

\*\*\*\*\*  
\* 试 验 研 究 \*  
\*\*\*\*\*

# 模拟降雨条件下崩积体坡面产流产沙特征及其响应关系

朱高立<sup>1,2</sup>, 肖泽干<sup>2</sup>, 刘晓静<sup>2</sup>, 黄炎和<sup>1</sup>, 邹伟<sup>2</sup>, 林金石<sup>1</sup>, 蒋芳市<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学 资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** [目的] 研究崩积体坡面产流产沙特征及其响应关系, 为崩岗治理提供理论基础与科学依据。[方法] 通过室内模拟降雨试验, 探讨不同覆盖度(0%, 25%, 50%, 75%, 100%)和坡度(25°, 30°, 35°)组合坡面在 90 mm/h 雨强条件下的产流产沙时空特征及其响应关系。[结果] 不同覆盖度和坡度条件下, 坡面产流时间的变化范围在 33~292 s; 同一坡度条件下, 坡面产流时间与覆盖度呈线性正相关关系; 同一覆盖度条件下, 坡面产流时间与坡度呈幂函数关系。通过双因素方差分析可知, 坡度对径流量的影响达到极显著水平, 覆盖度对产沙量的影响达到显著水平。当坡度为 25°时, 坡面产沙总量的临界覆盖度为 50%; 当坡度为 30°时, 坡面产沙总量的临界覆盖度为 75%; 当坡度为 35°时, 坡面径流量的临界覆盖度为 50%。[结论] 针对不同坡度崩积体坡面, 可以选择合适的秸秆覆盖度以达到较好的水土保持效果。

**关键词:** 崩积体; 人工模拟降雨; 秸秆覆盖; 侵蚀

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)06-0001-07

**中图分类号:** S157.1, S157.2

**文献参数:** 朱高立, 肖泽干, 刘晓静, 等. 模拟降雨条件下崩积体坡面产流产沙特征及其响应关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6):001-007. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.001

## Processes and Responses of Runoff and Sediment Yield on Colluvial Deposits Under Simulated Rainfall

ZHU Gaoli<sup>1,2</sup>, XIAO Zegan<sup>2</sup>, LIU Xiaojing<sup>2</sup>, HUANG Yanhe<sup>1</sup>, ZOU Wei<sup>2</sup>, LIN Jinshi<sup>1</sup>, JIANG Fangshi<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** [Objective] The erosion mechanism of colluvial deposits was researched to provide a theoretical basis and scientific evidence for the treatment of collapsing hills. [Methods] An indoor rainfall simulation experiment on slopes of colluvial deposits under 90 mm/h rainfall, and with the treatments of coverages (0, 25%, 50%, 75%, 100%) and slopes (25°, 30°, 35°) was carried out. Runoff and sediment were measured. [Results] The initiating time of runoff under different conditions changed from 33 to 292 s. Under the same slope gradient, there was a linear positive correlation between the initiating time of runoff and the straw coverage, and the initiating time of runoff had a power function with slope as independent variable. Through two-way variance analysis, the influence of slope on runoff was very significant and the influence of coverage on sediment yield was significant. The critical straw coverage of sediment yield was 50% under 25°, the critical straw coverage of sediment yield was 75% under 30°, the critical straw coverage of runoff was 50% under 35°. [Conclusion] For different slope gradients of colluvial deposits, we can choose optimal coverage of straw to reduce sediment yield and runoff effectively.

**Keywords:** colluvial deposits; artificial simulation rainfall; straw mulch; erosion

降雨引起的坡面侵蚀是一个全球性的环境问题<sup>[1-3]</sup>, 这在中国南方崩岗区表现较为突出。中国的

崩岗主要集中在长江以南的热带、亚热带赤红壤、红壤丘陵区<sup>[4]</sup>。作为一个复杂的系统, 崩岗主要由崩

收稿日期: 2016-05-11

修回日期: 2016-05-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“花岗岩崩岗土体胶结物质与抗剪强度的关系”(41571272), “组合指纹法分析花岗岩崩岗侵蚀产沙运移规律研究”(41001169); 国家科技支撑计划项目(2014BAD15B0303)

第一作者: 朱高立(1989—), 男(汉族), 江苏省徐州市人, 博士研究生, 研究方向为土地经济与管理。E-mail: zhugaoli1989@126.com。

通讯作者: 黄炎和(1962—), 男(汉族), 广东省饶平县人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与治理研究。E-mail: yanhehuang@163.com。

