

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.06.028

# 不同植被措施下红壤坡面径流变化特征

梁娟珠

(福州大学 福建省空间信息工程研究中心 数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建 福州 350003)

**摘要:** [目的] 研究不同植被措施对坡面径流的影响, 为南方红壤水土保持与生态恢复实践提供科学依据。[方法] 以福建省长汀县 2001—2010 年香根草、胡枝子、类芦、百喜草等植被措施下的径流小区逐月径流量和降雨数据为基础进行分析研究。[结果] 植被能很好地调控坡面地表径流, 但由于植被的结构、根系以及地表枯落物的差异, 各种植被的保水效益存在差异, 观测期, 各小区年均径流量的大小趋势表现为: 空白对照区 > 百喜草 > 类芦 > 香根草 > 胡枝子, 胡枝子的保水效益最佳。[结论] 香根草、胡枝子、类芦、百喜草等植被均能有效地抑制坡面径流, 减少水土流失, 均可以作为水土保持措施的优良灌草在南方红壤区进行推广应用, 尤其是要加大胡枝子的推广力度。

**关键词:** 红壤坡面; 植被措施; 水土流失; 坡面径流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0159-05

中图分类号: S157.1

## Runoff Changes on Slope with Different Vegetation Measures in Red Soil Region

LIANG Juanzhu

(Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350003, China)

**Abstract:** [Objective] Effects of different vegetation measures on red soil slope runoff were researched to provide a scientific basis for soil and water conservation and ecological restoration in the southern red soil region of China. [Methods] Monthly runoff and rainfall data from plots planted with Vetiver, *Lespedeza*, *Neyraudia*, Bahiasgrass during 2001 to 2010 were collected to analyze the above mentioned effects using statistical method. The plots were located at Changting County in Fujian Province. [Results] Vegetation measures could control slope runoff well, but due to the differences among vegetation structure, root and litter amount of the above measures, soil and water conservation benefits from the above measures were different. In the period of observation, the rank of annual runoff was: control plot with no vegetation measure > Bahiasgrass > *Neyraudia* > Vetiver > *Lespedeza*. Water conservation benefit from *Lespedeza* measure performed best. [Conclusion] Vetiver, *Lespedeza*, *Neyraudia*, Bahiasgrass et al. vegetation could control slope runoff effectively and reduce soil erosion. Therefore, they can all be used as the excellent shrub/grass for soil and water conservation; and can be applied in the red soil region of Southern China, especially *Lespedeza* measure is recommended.

**Keywords:** red soil region of Southern China; vegetation measure; soil and water loss; slope runoff

福建省长汀县是我国典型的花岗岩红壤侵蚀区之一, 长期的水土流失导致生态环境恶化, 山地植被稀疏, 土壤侵蚀严重, 植被难以自然恢复, 严重制约着当地生态环境的可持续发展, 已称为当前亟需解决的环境问题<sup>[1-3]</sup>。植被可以增加地表覆盖、降低雨滴侵蚀动力、蓄水保土, 对防治水土流失具有重要的作用, 各项植被措施的采取可从根本上改善生态环境, 也因此成为了研究热点<sup>[4-9]</sup>, 但目前治理中缺乏科学指导, 存在很大的盲目性, 鉴于此, 本研究通过野外不同植

被措施下的径流小区观测数据, 研究不同植被坡面径流的变化规律, 揭示不同植被下坡面水土流失的特征, 以期为此类地区的水土保持与生态恢复实践提供有益的借鉴。

### 1 研究区概况

试验地设于福建省长汀县, 东经 116°00'45"—116°39'20", 北纬 25°18'40"—26°02'05"之间, 属亚热带季风性湿润气候, 降雨丰沛, 年均气温 17.5~18.8℃,

收稿日期: 2014-08-19

修回日期: 2014-10-14

资助项目: 国家科技支撑计划项目“南方红壤水土流失治理技术与示范”(2013BAC08B00)

