

不同雨强条件下工程措施对坡地产流产沙影响

曹媛¹, 孙鹏¹, 姚蕊², 汪军红³, 冯安兰¹, 胡玉乾¹

(1.安徽师范大学地理与旅游学院,安徽 芜湖 241002;

2.南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,南京 210023;3.霍山县水土保持试验站,安徽 霍山 237266)

摘要: 基于试验站不同坡地措施(坡耕地和坡改梯)2016年和2017年的逐日降水、产流产沙数据,研究不同坡地措施和雨强下产流产沙规律特征,定量揭示坡改梯和坡耕地对产流产沙的影响。结果表明:(1)7月平均雨强 I 、最大雨强 I_{30} 及坡地产流量最大,8月最大雨强 I_{60} 与坡地产沙量最大,表明坡地产流产沙高峰期与雨强高峰期一致。(2)春夏两季产流、产沙量与 I 、 I_{30} 和 I_{60} 相关性显著(超过95%置信度检验)。其中坡耕地产流产沙量与 I 、 I_{30} 、 I_{60} 的相关系数整体高于坡改梯。春夏季坡耕地产沙量分别是坡改梯的3.91、7.85倍。(3)降雨主要集中在 $I(1\sim 3\text{ mm/h})$ 、 $I_{30}(3\sim 29\text{ mm/h})$ 、 $I_{60}(2\sim 27\text{ mm/h})$ 之间,且坡地产流产沙量与最大雨强 I_{30} 、最大雨强 I_{60} 在95%置信度水平呈现显著正相关。当 I_{30} 达到29.0 mm/h、 I_{60} 达到26.6 mm/h时,坡地产流产沙达到最大,坡耕地产流产沙峰值是坡改梯的2.43、7.52倍以上,并且坡耕地全年产流产沙变异系数总体高于坡改梯,因此坡改梯工程在一定程度上防治了水土流失,使产流产沙变化减小。

关键词: 坡耕地; 坡改梯; 雨强; 产流量; 产沙量

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)06-0001-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.06.001

Effects of Engineering Measures on the Runoff and Sediment Yield in Slope Land Under Different Rainfall Intensities

CAO Yuan¹, SUN Peng¹, YAO Rui², WANG Junhong³, FENG Anlan¹, HU Yuqian¹

(1.School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241002;

2.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment for the Ministry of Education, Nanjing Normal University,

Nanjing 210023; 3.Huoshan Soil and Water Conservation Test Station, Huoshan, Anhui 237266)

Abstract: Based on the daily precipitation and runoff sediment yield data in 2016 and 2017 under different slope land measures (slope farmland and changing slope to terrace) in the test station, the law characteristics of runoff sediment yield under different slope land measures and rainfall intensities were studied. The impact of changing slope to terrace and slope farmland on runoff and sediment was quantitatively revealed. The results showed that: (1) In July, the average rainfall intensity I , the maximum rainfall intensity I_{30} and the slope land runoff were the largest, and in August, the maximum rainfall intensity I_{60} and the slope land sediment yield were the largest, indicating that the peak of runoff and sediment was the same as the peak of rainfall intensities. (2) The correlations between runoff and sediment yield in spring and summer and I , I_{30} and I_{60} were significant (more than 95% confidence test). The correlation coefficients in slope land were higher than those in changing slope to terrace land. In spring and summer, the sediment yields in slope land were 3.91 and 7.85 times of those in changing slope to terrace land. (3) The rainfall was mainly concentrated in $I: 1\sim 3\text{ mm/h}$, $I_{30}: 3\sim 29\text{ mm/h}$, $I_{60}: 2\sim 27\text{ mm/h}$, and the runoff and sediment yield in slope land was positively correlated with the maximum rainfall intensity I_{30} and I_{60} at 95% confidence level. When I_{30} reached 29.0 mm/h, I_{60} reached 26.6 mm/h, the runoff and sediment yield in slope land reached the maximum. The peak values of runoff and sediment yield in slope land were 2.43, 7.52 times higher than those in changing slope to terrace land. The variation coefficients of runoff and sediment yield in the whole year were higher than those in changing slope to terrace land. Thus, changing slope land to terrace could

收稿日期:2020-05-27

资助项目:国家重点研发计划项目“不同温升情景下区域气象灾害风险评估”(2019YFA0606900);国家自然科学基金项目(41601023, 41771536);安徽省自然科学基金项目(1808085QD117)

第一作者:曹媛(1997—),女,安徽马鞍山人,硕士研究生,主要从事水土流失研究。E-mail:2543754010@qq.com

通信作者:孙鹏(1986—),男,山东青岛人,教授,博士生导师,主要从事气象水文学和水土保持研究。E-mail:sun68peng@163.com

prevent soil erosion to a certain extent, and reduce the variation of runoff and sediment yield.

Keywords: slope land; changing slope land to terrace; rainfall intensity; runoff; sediment yield

水土资源一直是人类赖以生存的宝藏,中国作为世界上土壤侵蚀最为严重的国家之一,土壤侵蚀是世界上最重要的土地退化过程之一,被认为是对粮食供应、人类健康和陆地生态系统的严重威胁。在全球变化情景下,气候和土地利用方式将对不同区域的坡地产生产沙产生明显影响。

