

# 保水剂施用方式对花岗岩红壤坡面水土保持的影响

刘川<sup>1,2</sup>, 查轩<sup>1,2</sup>, 黄少燕<sup>1,2</sup>, 康佩佩<sup>1,2</sup>,  
戴金梅<sup>1,2</sup>, 王丽园<sup>1,2</sup>, 白永会<sup>1,2</sup>, 张婧<sup>1,2</sup>

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007)

**摘要:** 为了获得保水剂对花岗岩红壤坡面水土保持效果最佳的施用方式, 通过人工模拟降雨试验和室内分析相结合方法, 开展保水剂混施、层施和沟施等施用方式对红壤坡面侵蚀的产流产沙过程影响研究。结果表明: (1) 花岗岩红壤坡面施加保水剂后可降低坡面产流、产沙量, 延缓产流时间。当雨强为 1.0 mm/min 时, 保水剂与土壤混合施用对降低坡面径流及产沙量的影响更为显著。与对照坡面相比, 混合施用坡面累积径流降低 34%, 累积产沙量减少 48%; 雨强为 1.5 mm/min 时层施保水剂对降低坡面径流及产沙量作用更显著。与对照相比, 层施保水剂坡面累积径流降低 46%, 累积产沙量减少 67%。(2) 红壤坡面中混合施加保水剂能够增加坡面入渗率, 减少坡面径流, 增加土壤含水量, 发挥了良好的蓄水保土效益。(3) 相关性分析表明, 保水剂不同施用方式下花岗岩红壤坡面累积产流、产沙量呈现显著相关 ( $P < 0.05$ ), 坡面累积径流量和累积泥沙量间构成幂函数模型。研究结果为花岗岩红壤坡面应用保水剂控制水土流失和揭示相关机理提供参考。

**关键词:** 保水剂; 花岗岩红壤; 坡面产流; 坡面产沙; 人工模拟降雨

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)06-0110-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.06.019

## Effects of Super Absorbent Polymers in Different Application Methods on Soil and Water Conservation of the Granite Slope of Red Soil

LIU Chuan<sup>1,2</sup>, ZHA Xuan<sup>1,2</sup>, HUANG Shaoyan<sup>1,2</sup>, KANG Peipei<sup>1,2</sup>,

DAI Jingmei<sup>1,2</sup>, WANG Liyuan<sup>1,2</sup>, BAI Yonghui<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007;

2. Subtropical Fujian Province Key Laboratory of Resources and Environment, Fuzhou 350007)

**Abstract:** In order to obtain the best application method of super absorbent polymers (SAP) on soil and water conservation of the granite slope of red soil, the effect of SAP (mixed, layered, and furrowed) application on the erosion process of the granite slope of red soil was compared with the method of simulated rainfall experiment and lab analysis. The results indicated that: (1) The application of SAP can reduce the runoff and sediment yield and delayed the flow time on the granite slope of red soil. The mixed application of SAP and soil had a great influence on reducing the runoff and sediment yield on the granite slope of red soil in the rain intensity of 1.0 mm/min. Compared with the control slope, the cumulative runoff respectively decreased 34% and the cumulative sediment yield decreased 48% by the mixed application of SAP and soil. While layered application of SAP and soil had extremely significant effects on the runoff and sediment yield in the rain intensity of 1.5 mm/min. Compared with the control slope, the cumulative runoff respectively decreased 46% and the cumulative sediment yield decreased 67% by the layered application of SAP and soil. (2) The application of SAP had increased slope infiltration rate and soil water content, and reduced the runoff and sediment yield on the granite red soil slope. The mixed application method of SAP and soil had played a good role on soil and water conservation. (3) The effects of different application methods of SAP had significant on the runoff and sediment yield on

收稿日期: 2017-06-12

资助项目: 国家重点研发计划项目“南方红壤低山丘陵区水土流失综合治理”(2017YFC05054); 国家科技支撑计划项目“强度侵蚀区退化生态系统修复关键技术的集成与示范”(2014BAD15B02)

第一作者: 刘川(1992—), 男, 江西赣州人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail: 18860175890@163.com

通信作者: 查轩(1961—), 男, 陕西咸阳人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持与生态恢复研究。E-mail: xzha@fjnu.edu.cn

the granite slope of red soil ( $P < 0.05$ ). The power function model of the cumulative runoff and cumulative sediment on the granite slope of red soil was concluded based on statistical analysis. Those results provided the theoretical basis for the runoff and sediment yield on the granite red soil slope.