第一作者: 梁娟珠(1978—), 女(汉族), 福建省福清市人, 博士, 助理研究员, 主要从事水土保持决策支持方面的研究。E-mail: lianguanzhu@163.com。

极端最高温度达 39.8℃,无霜期平均 260 d,平均日照时数 1 924.6 h。该地区地貌以低山、丘陵为主,土壤主要为花岗岩风化发育的红壤,土层深厚且松软,抗蚀性能差。

## 2 研究方法

### 2.1 试验小区布设

为了研究不同植被治理措施的坡面径流动态特征,2001年5月在长汀县三洲镇石官坳布设了5个径流小区的水土流失监测点,各径流小区的规格为长20 m,宽5 m,坡度12°,选取香根草、胡枝子、类芦、百喜草等4种植被进行水平沟整地种植,并设置1个未采取生物措施的裸地作为对照,对照区下垫面土层深厚且松软,为花岗岩风化发育的红壤。各径流小区的基本情况详见表1。

表1 研究区径流小区基本情况

小区编号	植被措施	坡度/(°)	植被类型	工程措施
1	香根草	12	多年生禾草	水平沟
2	胡枝子	12	豆科直立灌木	水平沟
3	类芦	12	根状茎草本	水平沟
4	百喜草	12	多年生禾草	水平沟
5	对照区	12	无植被措施	无

### 2.2 测定方法

采用雨量计测定次降雨量,并对其产生的径流量进行观测,记录其集水桶中的径流深,每个月进行1次月径流量与泥沙量的统计,本研究选择了2001—2010年的月统计的径流深(mm)数据进行分析研究,坡面径流量用径流深(mm)表示。

### 2.3 数据处理

本研究采用 SPSS 19 软件进行数据分析,包括对

径流观测月统计的各个小区的径流量与降雨量进行方差分析、S-N-K 多重比较分析、相关分析和回归分析;采用 Excel 软件对观测的统计数据进行分析和图表输出。

## 3 结果与分析

### 3.1 观测期坡面年均产流特征

对观测数据进行径流量与径流系数统计分析(表2)可得,空白对照区裸地年均产生的径流深为764.36 mm,年均径流系数为0.579 是其他小区均值的3.20倍,说明香根草、胡枝子、类芦、百喜草等植被都能显著地降低地表径流系数。由表2可以看出,凡是有实施植被措施的小区年均径流量与径流系数都远小于裸地,年均径流量减少59.81%~76.16%。对不同植被措施下的径流量进行方差分析,结果显示空白对照区与其他的小区的径流量具有显著的差异。说明了植被治理措施的实施,在降雨过程中通过截流、渗透等形式对降雨进行再分配,延缓了坡面径流的形成,能够有效地降低坡面径流,起到良好的保水作用。但不同的植被坡面的年均径流量还是有所区别,各小区的年均径流量按从大到小的排序为:对照区>百喜草>类芦>香根草>胡枝子。水平沟种植胡枝子的小区保水效应最显著,观测期间年均减少径流量582.1 mm,这是因为,胡枝子枝多叶茂,根系发达,在种植4 a后覆盖度达100%,其冠丛承雨率达11%~25%,可有效防止雨滴直接打击地表起到护水保的作用;每年大量的枯枝落叶覆盖地表能有效地改善土壤结构,减小土壤容重,增加土壤孔隙度,有效减少水分蒸发,使土壤贮水能力明显增强;其发达的根系相互交错,盘结土壤,又可大大提高土壤的抗蚀能力<sup>[10]</sup>。可见对于减少总径流量来说,灌木措施效果优于草本措施。

表2 各小区的径流深及径流系数

植被措施	香根草	胡枝子	类芦	百喜草	空白对照区
年均径流深/mm	205.81	182.22	261.49	307.22	764.36
年均径流系数	0.156	0.138	0.198	0.233	0.579