坡耕地是导致我国水土流失主要的原因之一,大量的水土流失使耕地面积逐年减少,保水保肥能力由强变弱,宜耕性愈来愈差^[1]。为减少和缓解水土流失,我国大部分地区实施坡改梯工程^[2]。早在 18 世纪,世界一些土壤学家就开始了土壤侵蚀的研究^[3-4]。进入二十世纪后,由于水土流失造成的严重后果,世界一些国家加强了对坡改梯的定量研究,如 Liu 等^[5]研究降雨强度和坡度梯度及其相互作用对盐碱土壤坡面飞溅和陆上水流传输的影响发现,坡度对沉积物流失的影响随着降雨强度的增加而减小,而坡度对平缓坡度的影响大于对陡坡的影响;Jia 等^[6]研究了在不同降雨强度下,裸露坡面和不同植被类型下的径流和泥沙流失变化发现,灌木草和草地坡地有效减小坡地径流和产沙量;Tarolli^[7]研究得出,坡改梯对增加水的渗透,减轻水土流失具有重要意义;刘盼等^[8]基于 RUSLE 模型、李依珊等^[9]利用 CSLE 模型、周夏飞等^[10]基于 USLE 模型对坡改梯土壤侵蚀进行研究发现,相较于坡耕地,梯田措施明显提高土壤含水量和土层贮水量,提高保水效果^[11];另外,梯田的地表径流量明显降低,土壤入渗性能改善,土壤抗蚀性增强^[12],可以有效地改善水、环境质量,提高土壤抗旱能力以及增加土壤肥力,从而提高作物产量,增加农民收入。

安徽大别山区是我国典型的集山区、库区、多省交界区、水土流失严重区、贫困区于一体的革命老区,严重的水土流失给当地经济社会和生态环境产生了很大危害^[13-14]。据《安徽省水土保持监测公报》^[15-16],皖西大别山区水土流失面积达 7 563.98 km²,占全区总面积的 32.81% 以上,成为安徽省水土流失最严重的地区。经初步测算,每年流失的土壤资源达 3 246 万 t。目前,我国水土流失研究主要集中在黄土高原、南方丘陵区、和岩溶山区等地,针对大别山区的研究,大多是基于岳西水土保持试验站数据开展研究^[14,17],且现有研究一般是对坡耕地与坡改梯的水土保持效应进行单独研究与论述,缺少对二者对比分析,而基于多年试验观测数据,在不同雨强条件下不同土地利用方式的水土保持效应研究有待进一

步研究。基于此,本文基于霍山县水土保持试验站 2016—2017 年观测资料,采用数理统计方法计算降雨历时、雨量、平均雨强、最大 30 min 雨强、最大 60 min 雨强等降雨因子的综合得分,以此表征降雨影响,并对不同时间尺度与雨强情况进行分析,得到不同工程措施在不同雨强下的产流产沙一般规律,以期为准河流域工程设施重点建设的质量和实施效果预测提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

霍山县水土保持试验站(115°59′09″—115°59′20″E,31°08′43″—31°09′09″N)建立于 1981 年,依据安徽省水利厅部署,负责江子河小流域综合观测站相关监测、试验、研究工作,用于提供监测资料和科研成果。其中径流场位于试验站山场内,占地面积 5.73 hm²,2011 年共改建 8 个试验小区,每个小区面积均是 100 m²(20 m×5 m)。其中 T4 小区(坡改梯)和 T5 小区(坡耕地),以监测水土流失观测目的,T4 和 T5 小区的坡度为 23°,坡向为 WS,主要土壤类型为砂壤。

1.2 数据观测

径流场监测指标有各类降雨因子、径流量、产沙量、侵蚀模数、下垫面性质及植被覆盖度等。采取自记式雨量进行降雨全时段监测,以 5 min 为间隔进行记录,人工记录降雨起止时间及降雨过程中雨势动态特征,以便进行验证。1 000 mL 广口取样瓶用于降雨后混合水样收集,采用铝盒烘干法测定水样含沙量。土壤水分观测采用 TDR 法测定,测量深度为 6 cm,测量时间间隔为 15 天,分别在试验小区的上、中、下坡各测量 3 次取平均值。本文采用 2016—2017 年标准径流小区野外观测资料,通过前期对比检查、整理分析后,整体数据较为准确可靠。

1.3 数据处理方法

本文中不同雨强与不同工程措施坡地径流产沙关系采用相关系数法,相关系数绝对值越大代表变量之间相关关系密切程度高。变异系数 CV 表示坡地径流产沙在雨强变异的程度,是不同雨强下坡地径流产沙标准差与均值的比值,其大小反映了不同雨强下坡地径流产沙的稳定性。CV 值越大,说明样点产流产沙变化越剧烈;CV 值越小,坡地径流产沙越稳定。坡面的径流产沙特征是土壤侵蚀结果的集中反映,本研究主要针对不同雨强下坡耕地和坡改梯对坡面径流产沙的影响进行相关数据分析,以探究坡耕地与坡改梯在不同雨强影响下坡面土壤侵蚀的变化特征。

此外本文定义:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月—翌年 2 月为冬季。

2 结果与分析

2.1 坡改梯和坡耕地产流产沙特征分析

降雨是导致水土流失的主要动力,其与坡改梯、坡耕地产流产沙情况有密切联系。在坡耕地关于作物类型与产流产沙的研究中,降雨量和降雨强度是主要影响因子。由图 1a 和图 1b 月平均降水量和降水强度可知,7 月 I 和 I_{30} 最大,分别为 5,25 mm/h,8 月 I_{60} 最大,为 214 mm/h;由图 1c 可知,坡改梯产流峰值出现在 4 月,为 0.34 m³,坡耕地产流峰值出现在 7 月,为 0.38 m³;由图 1d 可知,坡改梯和坡耕地产沙峰值主要在 8 月,分别为 0.25,2.47 kg/m³。7—9 月坡地产生产沙高于其他月份,表明坡地产生产沙高峰期与雨强高峰期基本吻合,说明在高水平的雨强下土

