

喀斯特地区不同林草植被的减流减沙作用

蒋荣¹, 张兴奇¹, 张科利², 杨勇³, 杨光傲³, 顾再柯³

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3. 贵州省水土保持监测站, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 为了进行水土保持生物措施的合理配置, 因地制宜治理贵州喀斯特地区水土流失, 通过径流小区观测法, 对贵州喀斯特地区不同林草植被的减流减沙作用进行了研究。结果显示, 观测试验期间(2008—2010 年), 大部分林草植被类型都经历了明显的变化过程: 完全不具减流减沙作用—部分具有减流减沙作用—减流减沙作用。至 2010 年各林草植被的减流作用的大小顺序为: 经济林(减流率为 52.5%~64.3%) > 杨树与墨西哥柏混交林 > 黑麦草 > 墨西哥柏 > 白三叶 > 杨树; 减沙作用的大小顺序为: 经济林(平均减沙率达 99.3%) > 黑麦草 > 杨树与墨西哥柏混交林 > 墨西哥柏 > 杨树 > 白三叶。林草植被配置方式对产流产沙量也有很大影响, 因此采取林草措施应同时考虑林草类型和配置方式, 才能达到最佳的水土保持效果。

关键词: 喀斯特地区; 水土流失; 林草植被; 减流减沙; 贵州省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0018-05

中图分类号: S157.2

Runoff and Sediment Reduction Effects Under Different Forest and Grass Vegetation in a Karst Area

JIANG Rong¹, ZHANG Xing-qi¹, ZHANG Ke-li², YANG Yong³, YANG Guang-ao³, GU Zai-ke³

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;

2. School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Guizhou Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract: In order to allocate biological measures for soil and water conservation reasonably, and to control the soil and water loss according to local conditions, this study focuses on the analysis of runoff and sediment reduction effects under different types of forest and grass vegetation by a runoff plot experiment in a karst area of Guizhou Province. Results show that most types of forest and grass vegetation in the study area had experienced three stages during the investigation time period(2008—2010): no effect, partial effect and remarkable effect on runoff and sediment reductions. By the end of 2010, the runoff reduction effect of different types of forest and grass vegetation was economic forests(their runoff reduction rates between 52.5% and 64.3%) > mixed forest of poplar and portuguese cypress > ryegrass > portuguese cypress > white clover > poplar forest. The sediment reduction effect of different types of forest and grass vegetation was economic forests(their mean sediment reduction rate was 99.3%) > ryegrass > mixed forests of poplar and portuguese cypress > portuguese cypress forest > poplar forest > white clover. Allocation of forest and grass vegetation also shows a great difference in runoff and sediment productions, therefore, type and allocation of forest and grass vegetation should be considered simultaneously to achieve the best soil and water conservation effect.

Keywords: karst area; soil and water loss; forest and grass vegetation; runoff and sediment reduction; Guizhou Province

人类在认识和研究水土流失的过程中,很早就发现了林草植被的减流减沙作用。早在 19 世纪末,德

国土壤学家沃伦^[1]就利用试验小区观测到了植被和地面覆盖物对防止降雨侵蚀和土壤结构变差的影响。

收稿日期:2012-02-12

修回日期:2012-04-17

资助项目: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); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:蒋荣(1987—),女(汉族),江苏省淮安市人,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail:jr200604012@163.com。

通信作者:张兴奇(1964—),男(汉族),贵州省仁怀市人,博士,副教授,主要从事水资源和水土保持研究。E-mail:zxqrh@nju.edu.cn。

刘世荣等^[2]研究表明,视林种类型及其郁闭度、降水量和降水强度不同,冠层可截降水总量的 12%~35%。刘向东^[3],赵鸿雁^[4],汪有科^[5]研究发现枯枝落叶层具有截留降水、减小地表径流、减少地表蒸发、保护地表、改良土壤结构等功能。李勇等^[6]在黄土高原地区的研究表明,根系可以显著提高土壤抗冲性,从而减少坡面侵蚀产沙。杨大三^[7]在三峡地区对比分析了杉木和马尾松成林的减流减沙效应,侯喜禄^[8]在黄土高原地区对刺槐林地、柠条成林地、沙打旺草地与荒山坡地进行了比较研究,结果表明林草植被具有很强的保水固土作用。尽管目前关于不同林草植被减流减沙作用的研究很多,但在贵州喀斯特地区同类研究还比较少见。