### 3.2 月降雨量及植被坡面产流月动态变化

降雨是水土流失的源动力,是产生径流的先决条件,与坡面径流有密切的关系。对2001—2010年的月降雨数据进行统计平均得出,试验区降雨量丰富,但在年内分布不均,多集中在4—6月,约占全年降雨量48.8%,且在6月份达到最大值。而在1—2月,9—12月份为试验区的枯水期,降雨量相对较小。

对各小区的月均径流量分布情况进行研究分析,可以得出不同植被小区坡面月均径流的变化特征(图1)。由图1可以看出,发现坡面径流动态变化与月均降雨量动态变化基本一致,主要集中在3—8月。坡面径流月动态变化成明显的单峰式分配,以4—6月份最大,这是由于研究区长汀县内降雨多集中在该段时期内,且降雨量大,这3个月降雨量占全年降雨量

的 48.8%，因此各小区的坡面径流损失较高；而 1—2 月，9—12 月份为旱季，降雨量少，所以各小区的坡面径流损失相对较低。以上分析说明该试验小区的坡面径流具有明显的季节分布规律，主要分布在 3—8 月份，特别是 4—6 月份的传统雨季。这与相关的研究具有相似的结论<sup>[10]</sup>。从图 1 中可以看出，4 种不同的植被措施的月均径流量分布曲线较为相似，都在 4—6 月份呈现出较大的坡面径流，在旱季呈现出较小的径流量。这跟不同月份的降雨量密切相关。同时 4 种不同的植被措施的径流量也占到了年径流量的 50% 以上。各小区的月均径流量均在 6 月份达到最大值，将各小区的 6 月份径流量与对照区相比，最大的径流量减少了约 128 mm，说明植被在雨季的水土保持作用。

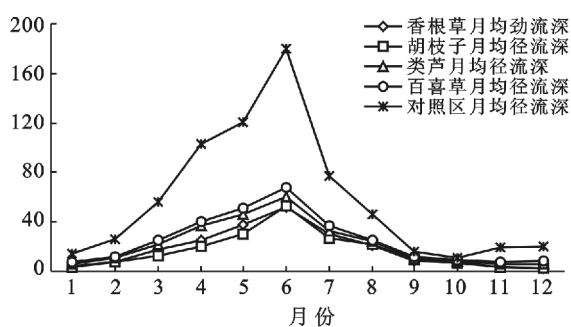


图 1 研究区各小区月均径流量分布曲线

### 3.3 不同植被措施坡面径流年动态变化特征

对 2001—2010 年中不同径流小区的年径流量进行了计算，由于 2001, 2004, 2005 年只有部分月份的

数据，所以没有统计其年总径流量，结果如表 3 所示。各植被小区的年径流总量具有明显的规律，与对照区相比，各种植被措施下的小区径流大都逐年减少。说明各种植被都能减少坡面地表径流，且随着时间的推移，坡面产生的地表径流越来越少，这是因为随着时间的推移及香根草、胡枝子、类芦、香根草等各种植被的生长和新陈代谢，大量的枯枝落叶覆盖地表，增加了地表粗糙度，减缓了径流的速度，延长了降雨径流的入渗时间；同时随着时间推移，植被的根系逐渐发育的，改善土壤的团聚体结构，从而增加了径流的渗透量，使地表径流逐渐减少<sup>[11-13]</sup>。但不同的植被小区在不同的时期，其径流量也存在差异。2002 年是植被刚恢复阶段，植被的水保功能还没有完全发挥，与对照区相比，各小区的径流量减少不明显，该阶段百喜草小区的坡面径流最小，说明百喜草在初期的保水功能最好，这是因为水保措施初期主要通过减小雨滴击溅、削减大部分降雨动能来削弱降雨强度对径流的影响，而百喜草生长迅速，在种植 1 a 覆盖率就可 100%，覆盖度最高，因此在初期其径流量减少最多。随着时间的推移，香根草与胡枝子的径流量显著减少，特别是后期，其坡面径流量骤减，到 2010 年，香根草与胡枝子小区的坡面径流最小，与对照区相比，几乎没有产生坡面径流，其入渗系数达 0.97 以上。这是因为香根草与胡枝子萌芽更新能力好，随着时间的推移，坡面生物大量增加，且根系越来越发达，吸收能力强，极大提高土壤入渗率<sup>[14-15]</sup>，从而大幅减少坡面地表径流量。