**Keywords:** super absorbent polymers; red soil derived from granite; slope runoff; slope sediment yield; simulated rainfall

土壤侵蚀不仅会导致土地退化,而且由其引起的水土流失严重制约农业经济的发展和生态环境建设。土壤侵蚀的严重程度主要受到降雨、坡度、下垫面等因素的影响<sup>[1-2]</sup>。保水剂(super absorbent polymers, SAP)是一种具有超高吸水能力和保水能力的高分子聚合物。它能迅速吸收比自身重数百倍甚至上千倍的水分,而且有反复吸水功能,吸水后的水凝胶可缓慢释放水分供作物利用<sup>[3]</sup>。同时,保水剂能增强土壤保水性,改良土壤结构,促进团粒的形成<sup>[4-5]</sup>,减少土壤水分养分流失,提高水肥利用率<sup>[6]</sup>。自美国研制出保水剂以来,许多国家都进行了试验和应用,并取得了良好的效果<sup>[7]</sup>。目前我国保水剂的研究主要集中在农业生产<sup>[8-10]</sup>、土壤理化性质<sup>[11-12]</sup>、土壤微生物<sup>[13]</sup>以及保水剂与化肥复合应用等的方面。然而,保水剂应用于水土保持、治理水土流失等方面的研究还比较少。施用保水剂的研究区域主要集中在北方干旱、半干旱地区。曹远博等<sup>[14]</sup>认为保水剂与复合肥料施用于黄土坡地能够延缓产流时间,减少地表径流、含沙量和降雨侵蚀量;廖人宽等<sup>[15]</sup>认为聚丙烯酰胺施用板栗种植园中在降低坡面产流方面有一定的作用,在降雨产流初期作用效果不明显,20~30 min以后,聚丙烯酰胺颗粒溶解土壤显著减少坡面径流;李晶晶<sup>[16]</sup>认为聚丙烯酰胺、BJ2101-L保水剂及沃特保水剂这3种高分子材料施用于陕北黄土丘陵山地苹果园中在雨季可显著降低地表径流,降低土壤侵蚀。相比之下,保水剂在南方红壤区施用研究就更少,仅有的研究主要围绕保水剂对红壤持水能力和土壤养分以及农作物生长等方面的影响。姚建武等<sup>[17]</sup>认为旱地赤红壤施用保水剂在土壤水分处于较低的供给水平时,保水剂的保水效果更明显;杜建军等<sup>[18]</sup>认为旱地赤红壤中施入保水剂能减少氮、磷、钾养分的淋溶损失;孙惠娟等<sup>[19]</sup>认为江西丘陵红壤坡地施用保水剂促进花生生长发育,明显提高了花生的产量;刘小三等<sup>[20]</sup>认为在红壤中施用PAM保水剂提高土壤的含水量改善玉米的产量。南方红壤区降水集中,以水力侵蚀为主,主要特点为呈斑点状分布,隐蔽性较强,但潜在危险性较大;林下水土流失严重;新增水土流失加剧<sup>[21]</sup>。保水剂施用于红壤坡面中,利用保水剂保水、保土性能,减少坡面径流和泥沙,提高土壤水分利用效率,从而减少水

土流失。因此,保水剂施用于红壤坡面控制水土流失的研究具有一定现实意义。

本文通过模拟降雨试验,研究保水剂不同施用方式对花岗岩红壤坡面侵蚀产流产沙特征的影响,获取保水剂的最佳施用方式以及为花岗岩红壤坡面应用保水剂控制水土流失和揭示相关机理提供参考,促进我国南方红壤区水土流失治理方式的发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

(1)人工模拟降雨。本试验模拟降雨所用设备是BX-1型便携式野外降雨器,试验设置的降雨高度为6 m,降雨均匀度大于80%,降雨强度的调控范围在20~200 mm/h,符合试验需求。通过率定,确定1.0,1.5 mm/min进行2个降雨强度,每个雨强降雨3场,共进行6场降雨。试验开展时间2016年9月18日至10月3日。

(2)试验土壤。试验土壤来自福建省长汀县河田镇(116°16'—116°30'E,26°35'—26°46'N),该地属于典型的南方红壤丘陵区,长汀县河田镇土壤主要是花岗岩红壤。其土壤类型有典型性和代表性。试验土壤质地为砂质粘壤土,土壤颗粒组成结构为>2.0 mm的颗粒占24.10%,2.0~1.0 mm的颗粒占22.03%,1.0~0.5 mm的颗粒占19.65%,0.5~0.25 mm的颗粒占16.85%,<0.25 mm的颗粒占17.37%。