1 研究区概况

贵州省位于世界 3 大喀斯特集中分布区之一的东亚片区的核心,喀斯特面积占全省土地面积的 73%,区内沟谷深切、山高坡陡、地形破碎,坡耕地比重大,<6°的耕地仅占全省耕地总面积的 19.10%,坡度 6°~25°的耕地占 61.01%,>25°的坡地占 19.89%,长期大规模的破坏性、掠夺性开垦,地表植被遭到严重破坏^[9]。区内降雨丰沛,且多暴雨,水土流失严重,大面积的陡坡耕地成了侵蚀泥沙的主要源地,严重的水土流失导致了石漠化问题的出现。目前,全省石漠化面积已达 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占全省国土面积 1/3^[10],石漠化严重的地区,水土资源已经到了难以维系人类生存的地步。虽然多年来该地区已经采取了封山育林、退耕还林(草)、梯土、横坡耕作等多种防治措施,但水土流失治理速度仍然缓慢,没有达到预期的治理效果,水土流失严重、生态与环境恶化的趋势尚未得到根本遏制^[11]。而该地区水土流失及其防治研究起步相对较晚,多集中在水土流失特征、成因、侵蚀程度等方面的研究,且定性研究较多,对不同林草植被的减流减沙作用研究较少且结论不一。为此,本研究通过径流小区观测方法,分析不同林草类型及其不同配置方式下的减流减沙作用,为贵州喀斯特地区水土保持生物措施的合理配置提供技术支撑。

2 研究方法

目前,关于林草植被减流减沙作用研究的方法主要有径流小区观测法、人工模拟法、遥感 GIS 测量法、河流水沙监测代用法等,它们各具优越性。由于贵州喀斯特地区存在地表地下双层空间结构,因此不宜用河流水沙监测代用法;遥感 GIS 测量法成本过高,不适宜连续监测;人工模拟法虽省时、易于控制、

便于记录过程,但无法代替径流小区真实反映、记录自然条件下水土流失过程的优点。因此,本研究仍采用径流小区观测这一传统方法。

2.1 试验小区布设

试验小区布设在黔南州龙里县东城郊羊鸡冲小流域阳坡中部,属长江流域乌江水系,流域面积 11.89 km^2 ,水土流失面积 7.41 km^2 。气候属于北亚热带湿润季风气候,冬无严寒,夏无酷暑。多年平均气温为 $14.8 \text{ }^\circ\text{C}$,降雨量 859.3 mm ,其中 4 月中旬至 10 月上旬降雨量占全年降雨量的 84%左右。共设 18 个径流小区,均为黄壤,坡度在 $19.5^\circ \sim 25.1^\circ$,包括 9 种林草类型和 2 个对照小区,对照小区保持休闲裸露状态,小区设置情况见表 1。

表 1 小区基本情况

小区编号	坡度/ (°)	坡长/ m	面积/ m^2	植被类型
1,2	20	20	100	水保林(杨树)
3,4	20	20	100	水保林(墨西哥柏)
5,6	20	20	100	水保林(杨树+墨西哥柏)
7,8	25.1	20	100	人工草地(白三叶)
9,10	25	20	100	人工草地(黑麦草)
11,12	19.5	20	100	对照小区
13,14	21.5	18	180	经济林(杨梅)
15,16	23.2	18	180	经济林(桃树)
17	24.2	18	180	经济林(梨树)
18	19.8	18	180	经济林(树莓)

2.2 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产流量,用搅拌法进行泥沙样采集,用烘干法测定产沙量。选择整理 2008—2010 年共 54 场侵蚀性降雨的实测产流、产沙数据,利用 Excel2003 和 SPSS 17.0 等统计软件进行相关处理分析。

减流作用是将其他林草措施小区产流量与对照小区进行比较,计算公式^[12]:

$$f_r = (R_a - R_b) / R_a \times 100\% \quad (1)$$

式中: f_r ——减流率(%); R_b ——某一种林草措施小区的产流量 $[\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$; R_a ——对照小区的产流量 $[\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ 。 f 为正值,表明该小区较对照产流量减少。 f_r 为负值,则意味着该小区产流量比对照多。