壁、崩积体和洪积扇 3 部分组成<sup>[5]</sup>,其中,崩积体是崩岗的重要组成部分,也是崩岗泥沙的主要来源<sup>[6]</sup>,崩积体侵蚀产生的泥沙会淤埋农田、抬高河床,导致洪水泛滥,给人民的生命财产带来巨大威胁<sup>[7]</sup>。因此,有必要对崩积体坡面的产流产沙特征及其响应关系进行研究,这不仅可以帮助我们深入了解崩岗侵蚀的机理,也可以为崩岗灾害的治理提供理论基础与科学依据。现阶段,不少学者对土壤坡面侵蚀的影响因素<sup>[8-10]</sup>、产流时间<sup>[11]</sup>、侵蚀过程<sup>[12]</sup>、侵蚀泥沙颗粒特征<sup>[13-14]</sup>、动力学特征<sup>[15-16]</sup>及治理措施<sup>[17-18]</sup>等方面进行了研究。这些研究从不同角度对坡面的侵蚀状况进行了分析,但研究对象各有差异,其中,以崩岗崩积体为对象,对其侵蚀机理与防治措施进行研究的文章还相对较少。因此,本研究通过室内降雨试验,对不同坡度和覆盖度条件下的崩积体坡面产流产沙过程进行了研究,试图揭示崩积土体的侵蚀变化规律及其响应关系,为崩岗崩积体的治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

采样地位于福建省安溪县龙门镇洋坑村(118°03'E,24°57'N)。洋坑村为河谷小盆地,丘陵地带,属亚热带气候,气候温和,年平均温度 18℃,年活动积温 5 633~7 238℃。该地雨量充沛,年平均降雨量 1 800 mm,全年无霜期 293~340 d,全年总日照时数 2 030 h。研究区土体属酸性花岗岩类,土壤的理化性质如下:土壤 pH 值为 5.2;土壤有机质含量为 1.70 g/kg;砂粒含量高,黏粒含量低;在各粒级颗粒重量比方面,砾石:粗砂:细砂:粗粉:细粉:黏粒=19.78:46.06:8.61:8.18:14.55:2.81,土壤质地疏松,结构性差。

### 1.2 试验模型装置

模拟降雨装置采用西安清远测控技术有限公司生产的 QYJY-501 型模拟降雨控制器,降雨高度 12 m,雨滴降落到地表的终速可达到自然降雨终速的 95%以上;模拟降雨器降雨面积 3 m×6 m,雨强变化范围在 15~200 mm/h,降雨均匀度大于 0.85。试验土槽为固定式可变坡钢槽,坡度调节范围为 0~40°,土槽长、宽、高依次为 5,2,1 m,土槽按 1 m 宽间隔平分分成 2 个槽。

### 1.3 试验设计

通过野外调查可知,安溪县崩岗崩积体坡度主要集中在 25°~35°,因此试验坡度设置为 25°,30°,35°。通过分析安溪县常年降雨数据,根据当地降雨强度特征,将试验雨强设定为 90 mm/h。坡面采用 5 种处理,均匀覆盖秸秆,秸秆覆盖量为 0,1 500,3 000,

4 500,6 000 kg/hm<sup>2</sup>,折合覆盖度约为 0.25%,50%,75%,100%。每次降雨时间为 1 h,2 次降雨间隔为 48 h,试验重复 2 次。

### 1.4 试验过程

试验用土风干后过 10 mm 筛以清除土样中的植物根系、石块、塑料等杂物。填土前,先在土槽底部填入 60 cm 厚沙石,上铺设棉纱布,以保证试验土层的透水状况接近供试土壤,使试验过程中土壤水分能自由下渗,之后采用分层填土、每层土厚 10 cm 的方式向土槽中填入 30 cm 厚的土样并压实,土壤容重控制在 1.25~1.40 g/cm<sup>3</sup>,与野外崩积体的容重相似。降雨试验前用 30 mm/h 的降雨使供试土壤达到水分饱和但不产流,然后用塑料布覆盖坡面,使水分充分运动渗透,放置 18 h 后开始试验。试验过程中,坡面产流开始后记录产流时间,每隔 2 min 收集 1 次径流和泥沙。用量筒测定径流样体积,用烘干法(105℃)测定泥沙量。

### 1.5 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 和 SPSS 18.0 软件进行数据分析。通过 Excel 进行数据处理、相关性分析和绘图等。利用 SPSS 18.0 进行逐步回归分析和方差分析。

