

川中紫色丘陵坡耕地细沟发生临界坡长及其控制探讨

严冬春^{1,2}, 文安邦¹, 史忠林^{1,2}, 苏明^{1,2}, 贺秀斌¹

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 细沟侵蚀是坡面土壤侵蚀的主要形式之一, 是介于片状侵蚀与沟道侵蚀之间的一种侵蚀类型, 细沟一旦发生, 坡面侵蚀量将成倍增加。由于细沟侵蚀的发生需要一定的坡长来汇集径流, 对于某一坡度的地块, 一次暴雨中细沟总是表现在一定的坡长处发生, 这一坡长称为细沟发生的临界坡长。在细沟发生的临界坡长处采取措施控制细沟的发生将大大降低坡耕地水土流失量。通过人工降雨试验发现: 细沟发生过程分为片蚀为主阶段、跌坎发育阶段、细沟侵蚀为主阶段和雨后径流侵蚀阶段, 紫色土坡耕地细沟的发生以坡面跌坎的贯穿为标志; 10° 、 15° 、 20° 、 25° 坡耕地细沟发生的平均临界坡长分别为 6.25、4.19、2.77、1.60 m; 细沟发生临界坡长与坡度呈二次抛物线关系。在人工降雨试验基础上, 总结了以控制细沟发生为核心的“大横坡+小顺坡”耕作模式, 通过构建横坡截流沟分割地块, 实施有效的拦截径流, 减少坡面侵蚀泥沙。

关键词: 细沟; 临界坡长; 紫色土; 坡耕地

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0001-04

Critical Slope Length and Control of Rill Occurrence on Cultivated Land of Purple Soil in Sichuan Basin

YAN Dong-chun^{1,2}, WEN An-bang¹, SHI Zhong-lin^{1,2}, SU Ming^{1,2}, HE Xi-bin¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Rill erosion is one of the main formats in slope erosion, of which is one special erosion style between sheet erosion and gully erosion. The rate of soil erosion would be double increased, once rill erosion took place. There is a critical length about one vested slope because the rill erosion occurrence needs a certain length to influx runoff. If there were some measures to cut the length of slope, for avoiding rill erosion occurrence the amount of soil erosion would be decreased significantly. According to the artificial rainfall measures, the result displayed that the drop sill was run through means rill occurrence, and there was an abrupt change about the sediment concentration of runoff when the rill took place. There was a relationship of quadratic parabola between critical slope length of rill and slope grade, and the mean critical slope length on purple cultivated land of slope gradient 10° , 15° , 20° , 25° were 6.25 m, 4.19 m, 2.77 m and 1.60 m, respectively. For the sake of avoiding rill occurrence, we designed a new cultivation mode, named ‘big cross slope and small along slope’, which was to cut the slope length by ridge and hedgerow for decreasing sediment and reducing slope gradient through long time scale nature erosion.

Key words: rill; critical slope length; purple soil; cultivated land

细沟侵蚀是坡面土壤侵蚀的主要形式之一, 是介于片状侵蚀与沟道侵蚀之间的一种侵蚀类型^[1]。细沟一旦形成, 坡面薄层水流转变为股流, 其水力学特征发生根本性的转变, 侵蚀动力增强, 水流侵蚀形态

由对单个土壤颗粒的搬运转变为对土壤块体崩解、分散、输移的过程, 侵蚀量剧增, 已有的研究表明细沟的发生坡面侵蚀产沙量将增加几倍至几十倍^[2], 黄土高原细沟侵蚀量甚至占坡面总侵蚀量的 70% 以上^[3-5]。

收稿日期: 2010-05-19

资助项目: 国家科技支撑计划项目 2008BAD98B01, 2008BAD98B02

作者简介: 严冬春(1981-), 男, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: yandc@imde.ac.cn

通信作者: 文安邦(1964-), 男, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: wabang@imde.ac.cn

传统观念认为坡耕地上形成的细沟仅通过耕作措施即可以将其平复,不需要特殊的土壤保持措施;事实上,即使通过耕作措施将细沟平复还是会在坡面上形成负地形,再次降雨情况下很容易出现细沟,甚至形成恶性循环^[6]。基于对细沟侵蚀在坡面侵蚀中重要地位的认识,国内外学者在细沟的发生、发展、侵蚀输沙等方面开展了大量研究^[7-10]。对于某一坡度的地块,一次暴雨中细沟总是表现在一定的坡长处发生,这是由于细沟侵蚀的发生需要一定的坡长来汇集径流,这一坡长称为细沟发生的临界坡长^[11]。通过暴雨试验调查出细沟发生的临界坡长,进而通过各种措施控制细沟的发生将大大降低坡面侵蚀量。

