福建省长汀县不同水保措施的减流减沙效应

蒋 涛[1,2], 谢炎敏[3], 陈志彪[1,2], 陈志强[1,2], 陈俊佳[1,2]

(1. 福建师范大学 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建 福州 350007;
2. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007; 3. 长汀县水土保持事业局, 福建 长汀 366300)

摘 要: [目的] 揭示福建省长汀县不同水保措施的减流减沙效应,为南方红壤侵蚀区治理水土流失提供科学的依据。[方法] 以福建省长汀县水土保持科教园 7 种水保措施为研究对象,利用 K 均值聚类的方法将降雨特征划分为 4 类雨强和雨型定量研究径流泥沙,分析不同水保措施及雨型下的减流减沙效益。[结果] ①小区ZG(小平台+种果)与 MWS(马尾松纯林)减流率最为显著;小区 BC(全坡面种植+播草)和 ZG 减沙效果最为显著。②径流量与降雨量呈显著正相关,径流泥沙量在不同雨型下差异不显著,径流量与植被盖度显著相关; ③同一雨型下,不同水保措施处理的减流减沙效果均显著。[结论] 水保措施与对照小区的年径流量差异极其显著,减流减沙率受雨型影响较小,径流泥沙量与植被盖度、土壤有机质存在显著相关。

关键词: 水保措施; 减流减沙效应; 长汀县

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2018)06-0035-07 **中图分类号**: S154.1, S153

文献参数: 蒋涛, 谢炎敏, 陈志彪, 等. 福建省长汀县不同水保措施的减流减沙效应[J]. 水土保持通报, 2018,38(6):35-41. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.006. Jiang Tao, Xie Yanmin, Cheng Zhibiao, et al. Reductions of water flow and sediment under different water conservation measures in Changting County of Fujian Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(6):35-41.

Reductions of Water Flow and Sediment Under Different Water Conservation Measures in Changting County of Fujian Province

JIANG Tao[1,2], XIE Yanmin[3], CHEN Zhibiao[1,2], CHEN Zhiqiang[1,2], CHEN Junjia[1,2]

〔1. *Key Laboratory for Subtropical Mountain Ecology (Funded by Ministry of Science and Technology and Fujian Province), Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian* 350007, *China*; 2. *College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian* 350007, *China*; 3. *Changting County Soil and Water Conservation Bureau, Changting, Fujian* 366300, *China*〕

Abstract: [Objective] The effects of water & soil conservation measures on the reductions of runoff and sediment were researched in Changting County of Fujian province in order to provide scientific basis for soil erosion control in the southern red soil erosion area. [Methods] In the soil and water conservation science and education park in Changting County, Fujian Povince, seven soil and water conservation measures were set, the efficiencies in runoff and sediment reduction under four kinds of rainfall with respect to intensity and type were experimented and analyzed. Method of K-mean clustering was used . [Results] ① ZG(platform+fruittree) and MWS(*Pinus massoniam* pure trees) were the most significant in the reduction of water loss. BC(full slope planting+sowing grass) and ZG had the most significant effect on the reduction of sediment. ② There was a significant positive correlation between runoff and rainfall. There were no significant difference in the amounts of runoff and sediment among different rainfall intensities. Runoff were significantly correlated with vegetation coverage. ③ Under the same rain pattern, the effect of different water conservation measures on reducing flow and sediment was remarkable. [Conclusion] The difference of annual runoff between the plots

收稿日期:2018-06-02 **修回日期**:2018-07-09

资助项目:福建省社会发展指导性(重点)项目"福建省稀土矿差异化治理优化模式与评价"(2016Y0024); 国家科技支撑计划项目"南方红壤水土流失治理技术及示范"(2013BAC08B03)

第一作者:蒋涛(1990—),男(汉族),安徽省阜阳市人,硕士研究生,研究方向为自然资源与环境。E-mail:467379989@qq.com。

通讯作者:陈志彪(1962—),男(汉族),福建省平潭市人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为生态恢复与水土保持。E-mail:chenzhib408@vip.163.com。

treated with conservation measures and the control plot was very significant. The sediment reduction rate was less affected by rainfall type. The sediment quantity of runoff was significantly correlated with vegetation coverage and soil organic matter.