(3)试验土槽。试验土槽为移动式塑料槽,长30 cm,宽15 cm,深11 cm,坡度设置为15°,参照杜建军等<sup>[18]</sup>和宋海燕等<sup>[22]</sup>的试验结果,保水剂的施用量为土壤干重0.05%混合,试验土壤自然风干后过10 mm筛。填土前,为保证模拟降雨试验时土壤的入渗产流过程与自然坡面相似,试验槽底部钻小孔,在土槽底部填入2 cm细沙,上铺设纱布。采用分层填装的方法,每层厚度为3 cm,边填土、边压实并将表面刮平,使各处填土的厚度和紧实状况一致<sup>[23]</sup>,以确保下垫面土壤条件的变异性达到最小<sup>[24-25]</sup>。土壤的容重通过称重法控制在1.20~1.26 g/cm<sup>3</sup>。

(4)保水剂。保水剂为北京汉力森公司提供白色细粉粒状沃特土壤保水剂,粒径为1 mm,主要成分为聚丙烯酸钠。本研究采用保水剂4种施用方式:

CT, 对照组(未施用保水剂); R1, 层施保水剂; R2, 沟施保水剂; R3, 混合施用保水剂。具体施用方法为: 层施保水剂是指在距上层土壤 5 cm 处将保水剂均匀播撒; 沟施是在土壤中开深 5 cm、宽 4 cm 的小沟, 将保水剂均匀撒在沟内; 混合施用是将土壤与保水剂混合均匀后填充试验槽厚度为 9 cm。

## 1.2 指标选取与分析方法

人工模拟降雨每场降雨量 120 mm, 每 3 min 接 1 个径流泥沙样, 降雨结束后, 将试验样品静置 24 h, 直接用量筒测量径流量体积; 底层的泥沙通过过筛, 并冲入铝盒, 放入 105 °C 的烘箱烘干, 称重获得泥沙量。用烘干法测定土壤含水量, 用环刀法测量土壤入渗率。环刀法测量土壤入渗率可参考文献[26]。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施用方式下花岗岩红壤坡面径流特征

径流是土壤受到侵蚀的外动力<sup>[27]</sup>。当雨强为 1.0 mm/min 时, 对照小区的初始产流时间最早, 为 60 min, R1、R2 产流时间与对照相近, R3 最晚为 63 min。当雨强为 1.5 mm/min 时, 4 个试验小区的初始产流时间相

近。4 个试验小区初始产流时间从大到小为 R3>R2>R1>CT。结果表明土壤中施加保水剂会延缓坡面初始产流时间, 混合施用保水剂表现较为显著。

从图 1 可以看出, 4 个试验小区产流初期径流量都较低, 随着降雨时间的推移, 产流量逐渐波动上升, 在达到峰值之后产流量有所下降至趋于稳定状态。当 1.0 mm/min 雨强条件下施用保水剂的小区产流量基本上小于对照小区, 但保水剂不同施用方式的产流量有差异, 其中混施试验小区产流量明显低于层施和沟施试验小区的产流量。层施和沟施试验小区的产流量相近。1.0 mm/min 雨强条件下以混施对降低坡面径流的效果最为显著。当 1.5 mm/min 雨强条件下, 4 个试验小区初始产流都相对较低, 随着时间推移呈波动上升趋势, 对照小区在 12 min 时产流量最大。施用保水剂的小区产流量显著少于对照小区, 但保水剂不同施用方式的产流量有差异, 其中层施试验小区产流量低于沟施和混施试验小区的产流量。沟施和混施试验小区的产流量相近。1.5 mm/min 雨强条件下以层施对降低坡面径流的效果最为显著。

