

坡度和雨强对喀斯特地区坡面产流产沙的影响

Effects of Slope Gradient and Rainfall Intensity on Runoff and Sediment Generation of Slope Land in Karst Area

蒋 荣¹, 张兴奇¹, 纪启芳¹, 杨 勇², 杨光徽², 顾再柯²

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 贵州省水土保持监测站, 贵州 贵阳 550002)

摘 要: 利用径流小区观测法, 分析了坡度和雨强对贵州喀斯特地区 4 种地类坡面产流产沙的影响。结果表明, 随坡度的增大, 各地类坡面产流产沙量并没有表现出一致增大或减小的趋势, 它们在很大程度上受土地利用方式和土壤类型的制约; 随最大 30 min 雨强 (I_{30}) 的增大, 坡面的产流产沙量增大。坡度为 13° 时, 坡耕地在各地类中的产流产沙量最小, 随坡度增大逐渐超过其他地类; 除 13° 径流小区外, 经济林地 (梨树) 在各种坡度、雨强范围内的产流产沙量均为各地类中最少; 水保林地 (香樟) 在各种情况下的产流量虽较大, 但产沙量相对较小; 裸地在观测条件下的产流产沙量均较大。

关键词: 喀斯特; 径流深; 产沙量; 坡耕地; 贵州

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

Abstract : Analysis of slope gradient and rainfall intensity effects on runoff and sediment generation under four types of slope land in Karst area were carried out by using the runoff plots experimental method in Guizhou province. The results showed that with the increase of slope gradient, runoff and sediment generation under different types of slope land didn't increase or decrease consistently. They were largely influenced by the way of land use and soil type. With the increase of I_{30} , runoff and sediment generation under different types of slope land increased accordingly. When the slope gradient was 13° , the slope farmland had the least runoff and sediment generation in all types of slope land. It exceeded other types of slope land gradually with the increase of slope gradient. Except the situation that the slope gradient was 13° , runoff and sediment generation of economic forest (pear trees) kept the least in all kinds of slope and rain intensity range. Although the runoff of water conservation forest (Cinnamomum camphora) was large in all circumstances, the sediment generation was relatively small. Bare slope land had very large runoff and sediment generation in all observation conditions.

Key words : Karst; Runoff Depth; Sediment Production; Sloping Farmland; Guizhou Province

CLC number : S157.1

贵州喀斯特地区山高坡陡、沟谷深切、地形破碎、降雨丰沛且多暴雨, 大面积的陡坡耕地 (全省小于 6° 的耕地仅占全省耕地总面积的 19.10%, 坡度 $6^\circ \sim 25^\circ$ 的耕地占 61.01%, 大于 25° 的坡耕地占 19.89%) 成了侵蚀泥沙的主要来源^[1], 水土流失及其导致的石漠化已成为该地区最严重的环境问题。自 20 世纪 90 年代以来, 已有许多研究者在该地区作了大量工作, 采取了多种

多样的水土流失治理措施^[2-4], 既有封山育林、植树造林等生物措施, 也有坡改梯等工程措施, 它们在局部地区取得了一定成效, 但总体治理速度仍然缓慢, 水土流失严重、生态与环境恶化的趋势尚未得到根本遏制^[5]。当前对该地区的研究主要集中在水土流失成因、特征、地带性分布及等级划分等方面^[6-9], 以定性研究为主, 这些研究在指导水土保持工作中起到了一定的作用。但配置

收稿日期: 2012-02-01

基金项目: 贵州省水土保持监测站科研项目“西南喀斯特地区土壤侵蚀机理及水土流失预测研究” (2006200)

作者简介: 蒋 荣 (1987-), 女, 硕士研究生。研究方向: 环境科学、土壤侵蚀和水土保持。E-mail: jr200604012@163.com

更合理、更有效的治理措施离不开对影响坡面产流产沙各因素与产流产沙量关系的定量研究,然而目前该地区这方面的研究还很欠缺。为此,通过径流小区观测法,分析了坡度和雨强因素对经济林地(梨树)、水土保持林地(香樟)、坡耕地(农作物)及裸地4种地类坡面产流产沙的影响,旨在为贵州喀斯特地区选择合理的水土保持措施和预测坡面产流产沙提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于遵义县西部乐山镇与鸭溪镇交界处的浒洋水小流域,处大娄山脉南侧斜坡地带,属中低山丘陵地貌,相对高差250 m左右,流域