壤侵蚀情况更为严重。在不同雨强和工程措施的影响下,其变化有显著的季节性变化。坡改梯年平均产流总量最高,为 9.91 mm,是坡改梯产流总量的 1.05 倍。坡耕地年平均产沙总量也最高,为 27.39 m³,是坡改梯的 6.17 倍。在 7—8 月的强降雨时期,坡改梯的产沙远低于坡耕地。不同土地措施对产沙的抑制效果呈现坡改梯>坡耕地,且坡改梯的效果较为明显。坡改梯在强降雨时期更易造成土壤表层板结,雨滴溅蚀破坏了表层土壤颗粒的结构,形成了不易流失的结皮层,表土结皮能够在一定程度上加剧表面径流,减少坡面产沙,因此造成的产流量最大而产沙量最少^[17-19]。而自然坡地土壤的疏松程度较高,土壤渗透力强,径流流速下降的同时增加了径流的入渗时间,从而大大降低产流速率,故与坡改梯相比,在强降雨时期不易形成结皮,产沙量最多。

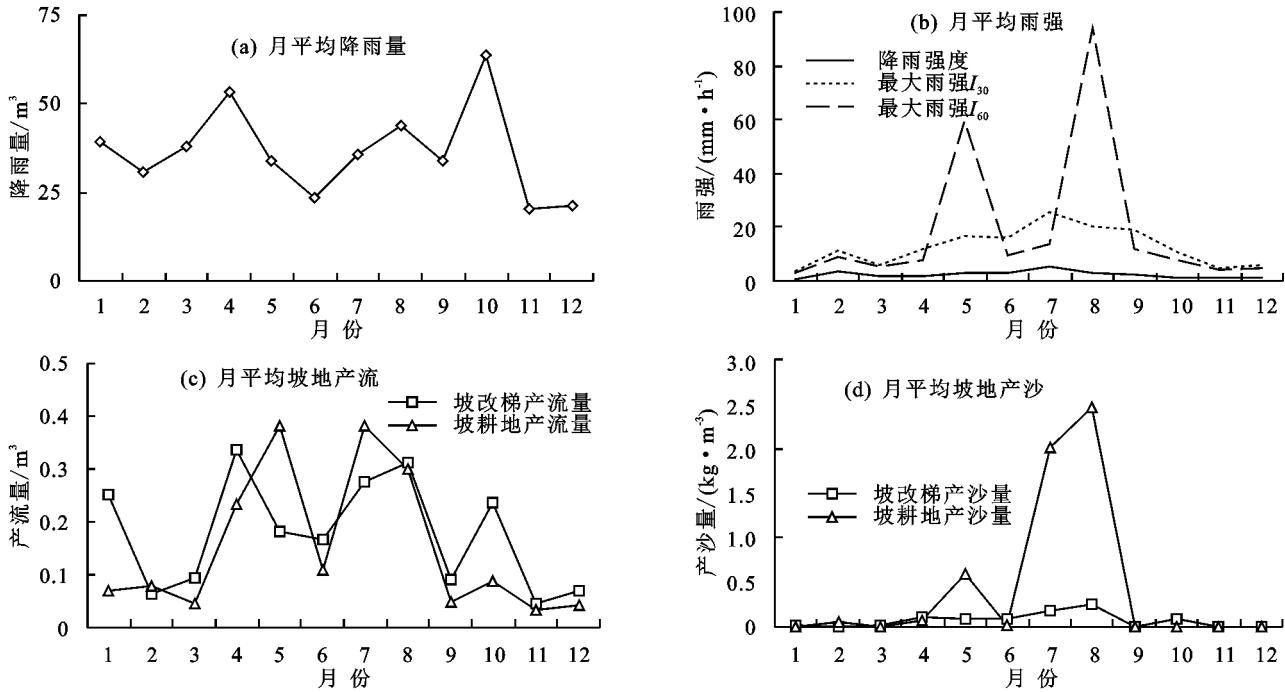


图 1 降雨量、雨强及产流产沙年内变化

利用霍山县江子河小流域综合观测站提供的逐日产流产沙量与降雨强度 I 、最大雨强 I_{30} 、最大雨强 I_{60} 数据,分析月尺度产流产沙量与 I 、 I_{30} 、 I_{60} 相关系数。从整体上看,坡耕地月平均产流产沙量与 I 、 I_{30} 、 I_{60} 的相关系数整体高于坡改梯。影响地表月平均产流量与产沙量的主要动力是降雨侵蚀力,通过对不同水土工程措施下 I 、 I_{30} 以及 I_{60} 与水土流失相关因子的相关分析(表 1)可知, I 与坡耕地的产流量相关性(0.63)最高; I_{30} 对坡耕地月平均产流、坡改梯月平均产流和产沙影响最显著,相关系数分布是 0.75,0.44,0.75; I_{60} 对坡耕地月平均产沙影响最显著,对坡改梯产沙影响最显著。不同工程措施对月平均产流产沙影响最大的降雨因子各不相同; I_{30} 对坡改梯的月平

均产流产沙影响最为明显, I_{30} 对坡耕地月平均产流影响最大,而 I_{60} 对月平均产沙量影响最大。坡耕地产生产沙与 I 、 I_{30} 以及 I_{60} 最强相关均高于坡改梯。

表 1 雨强与月平均产流、产沙相关性分析

工程设施	项目	平均	最大 30 min	最大 60 min
		雨强 I	雨强 (I_{30})	雨强 (I_{60})
坡改梯	产流量(L)	0.17	0.44 *	0.42 *
	产沙量(S)	0.48 *	0.75 **	0.73 **
坡耕地	产流量(L)	0.63 **	0.73 **	0.50 *
	产沙量(S)	0.59 *	0.75 **	0.77 **