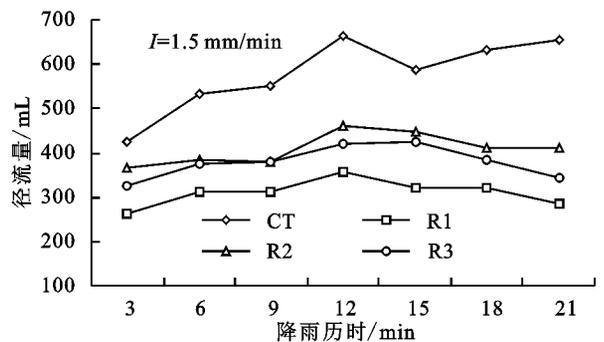
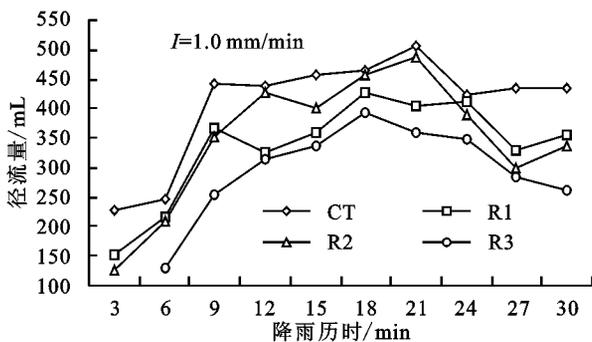


图 1 不同施用方式对试验小区产流的影响

从图 2 可以看出, 雨强越大, 各坡面累积径流量也越大, 相同雨强条件下, 不同施用方式的坡面产生累积径流量也有所不同。当雨强为 1.0 mm/min 时, 4 个小区坡面累积产流量由低到高为 R3<R1<R2<CT。对照坡面的累积产流量最大, R3 坡面相对较低, R3 坡面累积产流量与对照坡面累积产流量相比减少了 34%。R1 坡面累积产流量与对照坡面累积产流量相

比减少了 18%, R2 坡面累积产流量与对照坡面累积产流量相比减少了 15%。当雨强为 1.5 mm/min 时, 4 个小区坡面累积产流量由低到高为 R1<R3<R2<CT。对照坡面产流量远大于其他 3 种施用方式, R1 坡面累积产流量与对照坡面相比, 累积产流量降低 46%。R2 坡面与对照坡面相比累积产流量减少了 29%, R3 坡面较对照坡面减少了 35%。

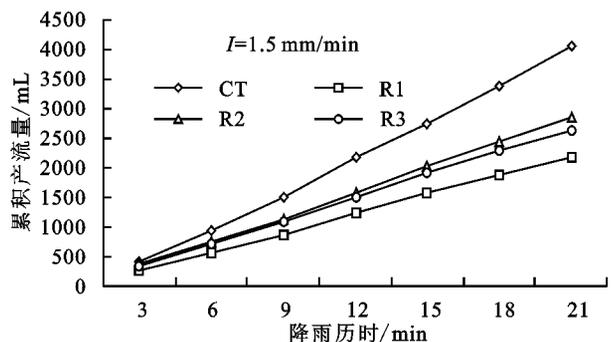
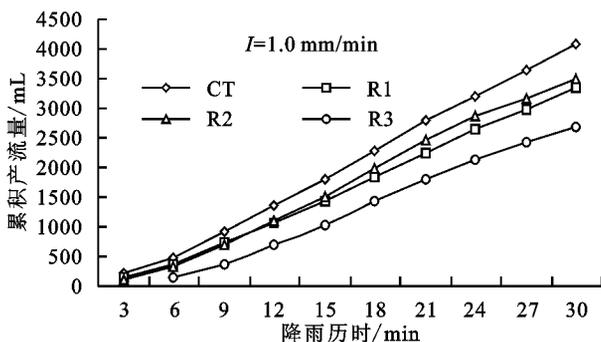


图 2 不同施用方式对试验小区累积产流量

## 2.2 不同施用方式下花岗岩红壤坡面产沙特征

产沙量是坡面侵蚀产沙过程研究的重要指标<sup>[28]</sup>。研究表明,保水剂不同施用方式下的坡面产沙量随时间变化过程(图 3)。从图 3 可以看出,对照坡面产沙量波动最大,产沙量最大,其他 3 种不同施用方式的坡面产沙量前期波动上升,达到峰值之后波动下降趋于稳定。当雨强从 1.0 mm/min 变为 1.5 mm/min,对照坡面产沙量与其他 3 种不同施用方式的坡面产沙量明显增大。对照坡面在两种雨强度下都在 12 min 达到峰值,之后波动下降,最后相对达到一种稳定状态,其他 3 种不同施用方式的坡面产沙量峰值时间各自不同。当 1.0 mm/

