

植物篱措施对紫色土坡耕地产流产沙及微地形的影响

马星¹, 王文武¹, 郑江坤¹, 秦伟^{2,3}, 单志杰^{2,3}, 陈鑫⁴, 向明辉⁴

(1. 四川农业大学林学院, 水土保持与荒漠化防治四川省高校重点实验室, 成都 611130;

2. 中国水利水电科学研究院, 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100048;

3. 水利部水土保持生态工程技术研究中心, 北京 100048; 4. 遂宁水土保持试验站, 四川 遂宁 629006)

摘要: 基于遂宁水土保持试验站坡耕地 2012—2016 年次降雨和径流输沙数据, 定量分析了自然降雨下植物篱对坡耕地产流产沙及微地形的影响。结果表明: 植物篱小区总径流深是对照小区的 80%~84%, 总冲刷量是对照小区的 34%~44%, 植物篱减沙作用优于减流。对照小区(Ⅱ小区和Ⅴ小区)径流深、冲刷量与平均雨强、降雨量均极显著相关($P < 0.01$); 植物篱小区(Ⅰ小区、Ⅲ小区和Ⅳ小区)径流深、冲刷量与平均雨强、降雨量均呈正相关, 其中径流深与降雨量极显著相关。各雨型间产流产沙差异不显著, 其中植物篱对 A 型雨(大雨强、短历时)减流减沙效果优于 B 型雨(中雨强、中历时)和 C 型雨(小雨强、长历时)。定植植物篱后, 篱带前出现泥沙淤积带, 15°香根草(Ⅰ小区)、10°香根草(Ⅲ小区)和 10°新银合欢(Ⅳ小区)平均坡度分别演变为 11.97°, 7.73°和 7.89°, 香根草植物篱的效果较明显, 植物篱使得坡耕地梯田化发展。

关键词: 植物篱; 雨型; 坡度; 径流深; 冲刷量; 微地形

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)06-0085-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.06.014

Effects of Hedgerows on Runoff and Sediment Yield and Microtopography on Purple Soil Sloping Farmland

MA Xing¹, WANG Wenwu¹, ZHENG Jiangkun¹, QIN Wei^{2,3},

SHAN Zhijie^{2,3}, CHEN Xin⁴, XIANG Minghui⁴

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Colleges and Universities, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048; 3. Research Center on Soil and Water Conservation of the Ministry of Water

Resource, Beijing 100048; 4. Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining, Suining, Sichuan 629006)

Abstract: Based on the data of individual rainfall, runoff and sediment yield of hedgerows sloping farmland from 2012 to 2016 in Suining Soil and Water Conservation Experimental Station, the effect of hedgerows on runoff and sediment yield and microtopography of sloping farmland was analyzed. The results showed that the total runoff depths of the hedgerows were 80% to 84% of the control plots. Meanwhile, the total sediment yields of the hedgerows were 34% to 44% of the control plots. Hedgerow's effects on sediment yield were better than that on runoff. The runoff depths and sediment yield of the control plots (plot II and plot V) were significantly correlated with the average rainfall intensity and rainfall ($P < 0.01$). In the hedgerows plots (plot I, plot III and plot IV), the runoff depths and sediment yield were positively correlated with the average rainfall intensity and rainfall. Especially, there were highly significant correlations between runoff depths and rainfall. For three rainfall patterns, there were no significant differences in the runoff depths and sediment yield among different plots. The hedgerows effect on runoff and sediment reduction of rainfall A (short duration, heavy rainfall) was better than that of rainfall B (moderate duration, moderate rainfall) and rainfall C (long duration, light rainfall). After planting the hedgerows, there was sediment accumulation zone near hedgerow lines. The average slope of plot I, plot III and plot IV turned to 11.97°, 7.73°, and

收稿日期: 2017-06-05

资助项目: 水利部公益性行业科研专项(201501045); 国家自然科学基金项目(41601028); 中国博士后科学基金面上项目(2012M511938); 四川省高校建设项目“水土保持与荒漠化防治重点实验室”

第一作者: 马星(1989—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: 578135985@qq.com

通信作者: 郑江坤(1982—), 男, 博士, 副教授, 主要从事生态水文和水土保持研究。E-mail: jiangkunzheng@126.com

7.89° from 15°, 10°, and 10°, respectively. Finally, hedgerows made sloping farmland benching.

Keywords: hedgerows; rainfall pattern; slope; runoff depth; soil erosion amount; microtopography

植物篱措施是在坡面沿等高线密植灌木、灌化乔木以及灌草结合的植物篱带,带间布置农作物的土地管理方式^[1],具有减少土壤侵蚀、控制面源污染和增加土壤肥力等作用^[2-4]。国内外学者围绕植物篱展开了大量研究,李海强等^[5]和 Lenka 等^[6]认为植物篱能有效改善土壤肥力;马云等^[7]认为植物篱坡耕地表层土壤砂粒、黏粒质量百分比增加 0.14%~2.09%,有效改善土壤物理性质;蒲玉林等^[8]提出不同植物篱综合抗蚀指数比常规横坡耕作模式增加 82.9%~102.9%;黎建强等^[9]进一步研究了植物篱系统土壤颗粒分形特征及其与土壤理化性质的关系;陈一兵等^[10]提出了适应西南地区的 11 种植物篱组合。以往研究多集中于植物篱作用下土壤理化性质和抗蚀性,针对不同雨型和植物篱产流产沙及微地形变化特征的研究较少。