Keywords: soil and water conservation measures; reducing runoff and sediment effect; Changting County

福建省长汀县属于南方红壤区典型的水力侵蚀区,由于年均降雨量较大,以及人为活动的过度开发,使该区成为我国水土流失最广、程度最严重的地区之一[1]。因坡面水力侵蚀导致耕地肥力退化,使江河湖泊淤积和洪涝灾害频发,也是面源污染发生的重要形式和运输载体。坡面水力侵蚀不仅能导致土地退化,而且其引起的水土流失严重制约当地农业经济的发展和生态环境建设,水力侵蚀主要受到降雨、坡度、下垫面等因素的影响[2-3]。水力侵蚀是坡面土壤元素流失的主体。

有学者[4-5]通过人工降雨的方法,模拟不同坡度以及植被和整地方式的调整对产流产沙的影响。一般情况下,在一定区域内的地表径流和水力侵蚀贡献较大的几次强降雨,随地表植被覆盖不同,相同降雨等级下产流、产沙量存在较大差异[6]。此类研究大多集中于以黄土高原和西南喀斯特地貌水土流失为主[6-7],对于南方红壤侵蚀区水土流失研究仍然不足[8-9],并且大部研究聚集于坡地对土地利用方式产流产沙[10]的影响,但对于次降雨条件下的水土流失的减流减沙分析以及降雨—减流减沙之间的关系研究依然较少。而本研究对长汀县降雨数据的观测及记录,通过分析不同水保措施下,模拟次降雨与地表植被产流的内在机制,揭示径流泥沙量与不同水保措施的内在规律,以求为南方红壤侵蚀区治理水土流失提供科学的依据。

1 研究区概况

长汀县位于福建省西南部,长汀水土保持科教园(116°.469161′E,25°.641761′N),属中亚热带季风性湿润气候,常年平均气温 18.5 ℃,常年平均降雨量 1 700 mm,年均蒸发量 1 400 mm,年均无霜期260 d。境内气候垂直分异明显,年均气温 18～19.5 ℃,年雨量 1 550～1 750 mm[11]。观测数据来源于 2014 年径流泥沙及降雨数据。

2 材料与方法

2.1 径流小区设置

该区内共设置径流小区 12 个,本次研究共选取 8 个(图 1),去除了 1 种春季翻耕的裸地对照,3 种条沟或与穴状处理下的乔灌草,只保留一种穴状处理下的乔灌草,2 种马尾松或与茅草处理,只保留一种马尾松与茅草处理。径流小区建立年份为 2006 年,为标准径流小区设置主要观测产流量与泥沙含量,土地利用为林地、草地还有裸地,基岩为花岗岩,为典型的南方侵蚀性花岗岩红壤区。分流级别为 2,径流小区下设径流池 2 个,一边蓄水后泥沙沉积,径流分流。分流孔数目为 5,由径流小区到径流池,用以收集径流泥沙的管道为 5 个。分流空的高度为 1 m,径流小区到径流池底部的高度为 1 m。,分流横截面积为 2 m^2,集流桶横截面积为 2 m^2,小区坡度为 15°,长宽为 20 m×5 m,面积均为 100 m^2。径流小区基本概况详见表 1。

表 1 径流小区的基本概况

小区编号	整地方式	植被类型	林 龄/a	郁闭度	林下植被类型	覆盖度/%
CK	标准小区	无	—	0	—	0
BC	全坡面种植	播草	—	—	草本	90
ZN	畦状整地	种植农作物	—	—	—	—
ZG	小平台	种果	10	0.4	草本	30
FJ	封禁补植	封禁	11	0.5	草本	50
GC	小穴	灌+草	—	—	草本	70
QGC	穴状整地	人工乔灌草	9	0.5	灌木+草本	30
MWS	补植	马尾松纯林	9	0.3	灌木+草本	45

图 1 为研究区不同水土保持措施下的径流小区布设图,各径流小区内不同的植被类型,常见的植物有马尾松(*Pinus massoniana*)、百喜草(*Paspalum notatum*)、地瓜(*Ipomoea batatas*)、杨梅(*Myrica adenophora*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、宽叶雀稗(*Paspalum wetsfeteini*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、木荷(*Schima superba*)、茅草(*Eulalia speciosa*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)等。