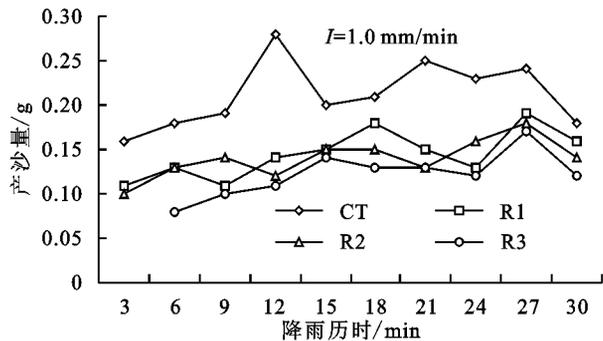


图 3 不同施用方式对试验小区产沙量的影响

图 4 反映降雨条件下坡面累积产沙量的变化过程。在两种不同雨强条件下,累积产沙量随着雨强的增大逐渐增加。当雨强为 1.0 mm/min 时,4 个小区坡面累积产沙量由低到高为 R3<R2<R1<CT,其侵蚀泥沙量分别为 1.10,1.40,1.45,2.12 g。对照坡面的累积产沙量最大,R3 坡面相对较低,R3 的累积产沙量与对照坡面相比减少了 48%。R1 坡面与对照坡面相比累积产沙量减少 32%;R2 与对照坡面相比累积产沙量降低 34%,说明在 1.0 mm/min 雨强

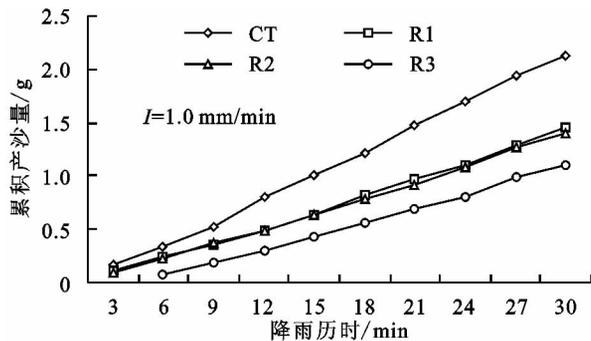


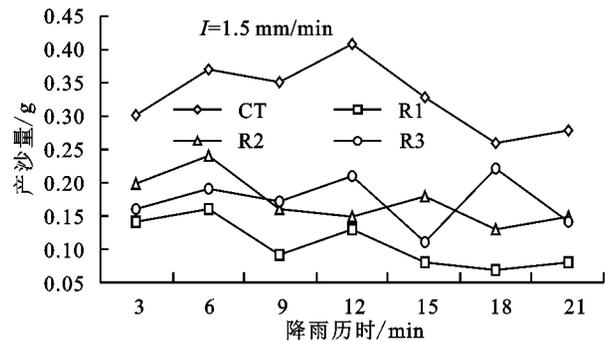
图 4 不同施用方式对试验小区累积产沙量的影响

## 2.3 不同施用方式下坡面入渗率

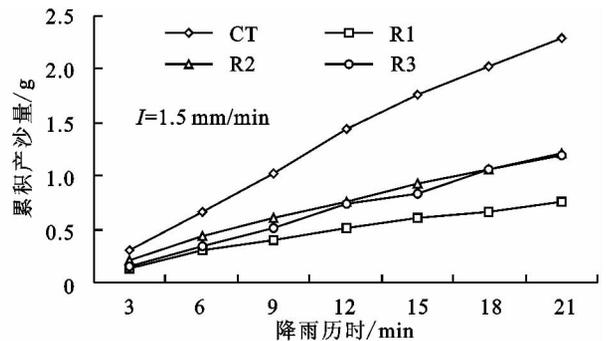
入渗率能反映坡面土壤涵养水源作用和抗侵蚀能力大小,其对坡面侵蚀产沙也有一定的影响。降雨既是土壤水分入渗的物质来源,也是入渗过程的驱动力之一,是土壤水分入渗过程的控制因素<sup>[29]</sup>。

图 5 是雨强分别为 1.0,1.5 mm/min 模拟降雨条件

min 雨强条件下,施用保水剂的小区产沙量基本上小于对照小区,但保水剂不同施用方式的产沙量有差异,其中混施试验小区产沙量低于层施和沟施试验小区的产沙量。层施和沟施试验小区的产沙量相近。1.0 mm/min 雨强条件下以混施对降低坡面产沙的效果最为显著。当 1.5 mm/min 雨强条件下,施用保水剂的小区产沙量显著少于对照小区,但保水剂不同施用方式的产流量有差异,其中层施试验小区产沙量低于沟施和混施试验小区的产沙量。沟施和混施试验小区的产沙量相近。1.5 mm/min 雨强条件下以层施对降低坡面产沙的效果最为显著。