注: * 表示 95%置信度; ** 表示 99%置信度。

2.2 雨强与坡改梯、坡耕地产流产沙季节性变化特征

由图 2 可知,夏季降水历时最短,占总降水历时的

27%,但夏季 I 、 I_{30} 和 I_{60} 都最强,分别为 3.54,20.16,60.59 mm/h;秋季降水历时最长,占总降水历时的 33%;在每

年秋季,气象部门与农业部门要注意降水历时和降水量,以免对该区秋收造成影响,减少经济损失。

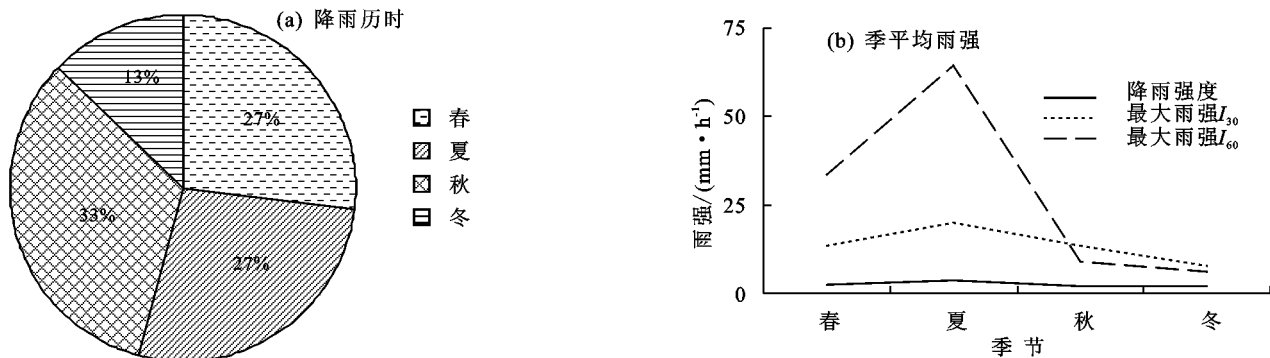


图 2 坡改梯和坡耕地不同季节降水历时和雨强关系

由图 3 可知,春夏两季产流、产沙与 I 、 I_{30} 以及 I_{60} 相关性差异较大,秋冬季 r 值稳定,为 0.1~0.4,且该区春夏季降水丰富,常有暴雨出现,因此,本文主要研究不同雨强对春夏季坡地产流产沙的影响。从图 3a、图 3d 可以看出, I 对坡耕地的春季产流产沙影响最明显,且 I 与春夏两季坡改梯产流产沙的相关性均低于坡耕地,说明在 2016 年 1 月至 2017 年 11 月春夏两季期间, I 对坡改梯的影响低于坡耕地。春季 I_{30} 对坡耕地产流产沙影响最显著,对坡改梯夏季产流影响最显著;且 I_{30} 与坡改梯春夏的产流、春的产沙的相关性均低于坡耕地,说明在 I_{30} 对坡改梯产流产

沙影响较小(图 3b、图 3e)。夏季 I_{60} 与坡耕地产流产沙影响最显著,坡改梯夏季产流产沙相关性显著;夏秋季 I_{60} 与坡改梯产流产沙的相关性均高于坡耕地,表明在夏季 I_{60} 对坡改梯产流产沙影响最大,对坡耕地产流影响较大(图 3c、图 3f)。综上所述, I_{60} 对坡地夏季产流产沙影响最大。从季节尺度来看,春季产流产沙相关系数差值最大的是 I_{30} ,差值最小是 I_{60} ,表明 I_{30} 对坡地春季产流产沙影响差异最大, I_{60} 对坡地春季产流产沙影响差异最小,夏季产流 r 值相差较小,为 0.01~0.1; I_{60} 对产沙影响差值最大, I 对产沙相关系数差值最小。