## 2 结果分析

### 2.1 坡面产流特征

2.1.1 坡面产流时间的变化特征 图 1 表示不同覆盖度和坡度条件下初始产流时间的变化值。由图可知,坡面初始产流时间的变化范围在 33~292 s。同一坡度条件下,坡面初始产流时间随覆盖度的增加而延长。具体看,25°坡度下,100%覆盖度坡面的产流时间比 0.25%,50%,75%覆盖度坡面分别延长 252,161,57,51 s;30°坡度下,100%覆盖度坡面的产流时间比 0.25%,50%,75%覆盖度坡面分别延长 156,129,25,14 s;35°坡度下,100%覆盖度坡面的产流时间比 0.25%,50%,75%覆盖度坡面分别延长 119,119,26,21 s。同一覆盖度条件下,坡面初始产流时间随坡度的增加而降低,具体看,覆盖度为 0 时,35°坡面的产流时间比 25°和 30°坡面分别缩短 7 和 1 s;覆盖度为 25%时,35°坡面的产流时间比 25°和 30°坡面分别缩短 98 和 28 s;覆盖度为 50%时,35°坡面的产流时间比 25°和 30°坡面分别缩短 109 和 39 s;覆盖度为 75%时,35°坡面的产流时间比 25°和 30°坡面分别缩短 110 和 45 s;覆盖度为 100%时,35°坡面的产流时间比 25°和 30°坡面分别缩短 140 和 38 s,可以发现,初始产流时间随覆盖度的增加呈幂函数降低趋势。梁洪儒等<sup>[19]</sup>对砾石覆盖下的北京山区褐土坡

面产流产沙特征的研究发现,坡面产流时间随砾石覆盖度的增大而延迟,与本试验的研究结果相吻合。由图1还可以看出,当坡面无覆盖时,不同坡度条件下的坡面产流时间维持在较低水平,相互之间差别不大,这说明裸露坡面的产流速度较快,且坡面产流时间受坡度变化的影响较小。当坡面覆盖秸秆时,不同条件下的坡面产流时间较裸露坡面均有较大幅度的延长。具体看,当覆盖度为25%时,25°,30°,35°坡面的产流时间较无覆盖坡面延长91,27,0 s;当覆盖度为50%时,25°,30°,35°坡面的产流时间较无覆盖坡面延长195,131,93 s;当覆盖度为75%时,25°,30°,35°坡面的产流时间较无覆盖坡面延长201,141,98 s;当覆盖度为100%时,25°,30°,35°坡面的产流时间较无覆盖坡面延长252,156,119 s,这说明秸秆覆盖对延迟坡面产流具有较好的效果,主要原因一方面是因为秸秆可以拦蓄坡面径流,另外一方面是因为秸秆可以降低降雨对地表的击溅力,阻止坡面细沟侵蚀与发育,保持地表形态,从而起到延缓产流时间的效果。同一覆盖度条件下,坡面产流时间随坡度的增加呈幂函数降低,主要原因是较低的坡度造成坡面径流受地表粗糙度的影响较大,造成了坡面产流时间的延长。

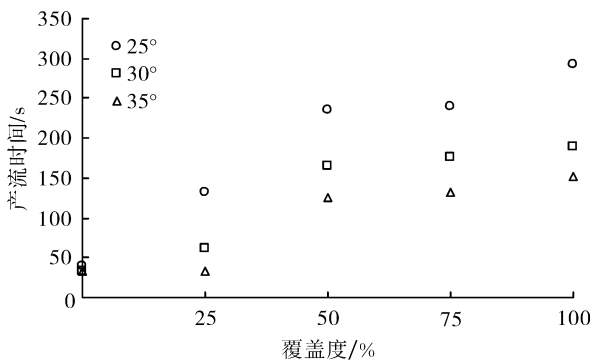


图1 不同覆盖度和坡度条件下初始产流时间

关于坡面产流时间与覆盖度的函数关系,不少学者做过相关研究。刘战东<sup>[20]</sup>选取冬小麦作为研究对象,分析了不同覆盖方式对降雨过程的影响,结果表明产流时间随LAI(叶面积指数)的减少而提前,两者呈显著线性函数关系( $p < 0.01$ )。本研究采用回归方法定量分析了坡面产流时间( $T$ )与秸秆覆盖度( $C$ )的关系(表1)。由表1可知,坡面产流时间与秸秆覆盖度呈线性正相关关系,这表明坡面产流时间随覆盖度的增加而延长,覆盖度越高,其对坡面产流时间的延缓作用越明显。主要原因有二:一是秸秆通过阻截和拦蓄径流从而降低径流速度,延迟坡面产流时间;二是秸秆覆盖通过保护坡面土体使得土体孔隙度不受破坏,降雨可以有序下渗,从而缩短产流时间。张翼夫等<sup>[21]</sup>研究表明,自然降雨过程中(雨强为

10~80 mm/h),15%,30%,60%和90%秸秆覆盖坡面较无覆盖坡面分别推迟产流时间1.0~15.4 min,2.1~22.1 min,3.4~48.2 min,5.9~73.6 min。钱婧<sup>[22]</sup>通过分析坡长和植被覆盖度对初始产流时间的影响时发现,影响初始产流时间最大的因素是植被覆盖度,植被的介入可削弱坡长对初始产流时间的影响,这与本研究结论相似。