下混施保水剂对坡面产沙量影响更显著。当雨强为 1.5 mm/min 时,4 个小区坡面累积产沙量由低到高为 R1<R3<R2<CT。其侵蚀泥沙量分别为 0.75,1.20,1.21,2.30 g。对照坡面产沙量远大于其他 3 种施用方式,坡面 R1 与对照坡面相比累积产沙量降低 67%,有效的减少坡面产沙,拦蓄了泥沙。R2 坡面与对照坡面相比累积产沙量减少 47%,R3 坡面较对照坡面累积产沙量减少 48%,说明在 1.5 mm/min 雨强下层施保水剂对坡面产沙量影响更显著。

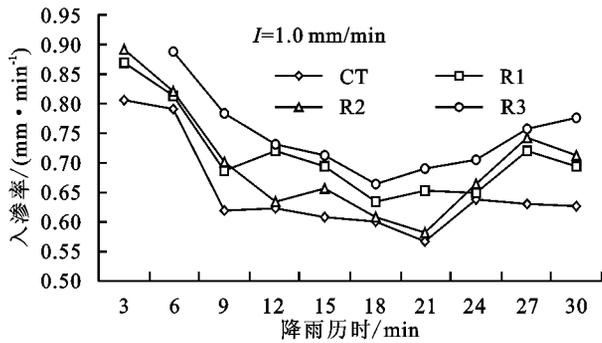


下保水剂不同施用方式红壤坡面入渗率随时间的变化过程曲线,可以得出 4 个坡面入渗率均先随着时间的增加逐渐降低的变化趋势。由图 5 所示,雨强为 1.0 mm/min 时 4 个小区坡面入渗率变化较小,随着降雨量的变化坡面入渗率呈现波动下降趋势。对照坡面与施入保水剂坡面相比,入渗率较低。当雨强为 1.5 mm/min 时,

不同施用方式红壤坡面变化较为明显。添加保水剂坡面的入渗率远大于对照坡面,保水剂发挥效益显著,保水剂 3 种不同施用方式相比,其坡面入渗率变化较小。综合分析,层施保水剂发挥的保水效益更为显著。相同降雨量条件下,坡面初始产流时间不同,产流历时也不同,各时段的入渗率不同。结果表明,红壤坡面施加保水剂对入渗率影响较为明显,坡面施加保水剂后可增加入渗率,减少坡面径流。

## 2.4 不同施用方式下坡面土壤含水量

保水剂不同施用方式对坡面土壤含水量的影响见图 6。保水剂施加红壤中增加了红壤坡面土壤含水量,不同的施用方式对土壤含水量的影响不同。当



雨强为 1.0 mm/min 时,层施、沟施、混施土壤含水量分别为 34%,31%,33%,显著高于 ( $P < 0.05$ ) 对照 (23%),不同施用方式间无显著差异。当雨强 1.5 mm/min 时,层施、沟施、混施土壤含水量分别为 33%,32%,36%,显著高于 ( $P < 0.05$ ) 对照 (25%),不同施用方式间无显著差异。对照坡面在不同雨强下,坡面土壤含水量变化较小,R1、R2、R3 坡面有保水剂发挥保水作用,含水量显著增加,在不同雨强影响下土壤含水量增加程度不同,雨强越大土壤含水量增加效果越明显。试验结果得出,保水剂不同施用方式对红壤坡面土壤含水量影响不同,混合施用保水剂土壤含水量增加更显著。