与减流作用类似,减沙作用公式为:

$$f_s = (S_a - S_b) / S_a \times 100\% \quad (2)$$

式中: f_s ——减沙率(%); S_b ——某一种林草措施小

区的产沙量 $[t/(km^2 \cdot a)]$; S_a ——对照小区的产沙量 $[t/(km^2 \cdot a)]$ 。

3 结果与分析

3.1 不同林草植被的减流减沙作用

3.1.1 不同林草植被的减流作用 由于林草枝叶的蔓延、枯枝落叶的累积以及植物根系的固定等都要经历一定的生长过程,植被的减流作用也是一个循序渐进的过程(图 1)。2008 年,除梨树具有 13.1%的减流率外,其余各植被小区的产流量均高于对照小区,减流率介于-116.8%(墨西哥柏)~-2.73%(树莓);2009 年,梨树的减流率增长为 14.9%,杨梅、桃树也逐渐发挥了减流作用,减流率分别为 4.2%和 16.0%,但杨树的产流量却较 2008 年增长了 31.7%,其余各植被的减流率在-74.4%(墨西哥柏)~-1.7%(树莓);2010 年,除杨树仍不具减流作用外,其减流率为-8.0%,其余各植被的减流率在 7.0%(白三叶)~64.3%(杨梅),梨树的减流率为 62.2%。

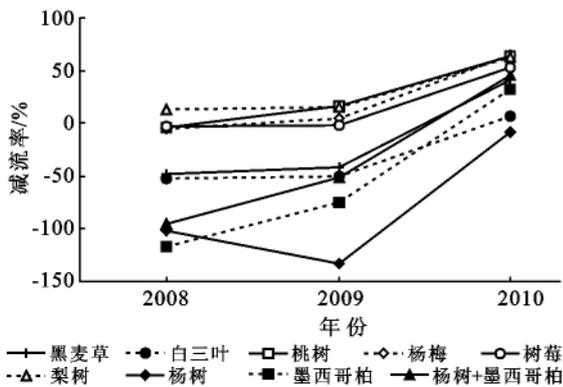


图 1 不同林草植被的减流作用

贵州省喀斯特地区水热条件较好,植被生长迅速,仅 3 a 时间研究区大部分林草植被类型均达到了一定的郁闭度,减流作用相对稳定。2010 年各林草植被中经济林的减流作用最明显,4 种经济林(杨梅、桃树、梨树和树莓)的减流率介于 52.5%~64.3%;其次分别为杨树与墨西哥柏混交林(45.7%)、黑麦草(40.6%)和墨西哥柏(32.6%);作用最差的是白三叶和杨树,减流率分别为 7.0%和-8.0%。经济林生长速度快,树冠冠幅较大,有利于对降雨截留。墨西哥柏叶呈鳞片状,叶片上的雨滴不易形成滴流,且树枝较粗糙利于截留雨水,杨树叶面宽阔,树干光滑,易于形成滴流,林冠截留能力差,而杨树与墨西哥柏混交林属于针阔混交林,针阔混交林自由透流系数小^[13],林下枯枝落叶持水量大于针叶林和阔叶林^[14],

因此 3 种水保林的减流作用表现为:杨树与墨西哥柏混交林>墨西哥柏>杨树。人工草地没有林冠层,不存在树冠截留降雨的作用,因此其减流作用相对较弱,但它们的地被层厚而密集,地表粗糙度大,可减缓径流速度,增加渗透时间,从而减少产流量^[15]。

3.1.2 不同林草植被的减沙作用 与减流作用类似,林草植被的减沙作用也经历了完全不具减沙作用一部分具有减沙作用—减沙作用明显的变化过程(图 2)。与裸露对照相比,2008 年各林草植被的减沙率在-6.1%(梨树)~-570.8%(杨树);2009 年,除杨树和墨西哥柏仍不具减沙作用外,其余各植被的减沙率介于 34.0%(白三叶)~62.7%(桃树);2010 年,各林草植被都起到了显著的减沙作用,减沙率介于 64.9%(白三叶)~99.6%(杨梅)。一方面林草种植不久,植株还未充分生长,上层枝叶覆盖度低,下层根系稀少,达不到滞水固土的效果;另一方面种植破坏了小区土体本来的平衡状态,水稳性团粒结构被破坏,土壤可蚀性增强。随着植株的生长,小区土体平衡状态的恢复,再加上地表枯枝落叶的积累,因而各林草植被逐渐表现出了减沙作用。