表1 坡面产流时间( $T$ )与秸秆覆盖度( $C$ )的相关性分析

坡度/(°)	经验方程	相关系数
25°	$T=2.456C+65$	$R_2=0.9198$
30°	$T=1.708C+39.8$	$R_2=0.8765$
35°	$T=1.344C+27.8$	$R_2=0.8557$

2.1.2 坡面产流过程特征 图2为不同覆盖度和坡度条件下径流量随降雨时间的变化过程。由图2可以发现,同一坡度条件下,25°坡面的径流量在降雨开始后的7 min内迅速增加,之后趋于稳定;30°坡面的径流量在降雨开始后的12 min内快速增加,之后趋于稳定;35°坡面的径流量在降雨开始后逐渐增加,直到21 min后径流量才趋于稳定。可以发现,坡面径流量增加幅度大小依次为:25°>30°>35°,主要原因为:(1)较低坡面拥有较大的有效降雨面积,坡面接收到的降雨量较多,较多的降雨量意味着较大的径流量;(2)较小的坡度使得降雨与坡面土体充分接触,土体所受到的击溅作用强烈,这导致坡面细沟的形成和发育,细沟汇集坡面径流,沟内径流速度增快,最终使得坡面径流量在短时间内达到稳定。同一覆盖度条件下,不同坡度坡面的径流量大小依次为:25°>30°>35°,可以发现,较低坡度的坡面径流量较高,原因可参照之前的解释,主要从有效降雨面积的增加及降雨与坡面充分接触导致细沟发育两方面分析。由图2还可以看出,同一坡度条件下,不同覆盖度坡面径流量变化幅度30°大于25°和35°坡面,主要原因一方面是相比较25°坡面,30°坡面的坡面流流速较大,较大的坡面流流速具有较大的动能,使得坡面受到侵蚀从而产生细沟,细沟在侵蚀发育的过程中伴随着沟壁土体的滑落与堆积,最终导致细沟内径流量出现较大的起伏;另一方面,较大的坡度使得坡面土体的稳定性下降,坡面容易发生崩塌,崩塌的土体阻塞沟道,上方径流被阻滞,经过一段时间的径流侵蚀后,崩塌的土体被搬运,沟道再次变得畅通,大量被阻滞的径流迅速下泄,坡面产流量快速增加,如此反复。相比较35°坡面,30°坡面的有效降雨面积较大,加上较低坡度导致的降雨与坡面土体的充分接触,坡面细沟侵蚀逐渐发育,最终使得坡面径流量出现较大的起伏变化。

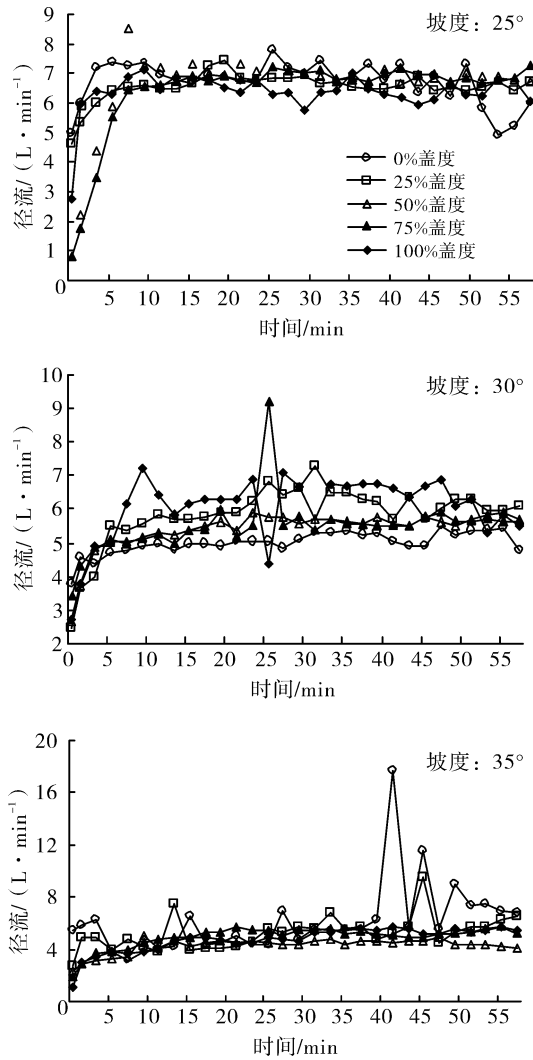


图 2 不同覆盖度和坡度条件下径流量随时间变化

## 2.2 不同覆盖度和坡度对径流量的影响

图 3 表示不同覆盖度和坡度条件下的坡面径流总量。由图 3 可以看出,当坡面无覆盖时,坡面径流总量大小依次为:25°>35°>30°,主要原因一方面可能是 25°坡面的有效降雨面积较大,较大的降雨面积意味着接收到的降雨量较多,坡面径流量较大;另一方面,低坡度条件下,雨滴打击使得坡面结皮厚度和硬度发育更加完全,坡面更容易产生径流。35°坡面的径流量大于 30°坡面,原因是虽然 35°坡面的有效降雨面积较小,但较大的坡度可以加快坡面径流速度,降低坡面流下渗能力,坡面多出的水转化为地表径流,此时流速增加引起的径流量增大可以抵消有效