土地总面积20.87 km²。气候属中亚热带湿润季风气候,多年平均气温14.6℃,降雨量1 024 mm。小流域内的岩性以灰岩、结晶灰岩、泥灰岩和页岩为主,土壤以黄壤为主,沙壤次之,呈酸性,有机质含量少,土壤肥力低下。由于坡耕地面积的不断扩大,陡坡耕地的增加,土壤流失急剧加重,有70%的坡耕地土层厚度小于0.3 m。

1.2 试验小区布设

根据研究目标和研究内容要求,结合当地的具体情况选择经济林地(梨树)、水土保持林地(香樟)、坡耕地(农作物)和裸地4种地类共21个径流小区的实测数据进行分析,其中经济林地(梨树)和水土保持林地(香樟)各设一个重复,小区设置情况见表1。

表1 小区基本情况

地 类	坡度 13° (黄壤)		坡度 18° (黄壤)		坡度 25° (黄壤)		坡度 25° (沙壤)	
	株距×行距	长×宽	株距×行距	长×宽	株距×行距	长×宽	株距×行距	长×宽
经济林地(梨树)	3×4	20×10	3×4	20×10	—	—	3×4	20×10
水土保持林地(香樟)	2×2	20×5	2×2	20×5	2×2	20×5	2×2	20×5
坡耕地(农作物)	—	20×10	—	20×5	—	20×5	—	20×5
裸地	—	20×5	—	20×5	—	20×5	—	20×5

注:空白表示该小区无此项

1.3 野外观测与数据处理

降雨过程由自记雨量计记录。每次侵蚀性降雨结束后,根据各小区的分流池和集流池内的刻度读取径流量,使用搅拌法进行泥沙样采集,并使用烘干法测定泥沙量。2009、2010年共收集了14场侵蚀性降雨的实测降雨、径流和泥沙数据。

利用Excel2003和SPSS17.0等统计软件分别对收集到的数据进行了归类整理、方差分析(ANOVA)、多元回归等分析处理。小区坡度分为13°、18°、25° 3种情况,所测最大30 min雨强(I_{30})分为 $I_{30} < 15$ mm/h、 15 mm/h $< I_{30} < 30$ mm/h、 $I_{30} > 30$ mm/h 3种强度,分别对3种坡度和3种雨强范围内4种地类坡面的产流产沙情况进行了比较分析。

2 结果与讨论

2.1 坡度对不同地类坡面产流产沙的影响

2.1.1 坡度对产流量的影响 径流量随坡度的变

化较为复杂,在降雨等其他条件一定的条件下,地表径流量主要由坡面承雨量和入渗来决定^[9]。投影面积一定的情况下,随着坡度的增加,斜坡坡面受雨面积增大,则单位面积受雨量减小,而引起单位面积径流量随坡度的增加而减小;但是,坡度增加后,径流重力在斜坡方向上的分力增大,加快径流速度,击溅雨滴沿坡面向下落得更远,水分进入土壤的机会减少,导致入渗速率减少,又有利于增加径流^[11]。这两个相反方向的作用力此消彼长,再加上各地类坡面不同植被覆盖的作用,导致各地类坡面的径流深随坡度增长并没有表现出一致增大或减小的趋势见图1a。总体而言,在黄壤的条件下,坡耕地(农作物)坡面随坡度增加径流量显著增大,经济林地(梨树)和水土保持林地(香樟)坡面径流量则随坡度增大而减少,裸地坡面的径流量变化不明显。因此可以得出:坡度虽然是影响坡面产流的一个主要因素,