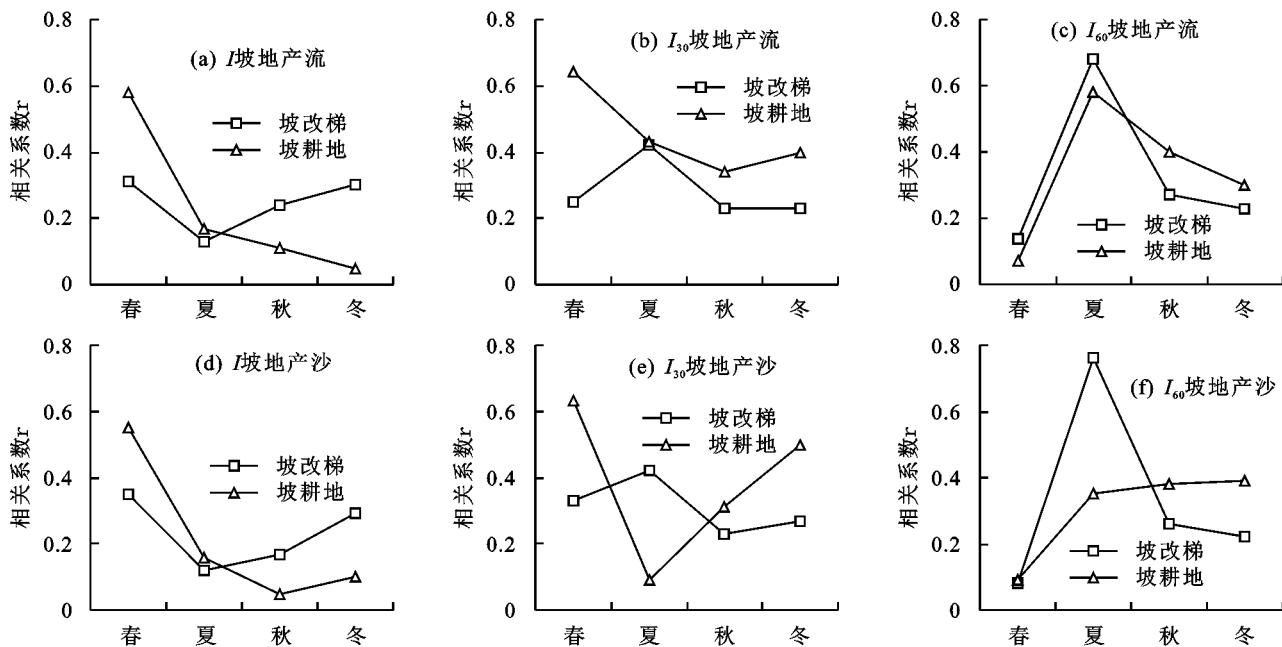


图 3 不同雨强对坡地产流产沙相关性分析

2.3 雨强与坡改梯、坡耕地产流产沙年尺度变化特征

降雨是坡面产流产沙的来源与动力,降雨通过雨滴降落击溅破坏土壤结构,雨滴的动能与降雨强度有关。由前人^[20-21]研究可知,雨强是产流产沙的主要因子,不同坡地的产流量和产沙量随着降雨强度的增加而变化,并且径流产沙峰值与最大雨强有很大的相关性。由图 4 可知,降雨强度 I 主要分布在 1~3 mm/

h,最大 30 min 降雨强度 I_{30} 主要区间为 3~30 mm/h,且 I_{30} 为 24 mm/h 时,降雨历时达到最大值;最大 60 min 降雨强度 I_{60} 为 2~30 mm/h,且 I_{60} 为 17 mm/h 时,最大降雨历时达到 78 h。 I_{60} 的最大雨强为 695 mm/h,且降雨历时达到 50 h。基于图 4 分析结果,降水主要集中在 I 为 1~3 mm/h,占全部降水的 84.21%,故分为 $1 \leq I \leq 3$ mm/h 和 $I > 3$ mm/h 开

展下一步的研究。

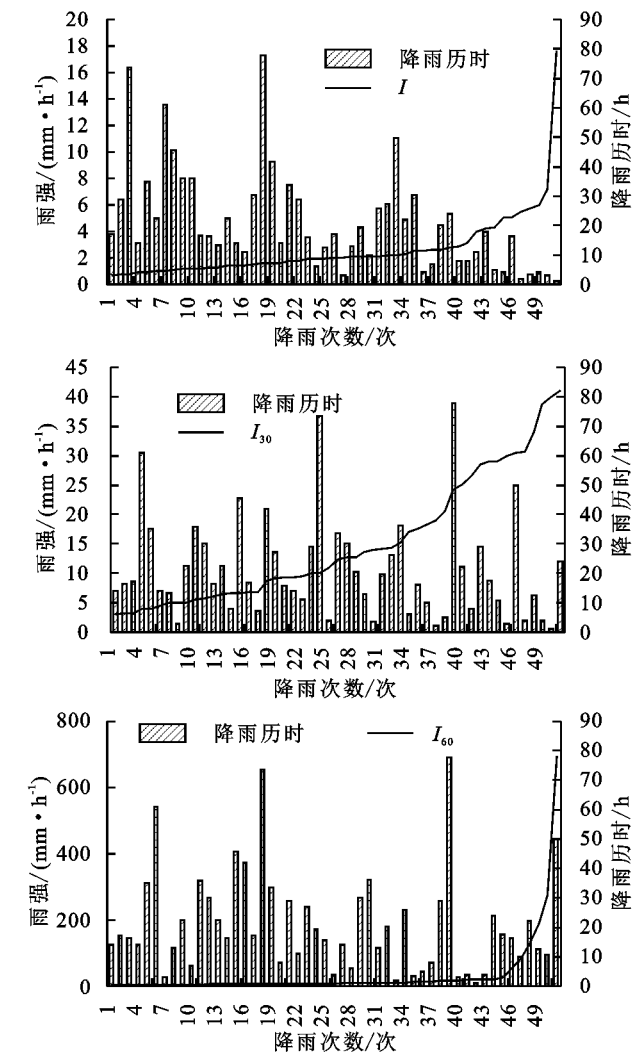


图 4 不同雨强与降水历时趋势

由图 5 可知, $1 \leq I \leq 3 \text{ mm/h}$, I 为 2.1 mm/h 坡耕地产沙达到最大值; I 为 2.2 mm/h , 坡改梯产流产沙和坡耕地产流达到最大值; 坡耕地产流产沙峰值是坡改梯的 $0.78, 7.52$ 倍; $I > 3 \text{ mm/h}$, I 为 4.2 mm/h 坡改梯和坡耕地产流产沙均达到最大值, 坡耕地产流产沙是坡改梯的 $2.52, 6.40$ 倍; 表明随着 I 的增大, 坡改梯与坡耕地产流峰值倍数相差越大, 产沙倍数相差减小, 且坡改梯产沙峰值始终低于坡耕地。当 $1 \leq I \leq 3 \text{ mm/h}$, 坡耕地累积产流产沙量是坡改梯的 $0.80, 6.74$ 倍; $I > 3 \text{ mm/h}$ 时, 坡耕地累积产流产沙量是坡改梯的 $1.62, 4.25$ 倍, 表明随着 I 的增大, 坡耕地与坡改梯累积产流倍数增大, 累积产沙倍数减小, 但坡耕地产沙仍显著高于坡改梯 (图 5a、图 5b)。由图 5c、图 5d 可知, 随着最大 30 min 降雨强度 I_{30} 的增大, 坡面产流产沙呈先增后减, 逐渐稳定的趋势。当 $I_{30} < 30 \text{ mm/h}$, 当 I_{30} 达到 14.3 mm/h 时, 坡耕地产沙达到峰值; 当 I_{30} 为 29 mm/h 时, 坡改梯产流产沙和坡耕地产流达到最大值; 坡耕地产流产沙峰值是坡改梯的 $2.52, 15.74$ 倍。当 $I_{30} \geq 30 \text{ mm/h}$, 当 I_{30} 为