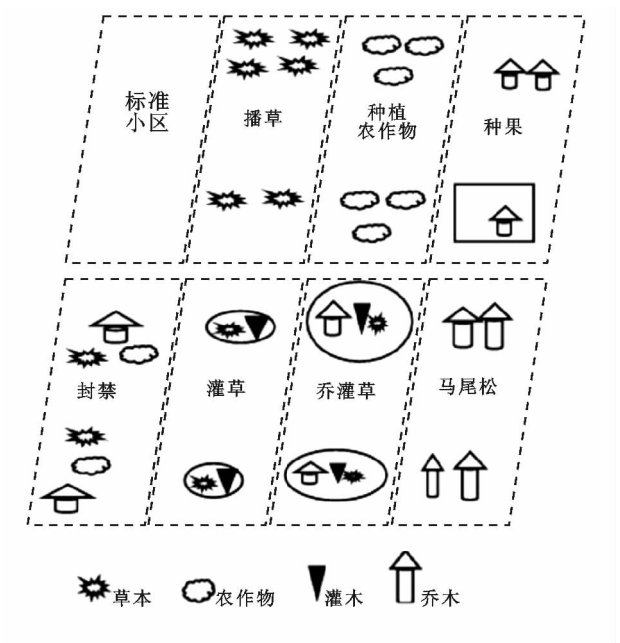


图 1　不同水保措施下径流小区布设图

2.2　试验方法

2.2.1　*样品采集与处理*　收集每场降雨下各径流小区坡面所产的径流和泥沙。①径流量。称量每个集流池径流泥沙总量,放置澄清后倒掉上部清夜,待水分完全测定泥沙量,径流泥沙总量减去泥沙重即为径流量。②泥沙量:降雨开始后计时,同时记录初始产流时间,然后用塑料桶收集径流;降雨结束记录降雨历时。

2.2.2　*减流率和减沙率*　根据《水土保持综合治理效益计算方法(GB/T15774-2008)》[12]计算不同水保措施下的减流减沙率:

$$减流率=\frac{L_d-L_n}{L_d} \tag{1}$$

$$减沙率=\frac{S_s-S_n}{S_d} \tag{2}$$

式中:L_d,L_n——对照小区和各水保措施小区的径流量(L);S_d,S_n——对照小区与各水保措施小区的泥沙量(kg)。

2.2.3　*数据处理*　采用 Origin 7.5 软件制图。利用 Excel 软件进行表格的编辑与公式的计算,以及应用 SPSS 22 软件进行降雨量、产沙量、减流率、减沙率及降雨 K 均值聚类的分析。

3　结果与分析

3.1　降雨类型划分

根据福建省长汀县河田镇水土保持科教园径流小区的降雨量(mm)、降雨强度(mm/h)、降雨历时(h)这 3 个指标作为降雨特征值,将 36 场次降雨通过 K 均值聚类分为 4 类,分别记为Ⅰ型降雨、Ⅱ型降雨Ⅲ型降雨和Ⅳ型降雨。4 类降雨的特征指标中次降雨量与雨强差异显著($p<0.01$),,满足分类要求。在 36 次降雨中,Ⅳ型降雨的发生频次占总场次的 52.8%,累计降雨量最大,达 322.5 mm;Ⅱ型降雨频次占总场次的 8.3%,累计降雨量为 66 mm;Ⅲ型降雨频次占总场次的 16.6%,累计降雨量达 301.5 mm;Ⅰ型降雨的频次占总场次的 22.22%,累计降雨量 286 mm。根据 4 种降雨的降雨特征的 K 均值聚类结果,以次降雨量排序为:Ⅲ>Ⅰ>Ⅱ>Ⅳ,以降雨强度排序为:Ⅱ>Ⅰ>Ⅲ>Ⅳ。这表明降雨量不仅受降雨强度的影响,而且和降雨历时相关,往往雨强越大的降雨量越大,其中Ⅲ和Ⅳ的降雨历时较为接近。因此,各降雨类型主要分为Ⅰ(大雨量、强雨强、中等历时);Ⅱ(中雨量、极大雨强、短历时);Ⅲ(极大雨量、弱雨强、长历时);Ⅳ(小雨量、弱雨强、中等历时);Ⅰ型降雨多发生于 4—9 月,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ型降雨多发生于 1—3 月及 10—12 月,侵蚀性弱于Ⅰ型降雨。

表 2　降雨类型特征指标

降雨类型	特征值	平均值	变异系数	累计降雨量/mm	降雨频次
Ⅰ	雨量 P/mm	33.75	0.15	286	8
	雨强 I/(mm·h^{-1})	4.00	0.59		
	雨量 P/mm	11.22	0.42		
Ⅱ	雨强 I/(mm·h^{-1})	22.00	0.37	66	3
	历时/h	24.5	0.32		
	雨量 P/mm	1.00	0.51		
Ⅲ	雨量 P/mm	50.25	0.10	301.5	6
	雨强 I/(mm·h^{-1})	3.35	0.44		
	历时/h	17.55	0.41		
Ⅳ	雨量 P/mm	16.97	0.17	322.5	19
	雨强 I/(mm·h^{-1})	3.14	0.77		
	历时/h	9.25	0.70		