表 3 研究区各小区的年径流量及降雨量

mm

年份	2002 年	2003 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
香根草	584.15	403.9	347.04	52.48	13.71	16.97	22.41
胡枝子	616.94	319.87	237.20	45.59	15.34	18.36	22.23
类芦	604.87	443.96	355.45	129.39	90.60	87.78	118.36
百喜草	478.39	348.06	382.81	261.15	189.48	213.51	277.17
空白对照区	946.30	673.91	972.89	826.83	595.43	582.35	752.82
年降雨量	1 833.50	996.00	1 754.70	1 615.10	1 297.00	1 493.00	1 709.00

多年生的灌草，根须密集，具有良好的覆盖度，茎叶枯落物和衰老退化的根系腐烂后可有效改善土壤的物理性状，使土壤蓄水保水能力增强，极大降低和削弱坡面径流的产生，具有良好的保水效益。由图 2 各小区的保水效益分析结果可知，香根草、胡枝子、类芦、百喜草等灌草植物的生长需要一定的时间，在径流小区设置初期，植物还在成长期，各小区水保功能还没有完全发挥出来，其保水效益不是太好。随着年份的增加，灌草植物茎叶逐渐茂盛，可减少水分蒸发，

提高土壤含水量，地表枯落物增多，根系量增大，部分衰老退化的根系腐烂后，改良了土壤结构，从而提高了土壤的出水量和蓄水保水能力，保水效益也随之增长，到后期趋于稳定状态，达到最高的保水效益，最高达 97.69%，即天然降水几乎都入渗到土壤中。但是，不同的灌草植物，在不同的时期其保水效益存在差异，百喜草小区在植被恢复初期保水效益较其他植物小区最为明显，这是因为百喜草生长迅速地上部分的叶、匍匐茎及其枯落物覆盖具有减小雨滴击溅，削

减大部分降雨动能的功能,因此削弱了降雨强度对径流的影响;同时,百喜草及其枯落物增加了地表粗糙度,从而阻缓了地表径流的产生、延长了径流的汇流和入渗时间。但是,到后期,由于植被退化,其保水效益不如其他的植被。胡枝子与香根草后期的水保效果最好,这是因为随着年份的增加,这两种植物地上的生物量越来越大,每年产生的地表枯落物越来越多,极大改良了土壤质地,地下根系越来越发达,植物根系的盘绕作用及植物本身对水流的抵抗作用,增加了水流运动的阻力,减缓了水流的流速,同时阻止地表结皮的形成,增加了入渗,提高了其保水效益<sup>[14-15]</sup>。