紫色土是我国乃至世界上特有的一类土壤资源^[12],分布于长江以南的川、滇、黔、桂、渝、湘、鄂、赣、苏、闽、浙诸省区,以四川盆地最为集中。紫色土风化速度快、养分储量丰富,历来是农业发展的主要区域^[13-14]。而紫色土侵蚀严重,侵蚀模数高达 3 798~9 831 t/(km²·a),是长江上游的主要侵蚀产沙区之一^[15]。川中丘陵区耕地面积 373.3 万 hm²,均属紫色砂泥岩风化而成,坡耕地面积占耕地面积的 83.07%^[16],20 世纪 80 年代以来年均土壤流失量高达 11 260 t/(km²·a)。其中 10°~25°坡耕地面积较大,占坡耕地面积的 65%,而且流失量集中,是防治坡耕地水土流失的重点对象。据遂宁水土保持试验站观测,在其它情况相同条件下 10°、15°、20°、25°坡耕地侵蚀泥沙量分别是 5°坡耕地流失量的 138%、236%、314%和 429%。土面坡长 10~20、20~30 m、>30 m 的坡耕地侵蚀泥沙量分别是 1~10 m 坡耕地的 149%、187%和 244%^[17]。可见,采用合理的措施控制 10°以上坡耕地细沟的发生将减少坡面侵蚀量的大部分。

本研究采用人工降雨的方式,调查暴雨情况下紫色土坡耕地细沟发生过程及其侵蚀产流产沙特征,测量暴雨下细沟发生的临界坡长,并进一步探讨紫色土坡耕地防治细沟侵蚀发生的措施。

1 研究方法与试验设计

1.1 试验区概况

盐亭紫色土农业生态试验站(105°27′E, 31°16′N)位于四川省盐亭县林山乡,海拔 400~600 m,亚热带温湿季风气候,年均温度 17.3℃,年均降雨量

826 mm,雨季为 6~9 月,集中了全年 70% 以上的降雨量。出露岩层为侏罗纪上统蓬莱镇组紫色砂泥岩,产状基本水平,层状丘陵地貌。石灰性紫色土,质地为中壤,林地主要为桉柏混交林,主要作物有水稻、玉米、小麦、甘薯、花生、油菜等。土地利用以坡耕地为主,水稻主要集中于截留沟边灌溉条件较好的平坦地。20 世纪 80 年代以该站为基地研究了“聚土免耕”、粮经作物套种等保持水土的坡耕地耕作措施,取得了较好的增产增收效益。

1.2 试验设计

试验在修建于 2003 年的 4 块 1.5 m×5 m 的小区 and 修建于 2006 年的 4 块 2 m×8 m 的小区上开展,坡度分别为 10°、15°、20°、25°,装填土壤为石灰性紫色土,土壤特性见表 1,土层厚度为 40 cm。小区一年耕种两次,按照季节不同采用轮作制种植越冬小麦、油菜、花生、马铃薯、玉米等。试验前将表层 20 cm 土壤用锄头翻松整平,手工捡出石砾。土壤翻松后均匀洒水,保证土壤表层(5 cm)含水量在 25%左右,试验前用 TDR 测试表层土壤含水量。分析盐亭站 2003 年以来的降雨数据表明,暴雨次数 15 次,最大次降雨量为 196.2 mm,最大 10 min 雨强为 111.69 mm/h。本次试验设计雨强为 110 mm/h,降雨历时为 28 min,1.5 m×5 m 规格 4 块小区各降雨 1 场,2 m×8 m 规格 4 块小区各降雨 2 场。10°、15°、20°、25°小区 110 mm/h 雨强降雨量变异系数分别为 11.8%、11.8%、9.8%、11.9%,实际雨强偏差均在 3% 以内。降雨器为中国科学院水土保持研究所研制生产的双侧单喷降雨机,通过调整喷头射流孔板调节雨强,喷头距离中轴线高度 6.5 m,管道压力控制在 0.12 MPa,实际降雨高度大于 8 m,钢架挡风棚高度 9 m。