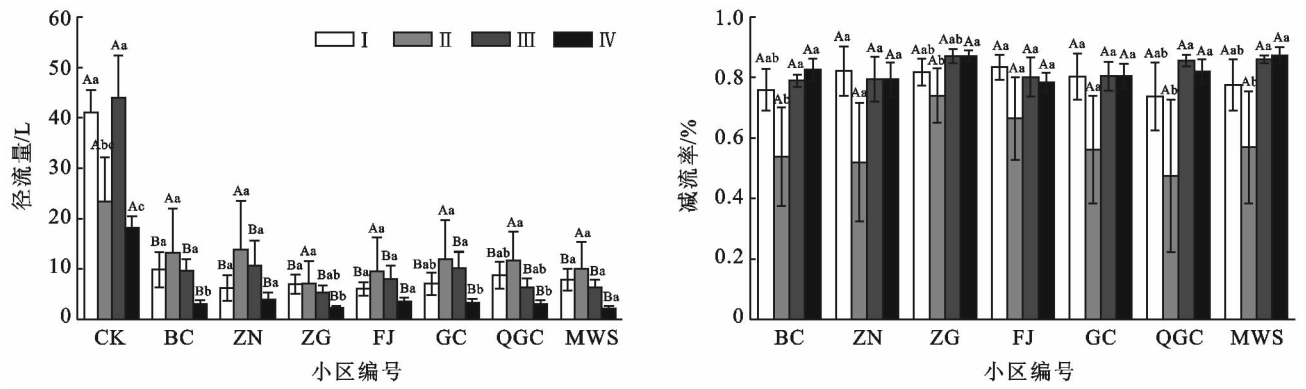
3.2　不同水保措施下的径流量和减流率

3.2.1　*年径流量与减流率*　不同水保措施下年径流量与减流率分析结果详见表 3。CK 小区由于是光板对照,径流量最高,不同水保措施下 BC,ZN,ZG,FJ,GC,QGC,MWS 的径流量分别为 100.4,100.4,50.2,75.3,75.3,62.8 和 50.2 mm,7 种水保措施下的年径流量与对照小区的年径流量差异显著,分别比对照小区径流量减少为 426.9,426.9,477.1,452.0,452.0,464.5 和 477.1 mm,7 种水保措施间径流量差异不显著,减流率分别为 80.95%,80.95%,90.47%,85.71%,85.71%,88.09%,90.47%。在年径流量中,BC 和 ZN 径流量最大,ZG 与 MWS 径流量最小,按顺序依次为:BC(ZN)>FJ(GC)>QGC>ZG(MWS),依据公式计算,减流量与减流率,BC 和 ZN 减流率低,ZG 与 MWS 减流率高。

表 3 不同水保措施下径流量与减流率

小区编号	CK	BC	ZN	ZG	FJ	GC	QGC	MWS
径流量/mm	527.3	100.4	100.4	50.2	75.3	75.3	62.8	50.2
减流量/mm	—	426.9	426.9	477.1	452	452	464.5	477.1
减流率/%	—	80.95	80.95	90.47	85.71	85.71	88.09	90.47

3.2.2 雨型对不同水保措施下径流量减流率的影响 图 2 表示不同水保措施在不同雨型下的产流特征。由图 2 可知，4 种雨型下，CK 径流量与其他小区存在显著差异（$p<0.05$），但有水保措施处理的小区，不存在显著差异，同一雨强对与不同水保措施不存在显著差异，不同雨强与同一水保措施存在显著差异（$p<0.05$）。Ⅱ型降雨与Ⅳ型降雨存在显著差异（$p<0.05$），雨型Ⅰ、雨型Ⅱ、雨型Ⅲ之间差异不显著。较大的雨强能减少入渗，更迅速产生地表径流。进一步分析发现，ZN，FJ，MWS 小区在不同雨型下不存在显著差异，主要因为 ZN 小区采用的横垄耕作，种植地瓜，经常翻土，土壤孔隙度增大，降雨多入渗，不同降雨类型下产流量相对稳定。FJ 由于植被盖度高，植物立体结构良好，降雨侵蚀力及降雨入渗都相应减弱，趋于稳定。MWS 由于枝叶茂盛，根系深，使得降雨侵蚀与地表径流弱，产流相对稳定。同一降雨类型下，水保措施处理下的小区无显著差异，说明植被覆盖均能很好地减流减沙。



注：同一雨型下字母不同表示不同水保措施之间差异显著（$p<0.05$）；同一水保措施下字母大小写表示不同雨型之间差异显著（$p<0.05$）。下同。

图 2 雨型对不同水保措施下径流量与减流率的影响

由方差分析表明（图 2），不同雨型对减流率不存在显著差异，同一水保措施下，不同雨型对 MWS，ZG，QGC 小区之间存在显著差异（$p<0.05$）。MWS 小区在Ⅰ雨型、Ⅱ雨型与Ⅲ雨型、Ⅳ雨型下减流率存在显著差异（$p<0.05$），ZG 小区Ⅱ雨型和Ⅳ雨型下减流率存在显著差异（$p<0.05$），QGC 小区Ⅱ雨型与Ⅲ雨型、Ⅳ雨型下减流率存在显著差异（$p<0.05$）。可以发现乔灌木对减流率的响应远大于其他水保措施。而灌草植被覆盖下减流效果低于乔灌木。