降雨量的减小,使得 35°坡面径流量大于 30°坡面。郑斯坤<sup>[23]</sup>认为随着坡度的增大,径流量也不断增大,与本研究结果吻合。当坡面覆盖秸秆时,坡面径流总量依次为:25°>30°>35°,主要原因是较低的坡度拥有较大的有效降雨面积,坡面接受到的降雨量较多。由图 3 可以看出,25°和 30°条件下,不同覆盖度条件下的坡面径流总量变化不大,说明在此坡度下,坡面覆盖度对径流量的影响不大。35°条件下,坡面径流量随覆盖度的增加呈先降低后增加趋势,说明在此坡度下存在一个临界值,临界值表示的是由一种状态或物理量转变为另一种状态或物理量。在这个覆盖度之前,坡面径流量随覆盖度的增加而下降,在这个覆盖度之后,由于坡面承受的压力超过了自身的负荷,导致坡面不稳定性加大,进而引起崩塌、滑坡等现象,使得坡面侵蚀加剧,侵蚀沟快速发育,最终导致坡面径流总量随覆盖度的增加而上升。本研究的临界覆盖度为 50%,说明当坡面覆盖度为 50%时,其减少坡面径流的效果最明显。朱高立等<sup>[24]</sup>通过研究 120 mm/h 雨强条件下不同秸秆覆盖度和坡度组合坡面的侵蚀情况后,也得出了相同的结论。

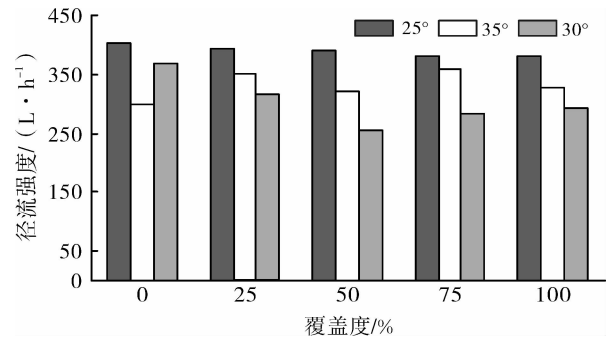


图 3 不同覆盖度和坡度条件下径流量变化

通过双因素方差分析可以发现,坡度对径流量的影响达到极显著水平,而覆盖度对径流量的影响不显著(表 2)。肖培青等<sup>[25]</sup>定量研究了 90 mm/h 雨强、20°坡度条件下不同覆盖度(80%, 60%, 40%, 20%)苜蓿草地的产流产沙规律,发现不同草被覆盖条件下草地累积径流量随着草地覆盖度的减小而增大,该结论与本试验的结果不同,可能的原因一是坡度条件的不同,二是本试验的覆盖物相比较原生植被,与坡面土体的结合度较低。

表 2 坡度和覆盖度对径流量影响的方差分析结果

差异源	离均差平方和	自由度	均方差	F	P
坡度	19 469.045	2	9 734.522	10.495**	0.006
覆盖度	2 259.475	4	564.869	0.609	0.668
误差	7 420.056	8	927.507		
总计	1 775 046.702	15			