降雨均匀度和降雨量测定采用 10 个简易的雨量筒测定,雨量桶为直径 150 mm、高 250 mm 的白铁皮制成,沿小区两边等间距放置。降雨开始产流后,先用 500 ml 塑料瓶连续采集 10 瓶水沙样品,10 瓶装满以后换用 6 000 ml 塑料桶收集水沙样品(每 1 min 采集 1 次水沙样品),并用秒表记录每次采集样品所需要的时间。记录每次采样的体积,样品澄清 12 h 以后用细胶管导出上层清液,下层水沙样品用 500 ml 铁皮盒盛装烘干 24 h 后称重。沟道侵蚀量采用填充法,填充土壤为临近小区表层土壤,质量含水量为 10.5%;称重每次填充所需土壤重量,并换算成干重。

表 1 试验紫色土特性

颗粒含量/ %				pH	有机质	阳离子交换量/
> 2 mm	2~ 0.1 mm	0.1~ 0.005 mm	< 0.005 mm		含量/ %	(cmol·kg ⁻¹)
4.67	15.13	61.61	18.59	7.42	14.84	328.2

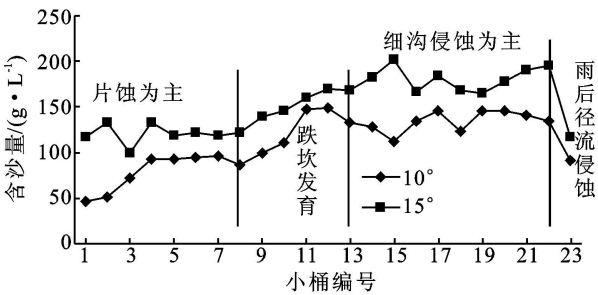
2 细沟发生过程及其临界坡长

2.1 细沟发生过程

降雨产流后在坡面形成漫流, 土壤中细小颗粒成分进入水流, 发生悬移输送, 但土壤表层微形态没有发生变化。随着降雨历时的延长, 土壤表层团聚体逐渐崩解, 在坡面漫流作用下发生输移, 土壤表面趋于平整, 糙度降低。坡面形成许多等间距跌坎, 高差较小, 常规测量无法进行。坡面中下部漫流向股流转变, 由于团聚体受雨滴击溅和水流的崩解速率不同, 股流主要发生在大粒径团聚体之间, 并不断下切土壤表面。从高清相机镜头中可以看到股流下切并不均匀, 在流道上首先形成许多跌坎。随着股流的进一步汇集, 跌坎高差不断增大, 从几毫米增大到 10~20 mm, 但跌坎之间基本平行且等间距。同时, 跌坎下沿发生溯源侵蚀, 跌坎溯源侵蚀的速率并不一致, 在某一位置跌坎发生贯穿, 进而顺坡方向跌坎不断下切、贯穿。坡面漫流基本不见, 坡面流以细沟流形式流动, 并不断下切沟槽、拓宽沟壁。

2.2 细沟发生过程产沙特征

从坡面侵蚀产沙过程来看, 有细沟发育的坡面径流含沙量先缓慢增加, 跌坎开始发育时迅速递增, 跌坎贯穿后径流含沙量趋于平稳, 围绕某一值上下波动, 降雨停止后径流含沙量又迅速降低。与坡面侵蚀特征相对应可以明显的将坡面侵蚀过程分为 4 个阶段, 分别为片蚀为主阶段、跌坎发育阶段、细沟侵蚀为主阶段、雨后径流侵蚀阶段(图 1)。1.5 m×5 m 规格 4 个小区产沙过程不尽相同, 其中 10° 小区人工降雨过程未见细沟发生, 径流含沙量变化趋势平缓; 15°、20°、25° 小区含沙量先增大后趋于平稳, 且其趋于平稳的时刻与坡面跌坎的贯穿时刻相近。15°、20°、25° 小区平均径流含沙量随坡度增大而增大, 分别为 35.7, 63.91, 77.49 g/L。2 m×8 m 规格 4 个小区均有细沟发育, 平均径流含沙量分别为 111.92, 150.07, 172.93, 211.54 g/L。