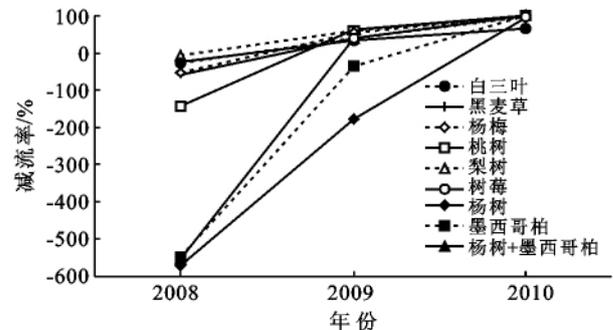


图 2 不同林草植被的减沙作用

2010 年各林草植被中减沙作用最明显的同样是经济林,4 种经济林(杨梅、桃树、梨树和树莓)的平均减沙率达 99.3%;其次分别为黑麦草(99.1%)、杨树与墨西哥柏混交林(99.0%)、墨西哥柏(98.8%)、杨树(93.7%);白三叶的减沙作用相对较弱,减沙率为 64.9%。经济林树冠冠幅大,不仅有利于降雨截留还可以缓冲雨滴动能,减小降雨对地表的击溅侵蚀^[16],再加上林隙间杂草和枯枝落叶对地表的保护,因此其产沙量极少。黑麦草须根发达,分蘖多,0—40 cm 土层的根重显著大于白三叶^[17],根系对土壤有良好的穿插、缠绕、网络固结作用,固土、抗蚀效果较好^[18],因此虽没有林冠层,黑麦草仍可以起到很强的减沙作用。径流是携带泥沙的载体,3 种水保林减沙作用的强弱与减流作用一致。

3.2 相同林种不同配置方式的产流量、产沙量比较
植被对地表产流产沙的影响是由冠层、地被层(枯枝落叶、杂草等)以及根层的综合效能决定的^[2-6],

不同配置方式(种植密度、混交方式等)势必会引起这 3 方面的差异,从而导致产流产沙量不同。相邻 2 个小区的产流产沙量比较结果见表 2。

表 2 相邻 2 个小区的产流产沙量比较

植被类型	小区编号	株间 距/m	产流量/(10 ⁴ m ³ · km ⁻²)				产沙量/(t · km ⁻²)			
			2008 年	2009 年	2010 年	年均值	2008 年	2009 年	2010 年	年均值
杨 树	1	3×4	3.24	4.34	3.80	3.79	9.17	8.33	10.67	9.39
	2	2×2	3.35	4.80	5.50	4.55	13.06	9.99	30.75	17.93
墨西哥柏	3	2×2	2.79	3.89	3.30	3.33	8.22	6.16	5.00	6.46
	4	1.5×1.5	4.31	2.95	2.51	3.25	13.29	2.76	2.62	6.22
杨树+ 墨西哥柏	5	1.5×2	3.91	3.33	2.40	3.21	13.93	2.41	3.56	6.63
	6	1.5×2	2.47	2.61	2.28	2.45	7.71	1.58	2.85	4.05
杨 梅	13	2×2	1.67	1.93	1.53	1.71	2.55	1.67	1.32	1.84
	14	3×4	1.76	1.83	1.55	1.71	5.24	1.41	1.19	2.61
桃 树	15	3×4	1.79	1.66	1.58	1.67	5.73	1.21	1.30	2.75
	16	1.5×1.5	1.61	1.64	1.61	1.62	2.30	1.23	1.56	1.70

对相同林种不同株间距的相邻 2 个小区产流产沙量进行比较发现,杨树的种植密度不宜过大,一方面密度过大各植株之间争夺有限的光照和热量,不利于杨树的生长,林冠枝叶覆盖度低,根系得不到充分的延伸;另一方面密度过大不利于地表杂草的生长,地表覆盖度低。墨西哥柏种植密度大的小区减流减沙作用较好,因为墨西哥柏的枝叶向四周延伸的幅度相对杨树较小,因此只有保证一定的种植密度,才能保证其冠层的覆盖度以及林下的枯枝落叶量。2008 年经济林杨梅和桃树种植密度小的小区产流产沙量较种植密度大的小区明显偏高,但 2009、2010 年种植密度小的小区产流产沙量逐渐减少,且低于种植密度大的小区,说明杨梅和桃树种植密度小的小区虽然初始阶段的减流减沙作用较弱,但随着植株的生长其减流减沙作用逐渐增强。这是因为初始阶段种植密度低,则冠层枝叶稀疏、枯枝落叶层薄、土壤层根系少,因而减流减沙作用弱。但经济林杨梅和桃树生长速度快,树冠冠幅大,经过一段时间的生长,种植密度小的小区植株发育状况逐渐超过种植密度大的小区,因此从长远的角度考虑,杨梅和桃树的种植密度不宜过大。

5、6 号小区的产流产沙量差异表明了混交方式对植被减流减沙作用的影响。这 2 个小区均为杨树与墨西哥柏混交林,株间距均为 1.5 m×2 m,其中 5 号小区配置为中间 1 排杨树,两边各 1 排墨西哥柏,6 号为中间 1 排墨西哥柏,两边各 1 排杨树,5 号小区各年的产流产沙量均明显高于 6 号,年均产流产沙量