但其在很大程度上受土地利用方式的影响。黄壤条件下, 13° 径流小区各地类坡面的产流量依次为: 坡耕地<经济林地<裸地<水土保持林; 18° 径流小区依次为: 经济林地<坡耕地<水土保持林<裸地; 25° 径流小区依次为: 经济林地<裸地<坡耕地。坡度为25° 时, 沙壤地各地类坡面的产流量依次是: 经济林地<坡耕地<水土保持林<裸地。除13° 径流小区外, 经济林地(梨树)坡面的产流量均为各地类中最小, 水土保持林(香樟)的产流量仅次于裸地, 表明经济林地(梨树)的保水效果明显好于水土保持林(香樟), 这是由于植被对地表径流的影响是由冠层、枯枝落叶层和土壤层的综合效能决定的^[12], 梨树为落叶树种, 林冠、下层植被及枯枝落叶层对雨水有明显的截留及缓冲作用, 它们不仅能保持一定的水分, 并且能有效增加土壤水分的下渗, 而香樟为常绿树种, 枯枝落叶较少, 地表覆盖度低, 因此保水效果不明显。另一方面, 经济林的种植密度较水土保持林低, 更有利于枝叶的延伸及地表杂草的生长, 林草的综合作用进一步加强了其降雨截留能力。坡度为13° 时, 坡耕地在各地类中的产流量最小, 随坡度增大逐渐超过其他地类, 坡度为25° 时, 其黄壤地产流量成为各地类中最大的, 但在沙壤条件下, 其产流量仅大于经济林地, 表明该地区黄壤地坡度大于25° 后不适宜耕作, 沙壤地的适宜耕作坡度有待于进一步探究。

2.1.2 坡度对产沙量的影响 径流量随坡度的变化必然引起产沙量随坡度的改变。黄壤条件下, 坡耕地(农作物)坡面随坡度增加产沙量显著增大, 经济林地(梨树)和水土保持林(香樟)坡面产沙量随坡度增大而减少, 裸地坡面随坡度增大产沙量先增大后又减少见图1b。这是由于随坡度增大, 经济林和水土保持林受人为扰动较少, 地表枯枝落叶覆盖度高。坡耕地受人类扰动强烈, 土壤疏松易于剥蚀搬运, 且随着坡度增大, 径流流速度加快, 产流时间缩短, 下渗减少, 径流量变大, 径流的剥蚀和搬运能力增强, 因而坡耕地农作物产沙量随坡度增加而大

幅度增加。裸地受人为等外界因素干扰较少, 可用坡度对产沙量影响的一般规律解释^[13], 一方面随坡度增加, 坡面径流流速加大, 侵蚀能力增强, 同时坡面土体受到斜坡重力切向分力增大, 土体不稳定性增大, 就更易被径流分离和搬运; 另一方面随着坡度的增大, 单位斜面面积上受雨面积减少, 承雨强度降低, 则侵蚀强度变小。当坡度增大到一定程度时, 坡度增大侵蚀的作用已不能抵消由于斜面面积增大, 单位斜面面积上降雨强度变小导致的弱化侵蚀作用的功效, 因此总的土壤侵蚀强度反而开始减小。

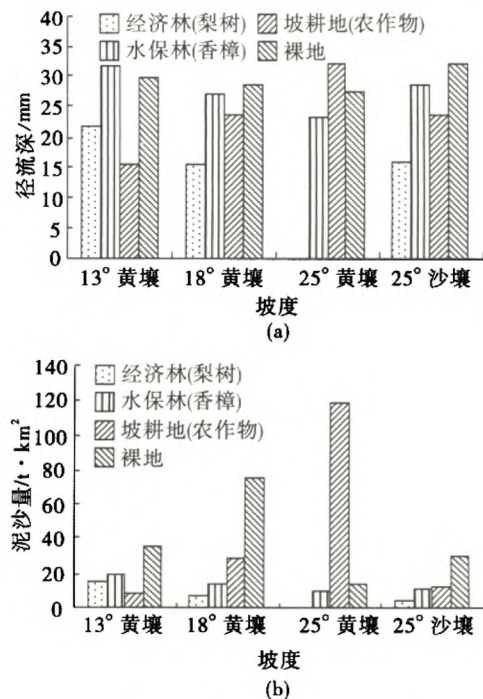


图1 坡度对产流产沙量的影响

黄壤条件下, 13° 径流小区各地类坡面的产沙量依次为: 坡耕地<经济林地<水土保持林<裸地; 18° 径流小区依次为: 经济林地<水土保持林<坡耕地<裸地; 25° 径流小区依次为: 经济林地<裸地<坡耕地。坡度为25° 时, 沙壤地各地类坡面的产沙量依次是: 经济林地<水土保持林<坡耕地<裸地。除水土保持林地外, 其余各地类的产沙量次序与产流量一致, 水土保持林的产流量虽较大, 但其产沙量仅大于经济林地, 表明其有较强的保土效果, 这是由于一方面虽然其枝叶截留降雨量较少, 却可以起到很强的缓冲雨滴动能的作用; 另一方面其地表有