注:\*\*表示达到极显著水平( $p < 0.01$ )。

### 2.3 坡面产沙过程特征

不同覆盖度和坡度条件下崩积体坡面侵蚀产沙量变化曲线如图 4 所示。

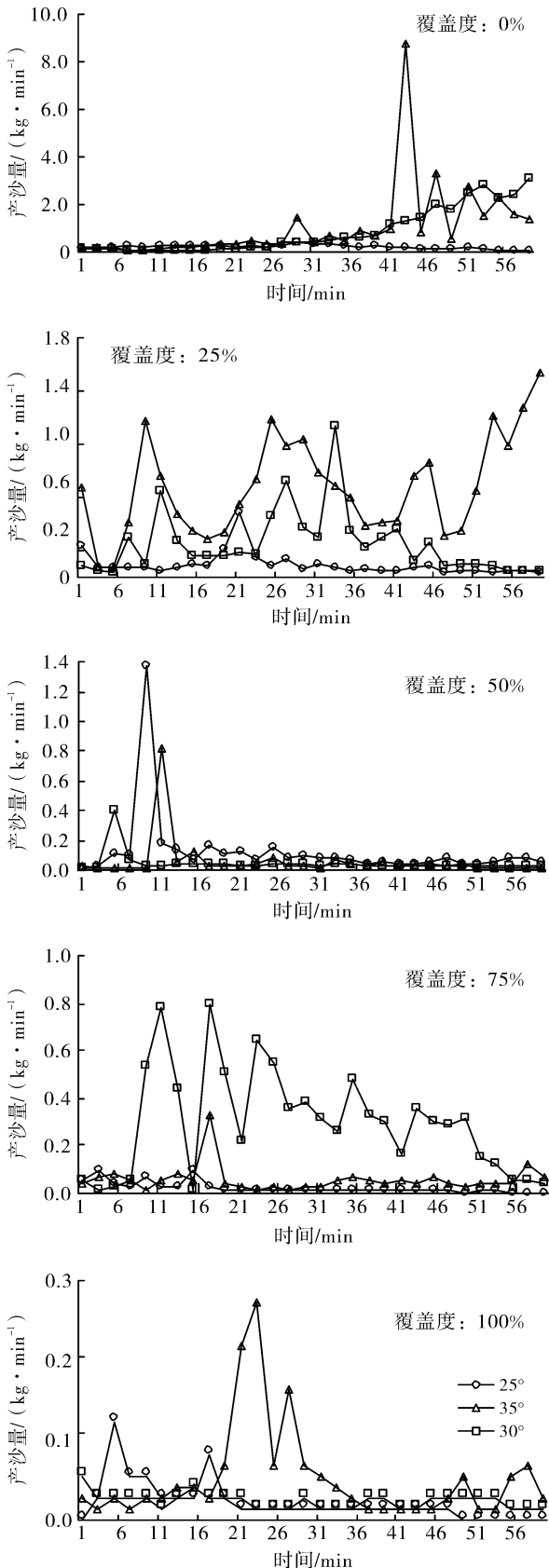


图 4 不同覆盖度和坡度条件下坡面产沙量随时间变化特征

由图 4 可以看出,当坡面无覆盖时,不同坡度坡面的产沙量在降雨前期和中期维持在低水平,在降雨后期迅速增加达到高水平,且变化幅度  $35^\circ > 30^\circ > 25^\circ$ ,主要原因是长时间的降雨使得坡面土体结构松软,稳定性变差,加上土体水分饱和和导致的降雨下渗量较低,坡面径流量增加,最终引起坡面细沟侵蚀与面蚀的发生与发育,导致坡面产沙量在降雨后期大幅度增加。当坡面覆盖度为 25% 时,不同坡度条件下的坡面产沙量在整个降雨过程中起伏变化明显,且都处于较高水平,此时,坡面产沙量大小依次为:  $35^\circ > 30^\circ > 25^\circ$ ,主要原因是在覆盖度较小的情况下,坡面土体无法被完全覆盖,相当面积的土体直接受到降雨的打击,此时,坡面细沟开始发育,细沟在发育的过程中会出现边缘侵蚀与沟内堆积的现象,从而导致坡面产沙量较高,产沙量变化幅度较大。当坡面覆盖度为 50% 时,坡面产沙量在降雨前期出现较小程度的增加,之后迅速降低并保持稳定,主要原因一方面是因为坡面受覆盖物的保护,秸秆覆盖可以减轻降雨对坡面的冲击与侵蚀,使得雨滴的动能大大降低,加上秸秆有拦蓄径流的作用,所以坡面产沙量较低;另一方面是因为坡面径流量的临界覆盖度为 50%,在该覆盖度下坡面径流量较少,较小的径流量缺乏足够的动能搬运大规模的泥沙,所以此时坡面产沙量较低。当坡面覆盖度为 75% 时,  $25^\circ$  和  $35^\circ$  坡面的产沙量在降雨过程中始终处于低水平,  $30^\circ$  坡面的产沙量在降雨过程中处于较高值,主要原因是  $25^\circ$  条件下,较高覆盖度秸秆吸收了大量降水,自身重力势能增加,加上坡度较低,所以坡面稳定性较高,坡面土体不易受到侵蚀或发生崩塌,  $35^\circ$  坡度条件下,坡度较高,降雨无法与坡面充分接触作用,侵蚀交轻,产沙量较低。  $30^\circ$  坡面适中的坡度加上降雨与坡面的充分接触作用使得坡面产沙量处于较高水平。当坡面覆盖度达到 100% 时,不同坡度坡面的产沙量处于极低值,说明该覆盖度对坡面产沙量的减少效果最明显。