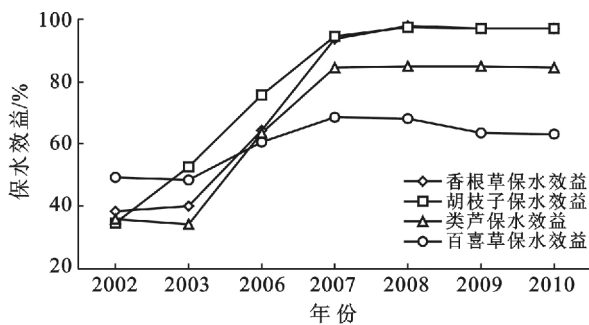


图 2 研究区各小区的保水效益

### 3.4 不同植被坡面径流量与降雨量的关系

对各小区的月产流量与月降雨量进行相关分析可得,香根草小区( $R=0.446$ ,  $\text{sig.}=0.000$ ),胡枝子小区( $R=0.385$ ,  $\text{sig.}=0.000$ ),类芦小区( $R=0.599$ ,  $\text{sig.}=0.000$ ),百喜草小区( $R=0.834$ ,  $\text{sig.}=0.000$ ),对照小区( $R=0.863$ ,  $\text{sig.}=0.000$ ),说明各小区的月产流量与降雨量都存在正相关关系,即各小区坡面月产流量随着月降雨量的增大而增加,与前文的研究结果相同。其中裸地、百喜草、类芦小区的月径流量与月降雨量具有显著相关关系,而香根草小区与胡枝子小区的月径流量与月降雨量相关性不显著。各小区的月产流量与月降雨量的相关性排序为:裸地>百喜草>类芦>香根草>胡枝子。胡枝子的月产流量与月降雨量的相关性最小,说明该植被措施对保水作用最显著。已有的研究<sup>[16-18]</sup>表明,次降雨量以及降雨强度对坡面产流具有直接的影响,但从月尺度的径流量来看,降雨量对坡面产流的影响减弱,这是因为地表覆盖、降雨历时、降雨强度等其他影响因素的累积作用弱化了月降雨量对坡面产流的影响。

对每个小区的月的径流量与降雨量进行线性回归分析可得,每个线性回归方程的  $\text{sig.}$  均为 0.000,说明回归系数有显著意义,月径流量总体趋势是随着月降雨量的增大而增加,其相关性均达到正相关。有植被覆盖的小区线性方差进行拟合的效果相对于空白

小区效果不明显,说明有植被覆盖的小区中,由于灌草的盖度对降雨的截流、吸收和下渗作用,降低了坡面径流的产生,坡面产流并不随着降雨量的增大而线性增加。空白小区由于缺少植被的覆盖,降雨除了土壤吸收部分,大多数以坡面径流的形式流失,坡面径流几乎是随着降雨量的增大呈线性增长。从各回归方程的系数可以看出,当降雨量增加时,各种植被措施的径流量增大趋势为:裸地>百喜草>类芦>香根草>胡枝子。

## 4 小结

(1) 植被措施的采取能有效地降低坡面径流,但不同的植被措施形成不同的下垫面性状,在降雨的作用下会表现出不同的坡面径流规律。在本研究中,不同的措施下年均径流量与对照相比都具有显著的差异,胡枝子小区最小,观测期各小区的总径流量从大到小依次为:空白对照区>百喜草>类芦>香根草>胡枝子。

(2) 各小区的径流量季节特征明显,各小区月均径流量的年内分布与月降雨量的分布相似,主要分布在雨季 4—6 月,占年径流量的 50% 以上。而在降雨量小的旱季,月均径流量较小。说明各小区的径流量与降雨量密切相关。

(3) 植被措施的实施,其保水效益不随着年份的增加而增长,到后期趋于稳定状态,保水效益最高(97.69%)。百喜草小区在植被恢复初期保水效益最明显,到后期不如其他的植被。胡枝子除了初始的成长阶段,其保水效益始终高于其他植被,其保水效益最好。

(4) 各个小区的月径流量与月降雨量的关系呈正相关关系,但而香根草小区与胡枝子小区的相关性不显著,说明其径流量受降雨量的影响较小;空白小区相关性最显著。有植被覆盖的小区线性回归拟合的效果相对于空白小区效果不明显,说明有植被覆盖的小区中,由于灌草的盖度对降雨的截流、吸收和下渗作用,降低了坡面径流的产生,坡面产流并不随着降雨量的增大而线性增加。

(5) 香根草、胡枝子、类芦、百喜草等均能有效地抑制坡面径流,减少水土流失,因此,都可以作为水保的优良灌草,在南方红壤区进行推广应用,尤其是要加大胡枝子的推广力度。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 阮伏水,朱鹤健.福建省花岗岩地区土壤侵蚀与治理[M].北京:中国农业出版社,1997:31-32.