小桶编号为产流后每分钟连续采集样编号, 与产流后降雨历时一致

图 1 2 m×8 m 小区细沟发育过程含沙量变化

两种规格的小区填充法测得细沟侵蚀量占总侵蚀量的比例均随坡度增大而增大, 5 m 坡长小区细沟侵蚀量占总侵蚀量比例小于 8 m 坡长小区。1.5 m×5 m 规格 15°、20°、25° 三个小区细沟侵蚀量分别占总侵蚀量的比例为 13.09%、47.49%、55.09%。这一比例小于前人在黄土高原调查结果的原因可能在于试验小区坡长短, 细沟还没有完全发育就在小区坡脚遇到水泥挡板而发生堆积, 小区坡脚挡板前细沟几乎不明显说明在此发生了堆积。2 m×8 m 规格 10°、15°、20°、25° 4 个小区细沟侵蚀量占总侵蚀量的比例分别为 26.70% (23.59%、29.81%)、56.53% (52.15%、60.91%)、83.68%、90.67%, 明显大于 1.5 m×5 m 规格小区细沟侵蚀占总侵蚀量的比例。

2.3 细沟发生临界坡长

通过对细沟发生过程的观察, 细沟发生的判定以跌坎贯穿为标志, 细沟发生后沟头的溯源侵蚀不在本研究统计之列。1.5 m×5 m 规格 15°、20°、25° 小区在 110 mm/h 雨强降雨下有细沟发生, 细沟沟头出现的顺坡坡长分别为 4.22, 2.70, 1.58 m; 10° 小区无细沟发生, 可能是由于 10° 小区细沟发生临界坡长大于小区坡长。2 m×8 m 规格 10°、15°、20°、25° 小区在 110 mm/h 雨强降雨下均有细沟发生, 细沟沟头出现的顺坡坡长分别平均为 6.25 m (6.16 m、6.35 m)、4.05 m (3.87 m、4.47 m)、2.81 m (2.72 m、2.90 m)、1.60 m (1.55 m、1.66 m)。可见 25° 以内, 细沟发生的临界坡长随坡度的增大而缩短(表 2)。

表 2 紫色土坡耕地细沟发生临界坡长统计

小区规格	10°		15°		20°		25°	
	L_R /m	R /%	L_R /m	R /%	L_R /m	R /%	L_R /m	R /%
1.5 m×5 m	—	—	4.22	13.09	2.70	47.49	1.58	55.09
2.0 m×8 m	6.16	23.59	3.87	52.15	2.72	83.68	1.55	90.67
	6.35	29.81	4.47	60.91	2.90	—	1.66	—
平均值	6.25	—	4.19	—	2.77	—	1.60	—

注: L_R 为细沟发生临界坡长; R 为细沟侵蚀量占坡面总侵蚀量的百分比。

郑粉莉^[11]研究了黄土坡面细沟发生的临界坡长与坡度呈二次抛物线关系, 本试验利用 10°、15°、20°、

25° 小区的临界坡长结果回归得到式(1)。

$$L_R = 0.0089J^2 - 0.62J + 11.53 \quad (1)$$

式中: L_R ——临界坡长(m); J ——坡度($^\circ$), 决定系数 R^2 达到 0.999 4。将式(1)两边对坡度求导数, 求得紫色土细沟发生临界坡长的拐点坡度为 34.7° , 略大于郑粉莉^[11]在黄土高原的调查结果。拐点坡度又称为细沟发生临界坡长的临界坡度, 小于临界坡度的地块细沟发生的临界坡长随坡度增大递减, 大于临界坡度的地块细沟发生的临界坡长随坡度增大而增大。坡度小于临界坡度时细沟发生临界坡长随坡度增大而减小的原因在于随着坡度增大, 入渗量减少, 汇集导致跌坎贯穿的径流所需坡长变短。对于坡度大于临界坡度时临界坡长随着坡度增大而增大的原因比较复杂, 可能是由于坡度较大, 坡面受雨面积相对减少, 同时径流流速剧增, 水层变薄, 径流对坡面有效切应力反而减小, 导致汇集成跌坎贯穿所需坡长变长。由于本试验没有设计大于临界坡度的试验, 这一猜测需要在后期的试验中验证。

3 坡耕地防治细沟发生措施的探讨

坡耕地是四川丘陵区最主要的水土流失源地, 但由于人多地少, 为了保证区域粮食安全, 不可能全面实施退耕还林还草。因此, 对现有坡耕地的改造治理是控制川中紫色丘陵区水土流失的关键。传统的防治措施包括工程措施、植物措施以及耕作措施, 诸如坡改梯、等高植物篱、垄作、免耕等, 均取得了较好的防治水土流失效果。但均没有以控制细沟发生为目的的措施, 本研究在调查细沟发生临界坡长的基础上, 总结了“大横坡+小顺坡”的坡耕地微地形改造技术, 通过对现有坡耕地实施改造, 以细沟发生临界坡长为依据重新划分地块。