枯落物,再加上林隙间杂草丛生,可以减小降雨直接到达地面,从而大大降低了侵蚀量。

比较在黄壤和沙壤条件下(同为 25° 的情况)各地类坡面的产流产沙量发现,虽然前述的规律并不符合沙壤条件,但各地类坡面各自的产流产沙趋势一致,水土保持地(香樟)和裸地的产流产沙量均为黄壤地小于沙壤地,坡耕地(农作物)的情况则刚好相反,表明该地区坡度对产流产沙量的影响还受土壤类型的制约。

2.2 雨强对不同地类坡面产流产沙的影响

2.2.1 雨强对产流量的影响 影响地表径流的另一个因素是降雨,以最大30 min雨强(I_{30})为代表研究产流与降雨的关系。随 I_{30} 的增大,各地类坡面的径流深均随之增大,并且 $I_{30} > 30 \text{ mm/h}$ 范围内的径流量较前者显著增大见图2a。表明当雨强不断增大时,一方面降雨速度加快,单位时间降雨量增大;另一方面雨滴打击地表使土层更密实,溅散的土粒堵塞土壤孔隙,减小了地面粗糙度,降低土壤入渗能力,同时土壤含水率逐渐饱和,更多的降雨变成地表径流^[14]。

3种雨强范围内,各地类坡面的产流量均为经济林地<坡耕地<水土保持地<裸地,表明经济林地(梨树)在各种雨强下的产流量均较其他地类少,这是由于经济林树冠冠幅较大^[15],较其他地类覆被有更大的降雨截留能力。3种雨强范围内经济林地产流量较坡耕地分别减少38.65%、33.91%、13.68%,较水土保持地分别减少46.76%、38.52%、29.31%,较裸地分别减少47.30%、45.84%、32.80%,表明其保水效果有随雨强增大而减小的趋势。

2.2.2 雨强对产沙量的影响 降雨强度对产沙量也有很大影响,各地类坡面产沙量基本上随雨强增大而增大,但经济林地(梨树)与水土保持地(香樟)的产沙量随雨强的增大幅度并不像产流量那样显著见图2b。这是由于降雨强度越大,雨滴动能和终极速度就越大,径流的紊动性也越强,对土壤表层稳定性破坏越大,因此土壤侵蚀量越大^[14]。但作为林地,其地表有枯落物和杂草,可以减小降雨直接到达地面,再加上林地土壤有机质含量高,抗冲性强,所以即使地表径流量增大,土壤侵蚀量并未随之增大。

当 $I_{30} < 30 \text{ mm/h}$ 时,各地类坡面的产沙量依次为经济林地<水土保持地<裸地<坡耕地; $I_{30} > 30 \text{ mm/h}$ 后,依次为经济林地<水土保持地<坡耕地<裸地,裸地的产沙量显著增大,这是由于雨强过大,降雨侵蚀力显著增大,其地表又缺乏枝叶杂草等的缓冲保护作用,因而侵蚀量显著增加。

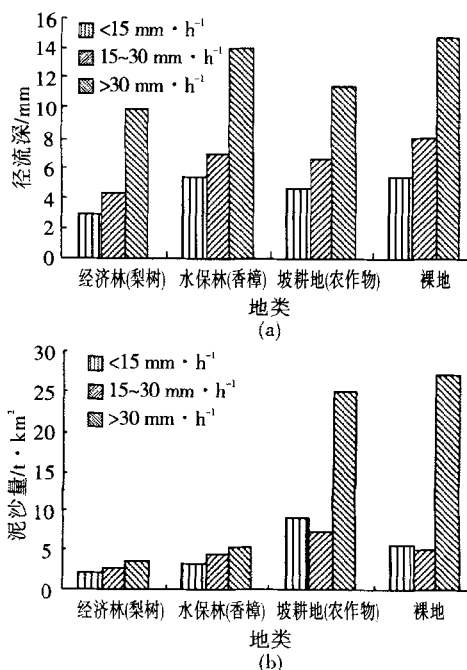


图2 雨强对产流产沙量的影响

2.3 坡面产流产沙与坡度、雨强的关系

为进一步分析产流产沙量与坡度、雨强的关系,分别对径流量以及产沙量与坡度(S_{lope})、最大30 min雨强(I_{30})进行回归分析见表2。

表2 径流、泥沙的回归方程

	回归方程	R^2
径流深	$R = 0.211 I_{30}^{0.528} S_{lope}^{0.136}$	0.593
泥沙量	$S = 0.019 I_{30}^{0.794} S_{lope}^{0.586}$	0.408