30.4 mm/h 时, 坡改梯和坡耕地产沙均达到最大值; 坡耕地产流产沙峰值是坡改梯的 $0.78, 3.72$ 倍, 表明随着 I_{30} 的增大, 坡耕地与坡改梯产流产沙峰值差值逐渐减小。当 $I_{30} < 30 \text{ mm/h}$, 坡耕地累积产流产沙量是坡改梯的 $0.98, 9.75$ 倍; 当 $I_{30} \geq 30 \text{ mm/h}$ 时, 坡耕地累积产流产沙量是坡改梯的 $0.90, 256$ 倍。表明随着 I_{30} 的增大, 坡耕地与坡改梯累积产流产沙倍数减小, 但坡耕地产沙仍显著高于坡改梯。

由图 5e、图 5f 可知, 随着 60 min 最大降雨强度的增大, 坡面产流产沙呈先增后减再增的趋势。当 $I_{60} < 30 \text{ mm/h}$, I_{60} 为 11 mm/h 坡耕地产沙达到峰值; I_{60} 为 26.6 mm/h 坡改梯产流产沙达到峰值; I_{60} 为 26.6 mm/h , 坡耕地产流达到峰值; 坡耕地产流产沙峰值分别是坡改梯的 $2.43, 14.60$ 倍。当 $I_{60} \geq 30 \text{ mm/h}$, I_{60} 为 129.3 mm/h , 坡耕地产沙峰值出现; I_{60} 为 695 mm/h , 坡改梯产流产沙和坡耕地产流达到峰值; 坡耕地产流产沙峰值是坡改梯的 $0.78, 6.61$ 倍, 表明 I_{60} 时, 坡改梯与坡耕地产流产沙峰值倍数逐渐减小, 但坡改梯产沙峰值始终低于坡耕地。当 $I_{60} < 30 \text{ mm/h}$, 坡耕地累积产流产沙量是坡改梯的 $0.93, 4.57$ 倍; $I_{60} \geq 30 \text{ mm/h}$ 时, 坡耕地累积产流产沙量是坡改梯的 $1.09, 10.24$ 倍, 表明最大雨强 I_{60} 中, 随着 I_{60} 的增大, 坡改梯与坡耕地累积产流产沙量相差倍数越来越大。

根据图 4 将不同雨强分级 (a: $1 \leq I \leq 3 \text{ mm/h}$; b: $I > 3 \text{ mm/h}$; c: $I_{30} < 30 \text{ mm/h}$; d: $I_{30} \geq 30 \text{ mm/h}$; e: $I_{60} < 30 \text{ mm/h}$; f: $I_{60} \geq 30 \text{ mm/h}$), 分析不同雨强等级下坡耕地和坡改梯的产流产沙变化 (图 6)。变异系数 (CV) 可用于反映样本间的总变异程度。CV 值的大小反映了坡地产流产沙的稳定性。其值越大, 说明该处产流产沙变化越频繁; 反之则越稳定。由图 6 可知, 不同雨强下坡改梯、坡耕地产流产沙变化均为强变异, CV 值均在 1.20 以上; 且只有在 $I_{60} \geq 30 \text{ mm/h}$ 时, 坡耕地产流产沙 CV 值低于坡改梯, 其余时段雨强均高于坡改梯, 表明不同雨强下坡耕地产流产沙变化较大, 不稳定; 且最大雨强 I_{60} 越大时, 坡改梯产沙变化越大。由图 6(b) 知, 坡地产沙 CV 值大小比较为: $(1 \leq I \leq 3 \text{ mm/h}) > (I > 3 \text{ mm/h})$, $(I_{30} < 30 \text{ mm/h}) > (I_{30} \geq 30 \text{ mm/h})$, 坡耕地 $(I_{60} < 30 \text{ mm/h}) > 坡耕地 (I_{60} \geq 30 \text{ mm/h})$, 表明随着雨强的增大, 坡地产沙逐渐稳定。原因可能在于: 降雨初期, 地表土层比较松散, 耐蚀性较差, 易受雨滴击溅和径流冲刷, 表现为降雨初期径流含沙量迅速增加; 随着降雨过程的进行, 原地表松散土壤颗粒的减少在一定程度上使土壤颗粒随径流流失的速度逐渐减缓。此外, 雨滴溅蚀破坏了表层土壤颗粒的结构, 形成了不易流失的结皮层, 表土结皮能够在一定程度上减少坡面产