### 2.4 不同覆盖度和坡度对产沙量的影响

图 5 表示不同覆盖度和坡度条件下的坡面产沙总量。

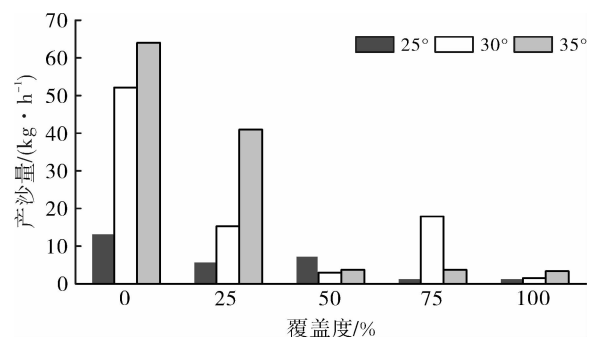


图 5 不同覆盖度和坡度条件下产沙量变化

由图 5 可以看出,当坡度为 25°时,坡面产沙总量随覆盖度的增加呈减小—增加—减小的变化趋势,说明在此坡度下存在一个临界覆盖度,在这个覆盖度之前,坡面产沙量随覆盖度的增加先降低后提高,在这个覆盖度之后,坡面径流总量随着覆盖度的增加而降低,本研究的临界覆盖度为 50%。当坡度为 30°时,坡面产沙总量随着覆盖度的增加呈减小—增加—减小的变化趋势,说明在此坡度下同样存在一个临界覆盖度,该临界覆盖度为 75%。当坡度为 35°时,坡面产沙总量随着覆盖度的增加呈下降趋势,说明在此坡

度下,秸秆覆盖度的增加能够明显降低坡面产沙总量,主要原因是坡面覆盖秸秆一方面可以有效降低雨滴动能,减小雨水对坡面的击溅;另一方面可以拦蓄坡面泥沙,有效降低坡面产沙量。

将数据进行双因素方差分析可以发现,覆盖度对坡面产沙量的影响达到显著水平,坡度与产沙量无显著相关(表 3)。陈冬素<sup>[26]</sup>认为随着植被覆盖度的增加,坡面累积含沙量减少较快,植被覆盖度是影响产沙量的重要因素。

表 3 坡度和覆盖度对产沙量影响的方差分析结果

差异源	离均差平方和	自由度	均方差	F	p
坡度	775.768	2	387.884	2.112	0.183
覆盖度	3461.200	4	865.300	4.712*	0.030
误差	1469.231	8	183.654		
总计	9326.537	15			

注:\*\*表示达到极显著水平( $p < 0.01$ );\*表示达到显著水平( $p < 0.05$ )。

### 3 结论

(1) 不同覆盖度和坡度条件下,坡面初始产流时间的变化范围在 33~292 s;同一坡度条件下,坡面初始产流时间随着覆盖度的增加而延长;同一覆盖度条件下,坡面初始产流时间随着坡度的增加呈幂函数降低趋势;通过回归方法定量分析坡面产流时间与秸秆覆盖度的关系发现,坡面产流时间与秸秆覆盖度呈线性正相关关系。

(2) 当坡度为 25°时,坡面产沙总量存在临界覆盖度,值为 50%;当坡度为 30°时,坡面产沙总量存在临界覆盖度,值为 75%;当坡度为 35°时,坡面径流量存在临界覆盖度,值为 50%。

(3) 通过双因素方差分析可以发现,坡度对径流量的影响达到极显著水平,而覆盖度对径流量的影响不显著;覆盖度对坡面产沙量的影响达到显著水平,坡度与产沙量无显著相关关系。

(4) 本研究仅分析了不同条件下的坡面产流产沙过程,对于影响坡面径流的各种参数以及产出泥沙的颗粒特征还未有全面深入的探讨,今后的研究将会对这部分内容进一步补充与完善,最终构建出一个完整的崩积体坡面侵蚀的理论框架。

#### [参 考 文 献]

[1] 王占礼,靳雪艳,马春艳,等.黄土坡面降雨产流产沙过程及其响应关系研究[J].水土保持学报,2008,22(2):24-28.  
[2] Fan Shengyue, Ma Yonghuan, Zhou Lihua. Response

of households to eco-environment control policies in minqin in recent years[J]. Journal of Desert Research, 2005,25(3):397-403.