结果显示,它们幂乘积方程的决定系数(R^2 值)分别为0.593和0.408,泥沙的决定系数低于径流,说明较径流而言,泥沙受坡度、雨强以外的影响因素更多,关系也更复杂。总体而言,它们之间的决定系数仍偏低,这一方面是由于回归方程所涉及的影响因子较少,无法代表对产流产沙过程产生影响的所有因素;另一方面由于收集的数据偏少。

3 结论

由于特定的气候类型、地质地貌等自然条件以及人为活动的影响,贵州喀斯特地区的水土流失具有自身的特殊性。研究结果表明,随坡度的增大,4种地类坡面产流产沙量并没有表现出一致增大或减小的趋势,它们在很大程度上受土地利用方式和土壤类型的制约。坡度为 13° 时,坡耕地在各地类中的产流产沙量最少,随坡度增大逐渐超过其他地类;坡度为 18° 、 25° 时,经济林地(梨树)的产流产沙量均为各地类中最小;水保林地(香樟)在各坡度下的产流量较大,产沙量相对较小;裸地在各坡度下的产流产沙量均较大。

雨强是影响坡面产流产沙的另一个主要因素,随 I_{30} 的增大,各地类坡面产流产沙量基本上随之增大。3种雨强范围内,各地类坡面的产流量均为经济林地<坡耕地<水保林地<裸地。 $I_{30}<30\text{ mm/h}$ 时,各地类坡面的产沙量依次为经济林地<水保林地<裸地<坡耕地; $I_{30}>30\text{ mm/h}$ 后,裸地的产沙量超过了坡耕地。

径流、泥沙与坡度和雨强的回归方程决定系数分别为0.593和0.408,表明坡度和雨强虽然是影响产流产沙的两个主要因素,但用它们还不能表述喀斯特地区坡面产流产沙特征。因此,今后需要进行长期观测与深入研究,进一步分析坡度和雨强对坡面产流产沙的影响,同时探讨其他的

影响因素。另外,由于本研究目前获取的观测数据有限,对黄壤地和沙壤地坡面产流产沙受坡度和雨强的影响分析有待于进一步深入。

参考文献

- [1]林昌虎,解德蕴.贵州山区坡耕地综合利用与整治[J].水土保持研究,2004,11(3):211-213.
- [2]张晓珊,杨承退.耕还林集约经营模式水土保持效益研究[J].林业科技开发,2008,22(1):30-32.
- [3]陈旭晖,周长华,周王东.生物梯化的水土保持措施效应研究[J].水土保持研究,1998,5(2):163-167.
- [4]朱青,王兆鑫,尹迪信.贵州坡耕地水土保持措施效益研究[J].自然资源学报,2008,23(2):219-228.
- [5]彭琴,林昌虎,何腾兵.贵州喀斯特山区水土流失特征与水土保持研究进展[J].贵州科学,2006,24(3):66-70.
- [6]何腾兵.贵州山区土壤物理性质对土壤侵蚀影响的研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1995,1(1):85-95.
- [7]朱安国.贵州西部山区土壤侵蚀研究[J].水土保持通报,1990,10(3):1-7.
- [8]韦启播.我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点及防治途径[J].水土保持研究,1996,3(4):72-76.
- [9]兰安军,张百平,熊康宁,等.黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局[J].分析地理研究,2003,22(6):733-740.
- [10]代数,蒋光毅.坡度和雨强对重庆市黄壤旱地地流产沙特征的影响[J].水土保持学报,2011,25(4):1-5.
- [11]吴希媛.降水再分配受雨强、坡度、覆盖度影响的机理研究[J].水土保持学报,2006,20(4):28-30.
- [12]陈奇伯,寸玉康.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.
- [13]王占礼,王亚云,黄新会,等.黄土裸坡土壤侵蚀过程研究[J].水土保持研究,2004,11(4):84-87.
- [14]李广.雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J].农业工程学报,2009,25(11):85-88.
- [15]邓世宗.不同森林类型林冠对大气降雨量再分配研究[J].林业科学,1990,6(3):271-276.