2 m)也有关系。

贵州省喀斯特地区坡面水土流失防治任务繁重,水土保持防治措施模式的选择显得十分重要。本研究表明,单纯的造林不是最佳的防治模式,其防治效果不如灌木种植模式,甚至不如天然草地和撂荒地。因此,最佳防治模式应当是乔—灌—草混交模式,形成林、灌、草3层。但从大面积水土流失防治来讲,要进行林灌草3层种植并不容易,投资大,见效慢。从本研究结论来看,灌木林(经济林)种植模式因下垫面

形成了草本层,同时管理上采取粗放式管理,即不除草,定期施肥,人为干扰很小,因此取得了较好的水土流失防治效果,同时还能产生经济效益,是值得推广的一种水土流失防治模式,力推花椒、柑橘等种植模式。此外,封育也不失为一种简单易行的防治模式。贵州省降雨丰富,封育条件下可使植被自然恢复,形成天然草地,亦能起到较好的水土流失防治效果。

本研究表明,与传统翻耕地相比,免耕径流小区因形成了地表结皮,可有效防止土壤流失。杨丽娜等<sup>[12]</sup>人的试验研究也同样表明,在降雨强度一定的条件下,与传统耕作小区相比,免耕小区第1阶段便可使径流减少2倍,土壤流失量减少5倍。因此,免耕、少耕可有效减少土壤侵蚀。贵州省坡耕地多为传统耕作方式,水土流失严重,免耕、少耕种植面积小。加之贵州省人多地少,本着保护耕地,农业优先的发展模式,坡耕地水土流失防治措施重点采用坡改梯、水平阶、窄条梯田等措施。对大于20°以上的坡耕地则须因地制宜进行农耕地改造。

### [参 考 文 献]

- [1] Dieterich M. Dynamics of a biotic parameters, solute removal and sediment retention in summer-dry headwater streams of western Oregon[J]. *Hydrobiologia*, 1998, 37(9):1-15.
- [2] Graf W H. Hydrology of sediment transport [M]. New-York: Mc-Graw-Hill Book Co., 1971.
- [3] Hicks D M, Gomes B, Trustrum N A. Erosion threshold sand suspended sediment yields, Waipaoa River Basin, New Zealand [J]. *Water Resources Research*, 2000, 36(4):1129-1142.
- [4] 王礼先,张志强. 干旱地区森林对流域径流的影响[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 439-444.
- [5] 刘卉芳,朱清科,魏天兴. 晋西黄土区森林植被对流域径流的影响[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(2):5-9.
- [6] 张建军,毕华兴,张宝颖. 坡面水土保持林地地表径流挟沙能力研究[J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(5):25-28.
- [7] 金雁海,柴建华,朱智红,等. 内蒙古黄土丘陵区坡面径流及其影响因素研究[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 292-298.
- [8] 申卫军,周国逸,彭少麟,等. 南亚热带鹤5种生态系统的地表径流[J]. *热带亚热带植物学报*, 1999, 7(4):273-281.
- [9] 雷瑞德. 华山松林冠层对降雨动能的影响[J]. *水土保持学报*, 1988, 2(2):31-39.
- [10] 周国逸. 几种常用造林树种冠层对降水动能分配及其生态效应分析[J]. *植物生态学报*, 1997, 21(3):250-259.
- [11] 陈廉杰. 乌江中下游低效林水土保持效益分析[J]. *水土保持通报*, 1991, 11(6):18-22.
- [12] 杨丽娜,王永双,白毅. 耕作措施对地表径流和产沙量的影响[J]. *水土保持应用技术*, 2006, 23(3):15-16.