该设计通过构建横坡截流沟将长坡分割成地块坡长等于细沟发生临界坡长的小顺坡, 顺坡耕作的设计主要是依据川中农民的整地习惯, 部分坡度较大的地块最好实施免耕。横坡截流沟截断坡面, 改变坡面径流流向, 避免径流直接冲刷地块产生细沟。“大横坡+小顺坡”的主要优点在于造价低, 主要工程在开挖横坡截流沟, 以农民习惯的耕作方式耕作; 其次在于控制细沟的发生, 大大降低坡面土壤侵蚀量。同时, 可以解决川中紫色丘陵坡耕地土层偏薄、坡改梯困难的局面。

4 结语

通过人工降雨试验调查发现: 川中紫色丘陵坡耕地细沟发生以坡面跌坎的贯穿为标志, 针对径流含沙量变化特征将细沟发生过程分为片蚀为主阶段、跌坎发育阶段、细沟侵蚀为主阶段和雨后径流侵蚀阶段;

10° 、 15° 、 20° 、 25° 坡耕地细沟发生的平均临界坡长分别为 6.25、4.19、2.77、1.60 m; 细沟发生临界坡长与坡度呈二次抛物线关系 $L_R = 0.0089J^2 - 0.62J + 11.53$; 坡度小于拐点坡度时临界坡长随着坡度的增大而减小, 拐点坡度为 34.7° 。在人工降雨试验基础上, 总结以控制细沟发生为核心的“大横坡+小顺坡”耕作模式, 通过构建横坡截流沟分割地块, 实施有效的拦截径流, 减少坡面侵蚀泥沙。目前, 我们已经在中国科学院盐亭站布设了“大横坡+小顺坡”的实体模式, 进一步开展效益观测, 具体效益评估将在后续发表。

参考文献:

- [1] 王贵平, 白迎平, 贾志军, 等. 细沟发育及侵蚀特征初步研究[J]. 中国水土保持, 1988(5): 13-16.
- [2] 蔡强国, 陈浩. 影像降雨击溅侵蚀过程的多元正交试验研究[J]. 地理研究, 1989, 8(4): 8-36.
- [3] 朱显谟. 黄土高原流水侵蚀的主要类型及有关因素[J]. 水土保持通报, 1982, 2(3): 25-30.
- [4] 唐克丽, 郑世清. 杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治[J]. 水土保持通报, 1984, 4(4): 5-8.
- [5] 唐政洪, 蔡强国, 许峰, 等. 不同尺度条件下的土壤侵蚀试验监测及模型研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 781-787.
- [6] 关君蔚. 水土保持原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 3-12.
- [7] Govers G. Rill erosion on arable land in central Belgium, control and predictability[J]. Catena, 1991, 18(2): 133-155.
- [8] Foster G R, Huggins L F, Meyer L D. A laboratory study of rill hydraulics: I Velocity relationship[J]. Trans of ASAE, 1984, 27(3): 790-796.
- [9] Abrahams A D, Li G, Parsons A J. Rill hydraulics on a semiarid hill slope, southern Arizona[J]. Earth surface processes landforms, 1996, 21: 35-47.
- [10] 蔡强国, 朱远达, 王石英. 几种土壤的细沟侵蚀过程及其影响因素[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 12-18.
- [11] 郑粉莉. 发生细沟侵蚀的临界坡长与坡度[J]. 中国水土保持, 1989(8): 23-24.
- [12] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-10.
- [13] 余皓, 李庆逵. 四川之土壤[J]. 土壤专报, 1945, 4(24): 22-27.
- [14] 李仲明. 四川土壤资源特征及合理利用[J]. 资源开发与保护, 1985, 1(1): 1-6.
- [15] 何毓蓉, 黄成敏. 四川紫色土退化及其防治[J]. 山地研究, 1993, 11(4): 209-215.
- [16] 张丽萍, 朱钟麟, 邓良基. 四川省坡耕地资源及其治理对策[J]. 水土保持通报, 2004, 24(3): 47-49.
- [17] 王治国, 王艳. 川中丘陵区坡耕地水土流失灾害的综合治理[J]. 中国减灾, 1995, 5(1): 42-45.