- [2] 杨学震,钟炳林,谢小东,等. 丘陵红壤的土壤侵蚀与治理[M]. 北京:中国农业出版社,2005:87-95.
- [3] 王维明,陈明华,林敬兰,等. 长汀县水土流失动态变化及防治对策研究[J]. 水土保持通报,2005,25(4):73-77.
- [4] 孙佳佳,于东升,史学正,等. 植被叶面积指数与覆盖度定量表征红壤区土壤侵蚀关系的对比研究[J]. 土壤学报,2010,47(6):1060-1066.
- [5] 史东梅,卢喜平,蒋光毅. 紫色丘陵区降雨侵蚀力简易算法的模拟[J]. 农业工程学报,2010,26(2):116-122.
- [6] 金平伟,向家平,李万能,等. 植被对南方红壤丘陵区土壤侵蚀的影响研究[J]. 亚热带水土保持,2014(1):1-4.
- [7] 赵护兵,刘国彬,曹清玉. 黄土丘陵区不同植被类型对水土流失的影响[J]. 水土保持通报,2004,12(2):153-155.
- [8] 张晓明,余新晓,武思宏,等. 黄土区森林植被对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1613-1617.
- [9] 李钢,梁音,曹龙熹. 次生马尾松林下植被恢复措施的水土保持效益[J]. 中国水土保持科学,2012,6(6):25-31.
- [10] 韩永刚,王维明,杨玉盛. 闽北不同土地利用方式径流量动态变化特征[J]. 水土保持通报,2006,13(5):262-266.
- [11] 章俊霞,李小军,左长清. 南方红壤入渗影响因素研究[J]. 中国水土保持,2008(6):27-29.
- [12] 张展羽,张国华,左长清,等. 红壤坡地不同覆盖措施的水土保持效益分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2007,35(1):1-4.
- [13] 张成梁,程冬兵,刘士余. 红壤坡地果园植草的水土保持效应[J]. 草地学报,2006,14(4):365-369.
- [14] 范连玉,孙亚茹,刘凤英,胡枝子营造试验研究及水土保持效益分析[J]. 黑龙江水专学报,2006,33(3):115-116.
- [15] 姚环,沈骅,李颢,等. 香根草固土护坡工程特性初步研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007,18(2):63-68.
- [16] 尹忠东,丛晓红,李永慈. 江西丘陵红壤区坡面径流及其与降雨关系的影响因素[J]. 水土保持通报,2008,28(4):7-10.
- [17] 陈鹏飞,陈丽华,王宇,等. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型对坡地产流、产沙的影响[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(3):199-204.
- [18] 樊登星,余新晓,贾国栋,等. 北京山区灌草坡面水土流失特征及其影响因素[J]. 中国水土保持科学,2014,2(2):24-28.

(上接第 158 页)

- [4] 高树静. 地表糙度的特征与分析[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [5] 李瑾杨,范建容,徐京华. 基于点云数据内插 DEM 的精度比较研究[J]. 测绘与空间地理信息,2013(1):011.
- [6] Hutchinson M F. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models[C]// Santa Fe, New Mexico: NCGIA National Center for Geographic Information and Analysis, Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. 1996:21-26.
- [7] 汤国安,龚健雅. 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J]. 测绘学报,2001,30(4):361-365.
- [8] 刘学军,龚健雅,周启鸣,等. DEM 结构特征对坡度坡向的影响分析[J]. 地理与地理信息科学,2005,20(6):1-5.
- [9] 何政伟,许辉熙,张东辉,等. 最佳 DEM 分辨率的确定及其验证分析[J]. 测绘科学,2010,35(2):114-116.
- [10] Thompson J A, Bell J C, Butler C A. Digital elevation model resolution: Effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling[J]. Geoderma, 2001,100(1):67-89.
- [11] Florinsky I V, Kuryakova G A. Determination of grid size for digital terrain modelling in landscape investigations-exemplified by soil moisture distribution at a micro-scale[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000,14(8):815-832.
- [12] 朱宁宁,姚方芳. 点云密度设置在激光扫描中的应用研究[J]. 河南城建学院学报,2014,23(1):63-66.
- [13] 李青蒙. 激光扫描点云处理技术研究[D]. 辽宁 大连:大连海事大学,2013.