3.3 不同水保措施下的泥沙量与减沙率

3.3.1 年泥沙量与减沙率 不同水保措施下年泥沙量与减沙率分析结果详见表 4。CK 小区由于是对照裸地，泥沙量最高，不同水保措施下 BC，ZN，ZG，FJ，GC，QGC，MWS 的泥沙量量分别为 4.7，54.5，16，28.1，51.1，38.5 和 25.6 kg，7 种水保措施下的年泥沙量与对照小区的年泥沙量差异极其显著显著，分别比对照小区泥沙量量减少为 304.9，255.1，293.6，281.5，258.5，271.1 和 284 kg，7 种水保措施间泥沙量差异显著，减流率分别为 98.48%，82.39%，94.83%，90.92%，83.49%，87.56%，91.73%。在年土壤流失量中，ZN 土壤流失最多，BC 产沙量最少，按顺序依次为：ZN＞GC＞QGC＞FJ＞MWS＞ZG＞BC，依据公式计算，减沙量与减沙率，ZN 减沙率低，BC 减沙率高。

表 4 不同水保措施下泥沙量与减沙率

小区编号	CK	BC	ZN	ZG	FJ	GC	QGC	MWS
泥沙量/kg	309.6	4.7	54.5	16	28.1	51.1	38.5	25.6
减沙量/kg	—	304.9	255.1	293.6	281.5	258.5	271.1	284
减沙率/%	—	98.48	82.39	94.83	90.92	83.49	87.56	91.73

3.3.2　雨型对不同水保措施下泥沙量与减沙量影响

图 3 表示不同水保措施下在不同雨型下产沙特征,由图 3 可知,同一雨型下 CK 小区泥沙量与其它水保措施小区存在显著差异($p<0.05$),但在Ⅱ型降雨下,仅有 BC 与 CK 小区存在显著差异。在同一水保措施不同雨型下,CK,ZG,GC 和 QGC 小区Ⅱ型降雨与Ⅳ型降雨存在显著差异($p<0.05$),而 ZN 和 FJ 小区不同雨型下不存在显著差异。BC 小区Ⅲ型降雨与Ⅳ型降雨存在显著差异($p<0.05$)。雨型不同,地表径流变化,对地表的冲刷不同携带泥沙量不同,在泥沙流失过程中,降雨类型的贡献比植被盖度大。ZG,GC 和 QGC 小区一方面季节生物量变化大,分为生长季和凋落季,植被盖度较其他水保措施显著,另一方面 2 种雨型的降雨量差异较大,使得径流泥沙量差异较大。而 BC 小区差异主要由于雨型间降雨量的差异所导致的。由图 4 减沙率方差分析发现,在Ⅰ型降雨下 BC 与 QGC 小区减沙率存在显著差异($p<0.05$),在Ⅲ型降雨下 ZN 小区与其他水保措施下减沙率存在显著差异($p<0.05$),在Ⅳ型降雨下 BC 与 ZN,FJ,GC 和 QGC 小区存在显著差异($p<0.05$)。ZG 与 MWS 小区与 GC 及 QGC 小区存在显著差异($p<0.05$)。在同一水保措施不同雨型下,Ⅰ型与Ⅲ型在 ZN 和 ZG 小区存在显著差异($p<0.05$)。其他水保措施下受雨型影响下,无显著差异。