分别比 6 号小区高 80.7%,63.7%。这是由于 1.5 m×2 m 的株间距较适合墨西哥柏的生长,而不利于杨树枝叶的延伸,5 号小区的混交方式抑制了杨树的生长,降低了其减流减沙作用的发挥,同时墨西哥柏的部分枝叶已经伸展到小区的外围,对小区内部的水土保持贡献率大大降低,6 号小区的情况则刚好相反。

4 结 论

(1) 植被的减流作用是一个循序渐进的过程。贵州喀斯特地区水热条件较好,植被生长迅速,到观测试验的第 3 a(2010 年)大部分林草植被类型的减流作用已相对稳定,各林草植被中经济林的减流作用最明显,4 种经济林(杨梅、桃树、梨树和树莓)的减流率介于 52.5%~64.3%;其次分别为杨树与墨西哥柏混交林(45.7%),黑麦草(40.6%)和墨西哥柏(32.6%);作用最差的是白三叶和杨树,减流率分别为 7.0%, -8.0%。

(2) 在 3 a 观测试验期间(2008—2010 年),植被的减沙作用经历了完全不具减沙效果—部分具有减沙效果—减沙效果明显的变化过程。至 2010 年,各林草植被中减沙作用最明显的同样是经济林,4 种经济林(杨梅、桃树、梨树和树莓)的平均减沙率达 99.3%;其次分别为黑麦草(99.1%)、杨树与墨西哥柏混交林(99.0%),墨西哥柏(98.8%),杨树(93.7%);白三叶的减沙作用相对较弱,减沙率为 64.9%。

(3) 林草植被配置方式(种植密度、混交方式)对

植被的减流减沙作用有很大影响。杨树的种植密度不宜过大,墨西哥柏种植密度大的减流减沙作用较好,从长远角度考虑,经济林杨梅和桃树的种植密度不宜过大。因此进行水土保持林草措施配置时,不仅要考虑其类型,还应进一步考虑其配置方式,这样才能获得最佳的水土保持效益。受观测年限和数据资料等因素的限制,本文初步分析了贵州喀斯特地区不同林草植被的减流减沙作用,今后需要进行长期观测与深入研究,进一步揭示贵州喀斯特地区林草措施配置与水土保持效果的关系。

[参 考 文 献]

- [1] 哈德逊. 土壤保持[M]. 奚葆璋译. 北京:科学出版社, 1971:202-211.
- [2] 刘世荣. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996:17-19.
- [3] 刘向东. 六盘山森林树冠截留、枯枝落叶层和土壤水文性质的研究[J]. 林业科学,1989,25(3):220-227.
- [4] 赵鸿雁. 森林枯枝落叶层抑制土壤蒸发的研究[J]. 西北林学院学报,1992,7(2):14-20.
- [5] 汪有科. 林地枯枝落物抗冲机理研究[J]. 水土保持学报,1993,7(1):75-80.
- [6] 李勇. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能研究[J]. 水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [7] 杨大三. 鄂西三峡库区防护林研究[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1996:173-176.
- [8] 侯喜禄. 陕西黄土区不同森林类型水土保持效益的研究[J]. 西北林业学报,1994,9(2):20-24.
- [9] 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.
- [10] 周娟. 贵州省石漠化面积已达 6 万平方公里治理需 1 600 亿元[EB/OL]. [2010-11-29]. <http://www.cnr.cn/guizhou/xw/gzxxw>.
- [11] 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.
- [12] 徐海燕,赵文武. 黄土丘陵沟壑区坡耕地与草地不同配置方式的侵蚀产沙特征[J]. 中国水土保持科学,2009,7(3):35-41.
- [13] 成晨,王玉杰,潘玉娟,等. 重庆缙云山主要森林类型林冠截留降水的研究[J]. 水土保持应用技术,2006(4):6-7.
- [14] 王金建,崔培学,刘霞,等. 小流域水土保持生态修复区森林枯落物的持水性能[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):48-52.
- [15] 肖培青,姚文艺,申震洲,等. 草被覆盖下坡面径流入渗过程及水力学参数特征试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):50-53.
- [16] 周跃,李宏伟,徐强. 云南松林的林冠对土壤侵蚀的影响[J]. 山地学报,1999,17(4):324-328.
- [17] 王先华,金慧. 铜仁地区主要土壤上牧草引种试验研究[J]. 种子,2006,25(12):96-99.
- [18] 李勇. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能研究[J]. 水土保持学报,1990,4(3):15-20.