- [3] Boers T M, Zondervan K, Ben-Asher J. Micro-Catchment-Water-Harvesting(MCWH)for arid zone development[J]. Agricultural Water Management, 1986, 12(1):21-39.  
[4] 张萍,查轩.崩岗侵蚀研究进展[J].水土保持研究,2007,14(1):170-172.  
[5] 阮伏水.福建省崩岗侵蚀与治理模式探讨[J].山地学报,2003,21(6):675-680.  
[6] 蒋芳市,黄炎和,林金石,等.崩岗崩积体土壤渗透特性分析[J].水土保持学报,2013,27(3):49-54.  
[7] 刘希林,唐川,张大林.野外模拟崩岗崩积体坡面产流过程及水分分布[J].农业工程学报,2015(11):179-185.  
[8] Posadas A N D, Giménez D, Quiroz R, et al. Multi-fractal characterization of soil pore systems[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67(5):1361-1369.  
[9] Ahmadi A, Neyshabouri M R, Rouhipour H, et al. Fractal dimension of soil aggregates as an index of soil erodibility[J]. Journal of Hydrology, 2011, 400(3):305-311.  
[10] Ahuja L R, Sharpley A N, Lehman O R. Effect of soil slope and rainfall characteristics on phosphorus in runoff[J]. Journal of Environmental Quality, 1982, 11(1):9-13.  
[11] 耿晓东.主要水蚀区坡面土壤侵蚀过程与机理对比研究[D].北京:中国科学院研究生院,2010.  
[12] Bruno C, Stefano C D, Ferro V. Field investigation on

- rilling in the experimental Sparacia area, South Italy [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2008, 33(2):263-279.
- [13] Martinez-Mena M, Castillo V, Albaladejo J. Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain [J]. *Geomorphology*, 2002, 45(3/4): 261-275.
- [14] Berger C, Schulze M, Rieke-Zapp D, et al. Rill development and soil erosion: A laboratory study of slope and rainfall intensity [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2010, 35(12):1456-1467.
- [15] An Juan, Zheng Fenli, Lu Jia, et al. Investigating the role of raindrop impact on hydrodynamic mechanism of soil erosion under simulated rainfall conditions [J]. *Soil Science*, 2012, 177(8):517-526.
- [16] Reichert J M, Norton L D. Rill and interrill erodibility and sediment characteristics of clayey Australian vertosols and a Ferrosol [J]. *Soil Research*, 2013, 51(1): 1-9.
- [17] Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits [J]. *Science-AAAS-Weekly Paper Edition*, 1995, 267(5201):1117-1122.
- [18] Xu Xianli, Ma Keming, Fu Bojie, et al. Research review of the relationship between vegetation and soil loss [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9):3137-3143.
- [19] 梁洪儒, 余新晓, 樊登星, 等. 砾石覆盖对坡面产流产沙的影响 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(3):57-61.
- [20] 刘战东. 冬小麦降雨利用过程及其模拟 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [21] 张翼夫, 李洪文, 何进, 等. 玉米秸秆覆盖对坡面产流产沙过程的影响 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 118-124.
- [22] 钱婧. 模拟降雨条件下红壤坡面菜地侵蚀产沙及土壤养分流失特征研究 [D]. 浙江 杭州: 浙江大学, 2015.
- [23] 郑斯坤. 不同坡度、雨强和下垫面条件下黄土地水沙变化规律研究 [D]. 山西 太谷: 山西农业大学, 2014.
- [24] 朱高立, 黄炎和, 林金石, 等. 模拟降雨条件下秸秆覆盖对崩积体侵蚀产流产沙的影响 [J]. *水土保持学报*, 2015, 29(3):27-31.
- [25] 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.
- [26] 陈冬素. 人工降雨条件下红壤侵蚀规律研究 [D]. 湖南长沙: 湖南师范大学, 2007.

## 《水土保持通报》2016 年度引证报告

(1) 根据中国知网(CNKI)2016 版《中国学术期刊影响因子年报》资料,《水土保持通报》2015 年综合统计源统计的复合总被引频次为 5 249 次;复合影响因子为 0.847,在农业基础科学类期刊中排序第 14/21 位;期刊综合影响因子为 0.544,在农业基础学科类期刊中排序第 16/21 位;影响力指数 CI 为 445.351,在农业基础学科类期刊中排序第 13/21 位。

(2) 根据 2016 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》,《水土保持通报》2015 年核心被引频次为 2 129 次,在中国科技核心期刊中总排序第 324/1 895 位;核心影响因子为 0.487,总排序第 978 位;综合评价指标为 41.58,总排序第 819/1 985 位;综合评价指标在农业工程类期刊中排序第 9/20 位。

(3) 根据中国科学引文数据库(CSCD)2015 年统计数据,《水土保持通报》2015 年影响因子为 0.375 3。总被引频次为 1 736 次,在 CSCD 所统计的 7 363 种科技期刊中总排序第 193 位(2014 年为 1 612 次,总排序第 219 位;2013 年为 1 444 次,总排序第 234 位);他引频次为 1 475 次,总排序第 165 次。

(4) 《水土保持通报》获陕西省编辑学会 2016 年评选的陕西省优秀期刊奖。

《水土保持通报》编辑部  
二零一六年十二月