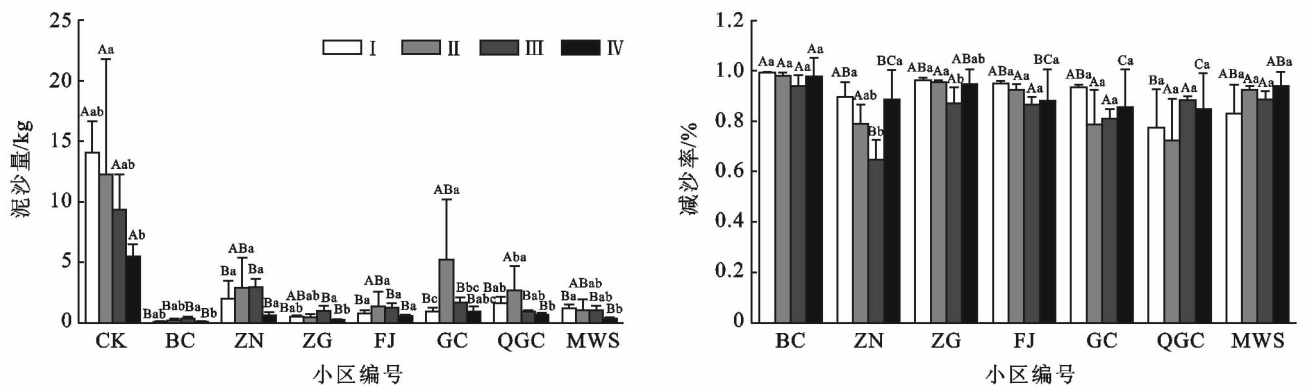


图 3　雨型对不同水保措施下泥沙量与减沙量的影响

3.4　径流量与泥沙量和植被盖度的相关分析

通过不同对水保措施下的径流量与泥沙量之间的回归分析(表 5),结果表明,除 BC 和 ZG 外,其余水保措施的径流量与泥沙量拟合效果呈显著相关($p<0.01$),QGC 的回归系数 R^2 最高为 0.7387,ZG 回归系数 R^2 最低为 0.038。不同水保措施下径流量与泥沙量呈正相关性。地表径流是泥沙流失的载体,由于不同的整地方式下,径流携带泥沙量不一。在 BC($R^2=0.085$)与 ZG($R^2=0.038$)方式下,径流量与泥沙量之间受到植被种类与不同程度下的人为活动等因子的影响,使径流量与泥沙量间变化过程不一致。

由相关分析表明(表 6),植被盖度(%)径流量(mm)以及泥沙量(kg)关系密切。植被盖度与径流泥沙量呈显著负相关($p<0.01$),植被盖度与有机质含量呈显著正相关($p<0.05$)这表明,不同水保措施下,植被覆盖越高,所产生的径流泥沙量就越少。在相同的降雨以及坡度等条件下,植被覆盖对坡面产生径流泥沙的调节拦截能力。泥沙量与径流量呈显著正相关($p<0.05$),泥沙量与有机质呈显著负相关($p<0.01$),泥沙量与植被盖度存在显著负相关($p<0.01$)。泥沙量越高,径流量越高,有机质越低。主要由于径流的侵蚀力,在地表植被覆盖裸露的地方,径流可以携带大量泥沙。

表 5　不同水保措施下径流量与泥沙流失量之间回归分析

小区编号	回归方程	R^2	sig.
CK	$R=0.6946S+0.8275$	0.400 7	0.000
BC	$R=0.0246S+0.0665$	0.085 0	0.084
ZN	$R=0.5253S+0.1686$	0.548 9	0.000
ZG	$R=0.0612S+0.3411$	0.038 0	0.255
FJ	$R=0.313S+0.1048$	0.577 6	0.000
GC	$R=0.7334S-0.329$	0.510 7	0.000
QGC	$R=0.4998S-0.0413$	0.738 7	0.000
MWS	$R=0.3094S+0.1184$	0.584 9	0.000

注:S 表示泥沙量;R 表示径流量。

表 6　径流泥沙与植被盖度相关关系

项 目	植被盖度	泥沙量	径流量	有机质
植被盖度	1	−0.730**	−0.888**	0.681*
泥沙量	−0.730**	1	0.582*	−0.607*
径流量	−0.888**	0.582*	1	−0.643*
有机质	0.681*	−0.607*	−0.643*	1

注:* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关 ** 表示在 .01 水平(双侧)上显著相关。

4 讨 论

4.1 不同水保措施下减流减沙效益

7种水保措施下的年均径流量和产沙量均低于对照小区。不同的水保措施，由于下垫面各方面差异，相同的降雨，也会产生不同的侵蚀量[13]。这主要因为在无植被覆盖的条件下，土壤表层受雨滴的溅蚀后，容易形成地表结皮，降低了地表水的入渗，土壤通透性变差，进而影响地表径流量[14]。这与周璟等[15]降雨量与径流深和产沙模数呈现较为显著的线性相关性研究结论一致。研究表明侵蚀作用下土壤流失量随着降雨强度的增大而增加，径流是影响泥沙流失的重要因素，其相关程度随着雨强的增大而降低[16]。由于水保措施的应用，改变了地表结构，避免了土壤结皮的形成；一方面，地表植被在降雨过程中通过对地表径流的迟滞、渗透等一系列形式对降雨进行再分匹配，有效延缓了径流的形成过程，从而减少坡面径流，发挥了显著的水土保持效益[17]。由于植物季节生长环境及降雨强度的差异，导致径流泥沙的季节的差异。植被减蚀作用表现为3个方面：陆生植物叶茎对降雨条件下雨滴动能的消减作用[18]，植物茎和枯枝落叶对径流流速的消减作用[19]，植物根系对改良土壤抗冲蚀性的能力[20]，另一方面因为地表生物量的不同，地表粗糙度不一，产流大小差异明显，导致地表径流有差异。