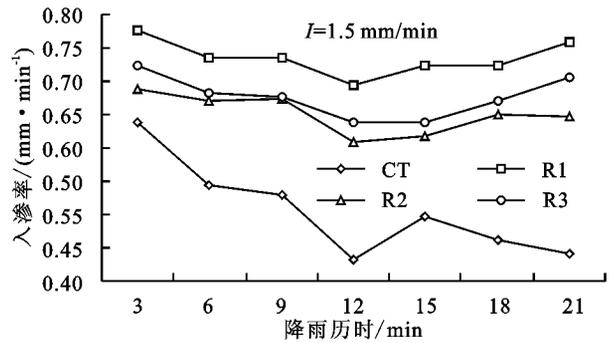


图 5 不同施用方式对试验小区入渗率的影响

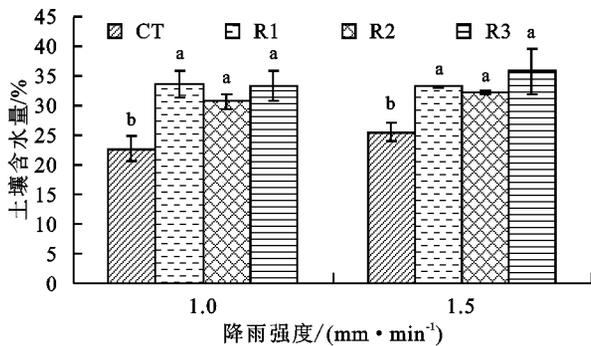


图 6 保水剂不同施用方式对土壤含水量的影响

## 2.5 坡面径流量、泥沙量的相关分析

本研究将保水剂不同施用方式下坡面累积径流量和累积泥沙量进行函数拟合,发现累积径流量与累积泥沙量的关系满足幂函数  $Y=AX^B$  ( $Y$  为累积泥沙量; $X$  为累积径流量),相关系数都在 0.99 以上(表 1),这与于国强等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。说明无论在何种雨强条件下,保水剂不同施用方式对累积径流量和累积泥沙量的影响均为显著。由幂函数  $Y=AX^B$  可以得出,累积径流量越大,累积泥沙量越大。当雨强为 1.0 mm/min 时,保水剂不同施用方式下坡面累积径流量和累积泥沙量拟合的幂函数的大小由高到低为  $CT > R1 > R2 > R3$ 。当雨强为 1.5 mm/min 时,保水剂不同施用方式下坡面累积径流量和累积泥沙量拟合的幂函数的大小由高到低为  $CT > R3 > R2 > R1$ 。

表 1 保水剂不同施用方式下花岗岩坡面累积径流量和累积泥沙量模型

雨强/ (mm·min <sup>-1</sup> )	处理方式	拟合方程	相关系数
1.0	CT	$Y=0.0013X^{0.8843}$	0.9973
	R1	$Y=0.0017X^{0.8206}$	0.9946
	R2	$Y=0.0025X^{0.7624}$	0.9945
	R3	$Y=0.0011X^{0.8619}$	0.9946
1.5	CT	$Y=0.0013X^{0.9076}$	0.9973
	R1	$Y=0.0020X^{0.7757}$	0.9923
	R2	$Y=0.0015X^{0.8477}$	0.9911
	R3	$Y=0.0007X^{0.9471}$	0.9978

注: $X$  为累积径流量; $Y$  为累积泥沙量。

## 3 结论

(1)花岗岩红壤坡面施加保水剂后可降低坡面产流、产沙量,延缓产流时间。当雨强为 1.0 mm/min 时,保水剂与土壤混合施用对降低坡面径流以及产沙量的影响更为显著;雨强为 1.5 mm/min 时层施保水剂对降低坡面径流以及产沙量作用更显著;保水剂施入红壤中通过自身吸水保土作用,推迟了产流时间,与对照坡面相比减少坡面产流量和产沙量。

(2)保水剂不同施用方式的水土保持效果不同。保水剂 3 种施用方式中混施对红壤坡面蓄水拦沙所发挥的效益较好。保水剂施入土壤中遇水吸收水分逐渐膨胀,同时也为土壤提供了保护膜的作用,降低雨水对土壤泥沙的溅蚀,保护土壤表层土壤;另一方

面保水剂的黏结作用,将微团聚体吸附于保水剂表层,黏结成团聚体,减少泥沙量。混合施用保水剂方式,使每一粒保水剂周边被土壤包围,增加吸附土壤颗粒数量。因此,混施所发挥的水土保持效果较好。