沙,使坡面土壤侵蚀强度明显减小,同时降雨后期,坡面产流及产沙逐步趋于稳定。综上所述,随着雨强的

增大,形成结皮的时间越短,且坡改梯工程在一定程度上阻碍了水域流失,从而使土壤结皮时间延长。

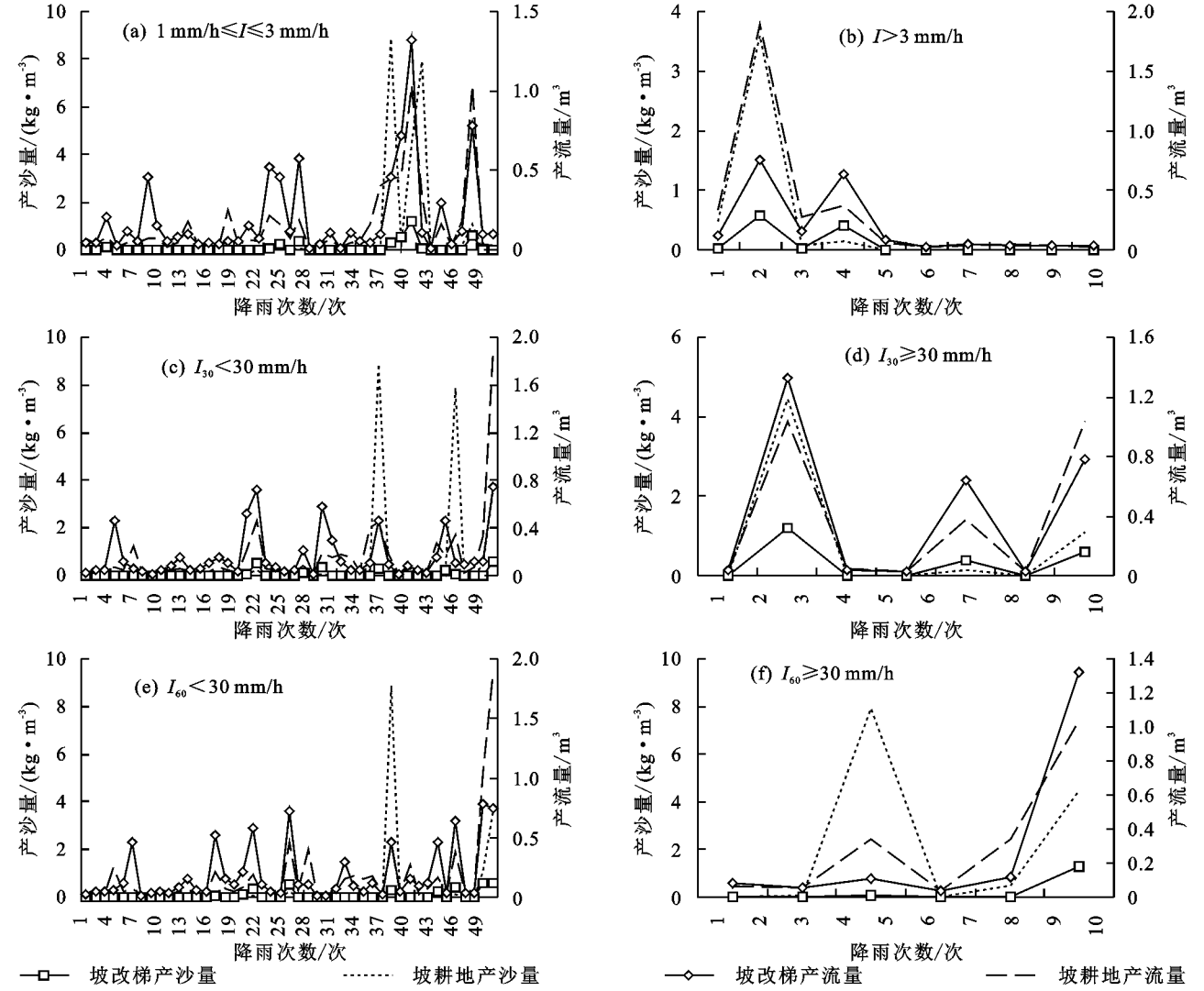


图 5 不同降雨强度下产流产沙变化

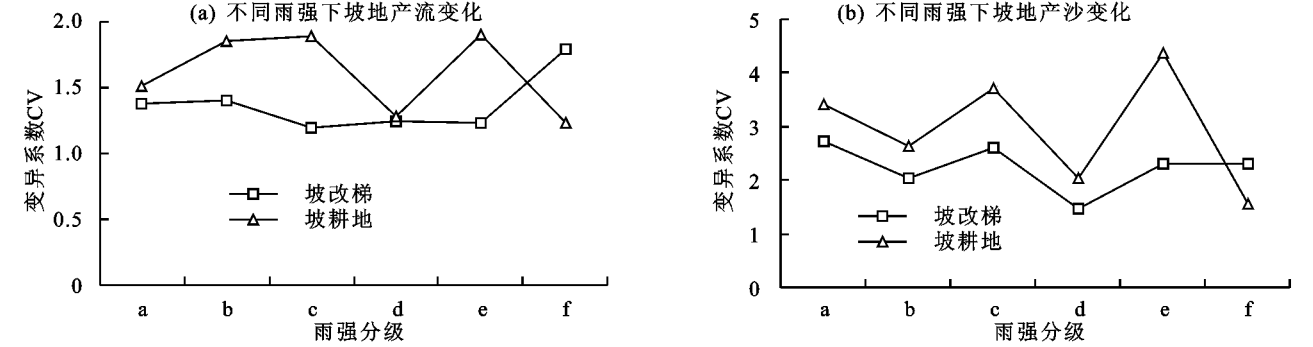


图 6 不同雨强下坡地产流产沙动态变化

为了进一步分析各降水因子对坡改梯和坡耕地产流产沙影响,选取 2016—2017 年典型降雨的降雨历时、降雨量等 6 个降雨因子,构建对应每场降雨产流量、产沙量相关性分析,从表 2 可知,产流产沙量与最大雨强 I_{30} 、最大雨强 I_{60} 、降雨侵蚀力均在 95% 置信度水平呈现显著正相关,且产流量与降雨因子的相关系数整体高于产沙量。而降雨历时、降雨量及平均

雨强与产流产沙未通过置信度检验。通过对不同作物类型下降雨因子与水土流失相关因子的相关分析可以看出,影响地表产流量与产沙量的主要因子是最大雨强 I_{60} 和降雨侵蚀力,相关系数均达到 0.6 以上的显著相关。其中就最大雨强 I_{60} 而言,对坡耕地产流产沙影响最明显,相关系数达 0.691 和 0.636,呈极显著相关。