研究[21-23]表明，坡面植被覆盖可以使坡面产流减少25%～70%，产沙降低40%～90%[22-23]。7种水保措施均有良好的减流减沙效益，究其原因，ZN由于受到人为干预较大，种植农作物需要翻耕与施肥，农作物需要除草收获与深挖，导致径流泥沙量流失较大，植被盖度随植物季节性变化。BC之所以能有效减少径流量和泥沙量，主要原因是草本植物枯枝落叶中养分含量充足，可以有效改良土壤肥力[24]，土壤肥力足，土壤松弛，增加土壤表层水的入渗，有效迟滞了产流时间，另外植物种类为百喜草，属于多年生禾生草，生长极其迅速，地上部分的茎叶极其枯枝落叶覆盖地表，可有效减弱雨滴对地表土层的溅蚀，削弱降雨侵蚀力[17]。FJ水保措施能减少外界的干扰，改善植物的生境[25]。ZG由于进行人工施肥，改良了土壤的养分含量状况，有利于土壤团聚体结构的形成，从而改变了土壤水的通透性、蓄水量及通气性，降雨使地表水入渗较快，较难形成地表径流[26]，由相关分析得出，径流与泥沙关系极其显著，呈正相关。径流为泥沙流失的主要方式，因此泥沙量相对较少。QGC水保措施由于其复杂的生物组成，形成了相对独立的冠层立体植物结构网，降雨被层层消耗及再分配，减少了林地地表的降雨强度及降雨量，进而减缓了径流量的产生时间及强度；同时，QGC林下植被根系异常密集，根系所在的根网效应能固持土壤颗粒，加强土壤的聚合力，进而改善了土壤的抗蚀性，使得泥沙流失量减少[27]。植被的水土保持效益与植被覆盖度息息相关，由于MWS植被覆盖度均较高(85%)，有效减少了林下降雨量，使得坡面径流量减少，继而减弱了降雨对土壤的冲刷力，泥沙量较低。

4.2 不同水保措施下减流减沙的影响因子

植被及其覆盖对地表径流的影响是水文研究中的一个重要内容植被覆盖通过降低降雨动能、截留降雨、增加入渗等，以减轻坡面侵蚀，是一项重要的水土保持措施。植被覆盖对陆生生态环境中水分循环起着重要作用。有研究表明，植被与降水是决定地表产流产沙量的主要环境因子。降雨量不同的区域，森林覆盖和草地覆盖条件下产流量差异很大[28]。长期以来，有的研究用有效覆盖度、临界覆盖度等指标来表示植被在产流产沙中的作用[29]。通过对7个径流小区的整地方式和植物类型来分析。各林下草被均存在不同的植物类型，常见的植物有胡枝子、宽叶雀稗、五节芒、狗牙根、芒萁等。林下植被覆盖能够有效的减少降雨对地表的冲刷，减少降雨的侵蚀，其所散落的枯枝落叶层能积蓄雨水，减少径流，对雨水的再分配起着重要的作用。

不同水保措施下的产流产沙量均表现为随着降雨量而变化，从分析产流产沙回归关系可知，随着降雨量的变化，BC产流量与产沙量不发生质变化，由于植被盖度和叶面积指数均大于，增加了冠层截留雨量，迟滞了降雨到达地表的时间[30]林地覆盖下产流量与产沙量剧烈变化。另一方面说明了林下草地覆被对地表面受侵蚀的直接保护作用，优于林冠郁闭度。综上所述，林下草被覆盖度和降雨条件，是影响研究小区产流量与产沙量及过程的重要因素。

在不同的降雨特征下，对不同植被覆盖的径流小区全年的植物生长状态及生物量的记录、以及径流泥沙观测，不同水保措施下径流泥沙均表现为植物生长状态复杂的区域要优于植物生长单一的区域。径流量与降雨量的变化趋势一致，但泥沙量则受更多的因素的综合影响。CK，ZN，FJ，BC，MWS的泥沙侵蚀量与径流量呈极显著正相关，说明不同水保措施下产沙过程更加复杂，使得对水保措施下定量化研究更为困难。

5 结 论

(1) 7种水保措施与对照小区的年径流量差异极

其显著,BC 和 ZG 减沙效果最为显著,QGC 和 ZN 减沙效果最差。

(2) 径流量与降雨量呈显著正相关,减流减沙率受雨型影响较小,水保措施之间对减流减沙率变化影响较小。

(3) Ⅱ型降雨与Ⅲ型降雨是造成水土流失的主要降雨类型,降雨量对径流泥沙量流失的影响大于降雨强度的影响。

(4) 径流量与泥沙量的拟合效果为呈显著相关($p<0.01$),植被盖度与径流泥沙量呈显著负相关($p<0.01$),植被盖度与有机质含量呈显著正相关($p<0.05$),泥沙量与植被盖度存在显著负相关($p<0.01$)。

[参 考 文 献]

[1] 水利部.中国水土流失防止与生态安全,南方红壤区卷[M].北京:科学出版社,2010.