(3)保水剂不同施用方式下花岗岩红壤坡面积产流、产沙量之间相关性显著,保水剂不同施用方式下坡面积径流量和累积泥沙量之间构成幂函数模型。

#### 参考文献:

- [1] 许海超,李子君,林锦阔,等.燕山土石山区降雨和下垫面条件对坡面侵蚀产沙的影响[J].山地学报,2016,34(1):46-53.
- [2] 李锐.中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究[J].水土保持通报,2011,31(5):1-6.
- [3] 李云开,杨培岭,刘洪禄.保水剂农业应用及其效应研究进展[J].农业工程学报,2002,18(2):182-187.
- [4] Caesar T C, Busscher W J, Novak J M, et al. Effects of polyacrylamide and organic matter on microbes associated to soil aggregation of Norfolk loamy sand[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 40(2): 240-249.
- [5] 黄占斌,张国栋,李秧秧,等.保水剂特性测定及其在农业中的应用[J].农业工程学报,2002,18(1):22-26.
- [6] 黄占斌,朱书全,张铃春,等.保水剂在农业改土节水中的效益研究[J].水土保持研究,2004,11(3):57-60.
- [7] 李景生,黄韵珠.土壤保水剂的吸水保水性能研究动态[J].中国沙漠,1996,16(1):86-91.
- [8] 黄伟,张俊花,朱贵鹏,等.保水剂不同施用方式对马铃薯生长和产量的影响[J].生态学杂志,2015,34(1):1-8.
- [9] 侯贤清,李荣,何文寿,等.保水剂施用量对旱作土壤理化性质及马铃薯生长的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):325-330.
- [10] 李倩,巴图,刘景辉,等.保水剂施用方式对土壤酶活性及马铃薯产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(5):116-122.
- [11] 岑睿,屈忠义,于健,等.保水剂对半干旱区砂壤土水分运动的影响试验研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(2):122-127.
- [12] 杜社妮,耿桂俊,白岗栓,等.保水剂施用方式对土壤水分及向日葵生长的影响[J].水土保持学报,2011,25(4):139-143.
- [13] 马海林,刘方春,马丙尧,等.保水剂对侧柏容器苗根际土壤微生物种群结构及干旱适应能力的影响[J].应用与环境生物学报,2016,22(1):43-48.
- [14] 曹远博,王百田,魏婷婷,等.2种保水剂的特性及其应用研究[J].水土保持学报,2014,28(4):283-288.
- [15] 廖人宽,杨培岭,任树梅,等.PAM和SAP防治库区坡地肥料污染试验[J].农业机械学报,2013,44(7):103-120.
- [16] 李晶晶.高分子材料对山地苹果园水土保持效益的影响[D].北京:中国科学院大学,2013.
- [17] 姚建武,王艳红,唐明灯,等.施用保水剂对旱地赤红壤持水能力及氮肥淋失的影响[J].水土保持学报,2010,24(5):191-194.
- [18] 杜建军,苟春林,崔英德,等.保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(4):1296-1301.
- [19] 孙惠娟,徐小林,余喜初,等.红壤旱地施用保水剂和稻草覆盖对花生生长和产量的效应[J].江西农业学报,2011,23(4):83-85.
- [20] 刘小三,叶川,肖国滨,等.聚丙烯酰胺型保水剂对土壤水分及秋糯玉米生长的效应[J].中国农学通报,2012,28(30):22-27.
- [21] 梁音,张斌,潘贤章,等.南方红壤丘陵区水土流失现状与综合治理对策[J].中国水土保持科学,2008,6(1):22-27.
- [22] 宋海燕,汪有科,汪星,等.保水剂用量对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):33-36.
- [23] 刘家明,查轩,黄少燕.天然降雨下紫色土和第四纪红黏土坡面侵蚀过程研究[J].水土保持研究,2014,21(6):16-19.
- [24] 魏小燕,毕华兴,霍云梅.不同土壤坡面产流产沙特征对比分析[J].水土保持学报,2016,30(4):44-48.
- [25] 张会茹,郑粉莉.不同降雨强度下地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响[J].水土保持学报,2011,25(3):40-43.
- [26] 刘目兴,聂艳,于婧.不同初始含水率下粘质土壤的人渗过程[J].生态学报,2012,32(3):871-878.
- [27] 文江苏.模拟降雨条件下不同土壤容重对土壤侵蚀的影响试验研究[D].南昌:江西农业大学,2012.
- [28] 王志杰.延河流域植被与侵蚀产沙特征研究[D].北京:中国科学院大学,2014.
- [29] 郝春红,潘英华,陈曦,等.坡度、雨强对壤土入渗特征的影响研究[J].土壤通报,2011,42(5):1040-1044.
- [30] 于国强,李占斌,李鹏,等.不同植被类型的坡面径流侵蚀产沙试验研究[J].水科学进展,2010,21(5):593-599.