注:一般认为,CV<0.1 为弱变异,CV 在 0.1~1.0 为中等变异,CV>1.0 为强变异。

表 2 降雨因子与产流产沙的相关性分析

工程设施	项目	历时	降雨量	平均雨强 I	最大雨强 I_{30}	最大雨强 I_{60}	降雨侵蚀力
坡改梯	产流	0.277	0.641**	0.230	0.638**	0.614**	0.756**
	产沙	0.147	0.522*	0.253	0.643**	0.628**	0.760**
坡耕地	产流	0.004	0.421*	0.279	0.578*	0.691**	0.801**
	产沙	0.036	0.366	0.265	0.446*	0.636**	0.735**

注: * 表示 95%置信度; ** 表示 99%置信度。

3 结论

(1)7 月坡改梯和坡耕地产流较大,分别为 0.31, 0.38 m³;7—8 月坡改梯和坡耕地产沙最大,分别为 0.18,0.25,2.02,2.47 kg/m³;7 月 I 和 I_{30} 最大,分别为 5,25 mm/h,8 月 I_{60} 最大,为 214 mm/h,表明坡地产流产沙高峰期与雨强高峰期基本吻合。

(2)春夏两季产流、产沙量与 I 、 I_{30} 和 I_{60} 相关性显著(超过 95%置信度检验)。其中坡耕地产流产沙量与 I 、 I_{30} 、 I_{60} 的相关系数整体高于坡改梯。春夏两季占全年降水的 64%,是该区域降水的集中时期,且春夏季坡耕地产沙量分别是坡改梯的 3.91,7.85 倍;相比较坡耕地,坡改梯对该区春夏季有效减少产沙具有重要作用。

(3)降雨主要集中在 I 为 1~3 mm/h, I_{30} 为 3~29 mm/h, I_{60} 为 2~27 mm/h,且坡地产流产沙量与最大雨强 I_{30} 、最大雨强 I_{60} 在 95%置信度水平呈现显著正相关。当 I_{30} 达到 29 mm/h、 I_{60} 达到 26.6 mm/h 时,坡地产流产沙达到最大,坡耕地产流产沙峰值是坡改梯的 2.43,7.52 倍以上,并且坡耕地全年产流产沙变异系数总体高于坡改梯,故坡改梯工程在一定程度上防治了水土流失,从而使产流产沙变化减小。

参考文献:

[1] 李志刚,梁心蓝,黄洪粮,等.坡耕地地表起伏对坡面漫流的影响[J].水土保持学报,2020,34(2):71-77,85.

[2] 张松松,胡续礼,张光灿,等.不同耕作方式对小流域坡改梯工程效果的影响[J].中国水土保持科学,2015,13(6):91-97.

[3] Meester T. Soil erosion and conservation[J].Earth Science Reviews,1987,24(1):68-69.

[4] Oosten V, Ary M. The political economy of soil erosion in developing countries[J].Land Use Policy,1985,2(4):355-356.

[5] Liu D D, She D L, Yu S E, et al. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash from a saline-sodic soil under coastal reclamation[J].Catena,2015,128:54-62.

[6] Jia C F, Sun B P, Yu X X, et al. Analysis of runoff and sediment losses from a sloped roadbed under variable

rainfall Intensities and vegetation conditions[J].Sustainability,2020,12(5). DOI: 10.3390/su12052077.

[7] Tarolli P. Agricultural terraces special issue preface[J].Land Degradation and Development,2018,29(10):3544-3548.

[8] 刘盼,任春颖,王岩松,等.基于 RUSLE 模型的梅河口市土壤侵蚀动态分析[J].水土保持通报,2019,39(1):178-185,331.

[9] 李依珊,尹斌,谢云,等.岩溶区土壤侵蚀强度评价方法[J].中国水土保持科学,2018,16(2):20-26.

[10] 周夏飞,马国霞,曹国志,等.基于 USLE 模型的 2001—2015 年江西省土壤侵蚀变化研究[J].水土保持通报,2018,38(1):8-11.

[11] 龚云龙.南方红壤丘陵区坡改梯后土壤水分概况分析[J].亚热带水土保持,2018,30(4):17-21,53.

[12] 程圣东,杭朋磊,李鹏,等.陕南土石山区坡改梯对坡面稳定性的影响[J].水土保持研究,2018,25(5):157-161.

[13] 中共中央国务院.中国农村扶贫开发纲要(2011—2020 年)[M].北京:人民出版社,2011.

[14] 邵永昌.安徽大别山区典型流域降雨径流产沙规律研究[D].南京:南京林业大学,2016.

[15] 安徽省水利厅.安徽省水土保持监测公报[Z].合肥,2005.

[16] 史志刚.皖西大别山区水土流失特征及其综合防治研究[J].水土保持研究,2012,19(5):43-46.

[17] Baets S, Poesen J, Knapen A, et al. Root characteristics of representative Mediterranean plant species and their erosion-reducing potential during concentrated runoff[J].Plant and Soil,2007,294:169-183.

[18] Bissonnais Y, Renaux B, Delouche H. Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils[J].Catena,1995,25(1):33-46.

[19] 马波,由政,吴发启,等.种植大豆条件下土壤结皮对坡耕地径流和侵蚀产沙的影响[J].中国水土保持科学,2015,13(3):16-23.

[20] 朱继前,韩美,徐泽华,等.淮河流域不同量级降雨时空分布特征及其影响因素[J].水土保持研究,2019,26(4):87-95.

[21] 黄刚.重庆市喀斯特山地农耕地水土流失特征及其影响因素分析[D].重庆:西南大学,2009.