[2] Defersha M B, Quraishi S, Melesse A, et al. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 15(7): 2367-2375.

[3] 郑粉莉,王占礼,杨勤科,等.土壤侵蚀学科发展战略[J].水土保持研究,2004,11(4):57-62.

[4] 和继军,蔡强国,刘松波.次降雨条件下坡度对坡面产流产沙的影响[J].应用生态学报,2012,23(5):1263-1268.

[5] 李静苑,蒲晓君,郑江坤,等.整地与植被调整对紫色土区坡面产流产沙的影响[J].水土保持学报,2015,29(3):81-85.

[6] 张兴奇,顾礼彬,张科利,等.坡度对黔西北地区坡面产流产沙的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):18-22.

[7] 方海燕,蔡强国,李秋艳.黄土丘陵沟壑区坡向对产流产沙影响的研究[J].中国水土保持,2011(5):39-42.

[8] 梁娟珠.南方红壤区不同植被措施坡面的水土流失特征[J].水土保持研究,2015,22(4):95-99.

[9] 卜建霞,叶功富,尤龙辉,等.福建省长汀县不同土地利用方式降雨产流产沙特征[J].水土保持研究,2017,24(4):1-5.

[10] 吕玉娟,彭新华,高磊,等.红壤丘陵岗地区坡地产流产沙特征及影响因素研究[J].水土保持学报,2014,28(6):19-23.

[11] 陈志彪,岳辉.实施水土保持措施后的小气候效应分析:以长汀县河田地区为例[J].亚热带水土保持,2005,17(1):17-23.

[12] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China. GB15774-2008, Calculation method of benefit in soil and water conservation [S]. Beijing: China Standards Press, 2008.

[13] 吴发启,范文波.土壤结皮与降雨溅蚀的关系研究[J].水土保持学报,2001,15(3):1-3.

[14] 唐涛,郝明德,单凤霞.人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究[J].水土保持研究,2008,15(1):9-11.

[15] 周璟,张旭东,何丹,等.武陵山区女儿寨小流域次降雨径流与产沙特征[J].中国水土保持科学,2011,9(1):33-38.

[16] 聂小东,李忠武,王晓燕,等.雨强对红壤耕地泥沙流失及有机碳富集的影响规律研究[J].土壤学报,2013,50(5):900-908.

[17] 梁娟珠.不同植被措施下红壤坡面径流变化特征[J].水土保持通报,2015,35(6):159-163.

[18] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型[M].北京:中国科学技术出版社,2001:66-68.

[19] 刘宝元,张科利,焦菊英.土壤可侵蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J].自然资源学报,1999,14(4):345-350.

[20] 范昊明,蔡强国,崔明.东北黑土漫岗区土壤侵蚀垂直分带性研究[J].农业工程学报,2005,21(6):8-13.

[21] Van Dijk P M, Kwaad F J P M, Klapwijk M. Retention of water and sediment by grass strips [J]. Hydrological Processes, 2015,10(8):1069-1080.

[22] Pan Chengzhong, Shangguan Zhouping. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rain all conditions[J]. Journal of Hydrology, 2016,331(1):178-185.

[23] Zhou Zhengchao, Shangguan Zhouping. Effect of rye grasses on soil runoff and sediment control[J]. Pedosphere, 2008,18(1):131-136.

[24] 文亦芾,毕玉芬,董亚芳.金沙江流域退耕还草地水土保持效益分析研究[J].土壤,2006,38(4):489-493.

[25] 郑本暖,杨玉盛,谢锦升,等.亚热带红壤严重退化生态系统封禁管理后生物多样性的恢复[J].水土保持研究,2002,9(4):57-60.

[26] 黄少燕.红壤侵蚀退化地不同生态恢复措施对土壤养分影响研究[J].水土保持研究,2009,16(3):38-42.

[27] 王升,王全九,董文财,等.黄土坡面不同植被覆盖度下产流产沙与养分流失规律[J].水土保持学报,2012,26(4):23-27.

[28] 张晓萍,张橹,王勇,等.黄河中游地区年径流对土地利用变化时空响应分析[J].中国水土保持科学,2009,7(1):19-26.

[29] 刘斌,罗全华,常文哲,等.不同林草植被盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度[J].中国水土保持科学,2008,6(6):68-73.

[30] 孙向丽,张启翔.不同水肥供应对丽格海棠根系形态和生理指标的影响[J].西北林学院学报,2011,26(5):46-52.