紫色土集中分布于四川丘陵区,坡耕地比重大,土层薄,复种指数高,抗蚀性差,加之该区雨量丰富,降雨相对集中,水土流失极为严重^[11-12]。植物篱是川中丘陵紫色土区较为常见的一种水土保持措施,为探究植物篱对坡耕地产流产沙及微地形的影响,本研究以遂宁水土保持试验站内的紫色土坡耕地为研究对象,对比分析不同雨型下径流小区的产流产沙及微地形变化特征,以期为紫色土区坡耕地水土流失的有效防治和植物篱技术的推广应用提供理论依据。

1 研究区概况

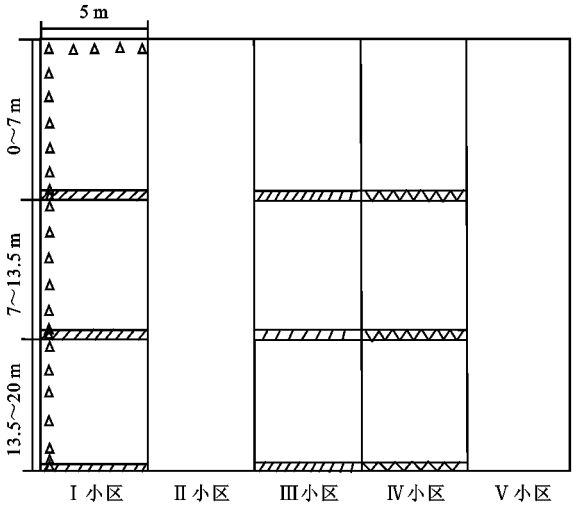
研究区位于四川省遂宁水土保持试验站(105°28'51"E, 30°21'51"N)。地处川中丘陵区,属涪江水系的一级支流琼江流域,海拔范围 288~331 m。气候类型为亚热带湿润季风气候。年均温为 18.2℃,多年平均降雨量 902 mm,其中 5—9 月的降雨量约占全年降雨量的 73%。年均蒸发量 897.2 mm,平均无霜期 296 d。母岩为侏罗系遂宁组岩层发育而成的紫色土,土壤松散,大多是砂、页、泥岩风化形成的幼年土,结构性差,土壤 pH 呈中性到微碱性,土壤抗冲刷和抗蚀能力均弱^[13]。

2 研究方法

2.1 样地选择

径流小区(长 20 m、宽 5 m)布设在遂宁水土保持试验站内,小区四边均砌水泥围墙。共选取 5 个径流小区,其中,Ⅰ小区与Ⅲ小区为香根草植物篱(Vetiveria zizanioides),Ⅳ小区为新银合欢植物篱(Leucaena leucocephala),Ⅱ小区与Ⅴ小区为空白对照组;植物篱小区上、中、下部各布设一组植物篱带,

每组带宽 0.4 m 或 0.5 m,株行距 0.2 m,每年春季齐地收割植物篱。2012 年 4 月至今径流小区布置见图 1。植物篱已连续生长 5 年,有植物篱处理小区基本形成了 3 级梯田。



注:Ⅰ小区为 15°香根草植物篱小区;Ⅱ小区为 15°对照小区;Ⅲ小区为 10°香根草植物篱小区;Ⅳ小区为 10°新银合欢植物篱小区;Ⅴ为 10°对照小区;△表示测量点,小区从左至右,从上到下均 1 m 测量 1 次,有植物篱处加测 1 次。

图 1 试验小区布设

2.2 数据测定方法

采用自记式雨量计记录降雨历时,结合降雨过程线计算次降雨量和降雨强度,根据雨强和降雨历时划分雨型,用径流深 H 和冲刷量 Q 描述坡耕地产流和产沙特征。

径流泥沙测定方法:每个小区下方均建有观测房,SW40 型日记水位计被用来观测水位。径流深为径流总量与径流小区面积之比,取样分析径流中泥沙含量计算泥沙量,合计每次降雨的径流泥沙量即得土壤流失量^[14]。

降雨类型划分:根据平均雨强和降雨历时,将 2012—2016 年引起产流产沙的 28 场降雨分为 A 型、B 型和 C 型(表 1)。A 型为大雨强、短历时降雨,占总场次的 28.5%;B 型为中雨强、中历时降雨,占总场次的 35.7%;C 型为小雨强、长历时降雨,占总场次的 35.7%。

表 1 不同降雨类型特征

降雨类型	降雨历时/h	平均雨强/(mm·h ⁻¹)	降雨场次	所占比例/%	累计降雨量/mm
A 型	0~5	>6	8	28.5	333.20
B 型	5~10	3~6	10	35.7	374.90
C 型	>10	<3	10	35.7	460.00

小区微地形测量方法:小区在初建时坡面平整,土壤为回填土,土层厚度 60 cm。Ⅰ小区与Ⅱ小区坡

度为 15°,Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ小区坡度为 10°,小区水泥边框
的坡度与小区坡度一样,通过测量小区内土面与小区
边框高度,计算土层厚度变化来确定小区地貌变化。
小区基本信息见表 2。

表 2 2013 年小区基本信息									
径流 小区	坡度/ (°)	耕作方式	黏粒 (<0.002 mm)	粉粒 (0.05~0.002 mm)	砂粒 (2~0.05 mm)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全 N/ (g·kg ⁻¹)	全 P/ (g·kg ⁻¹)	全 K/ (g·kg ⁻¹)
I 小区	15	横坡耕作	15.95	54.66	29.40	14.53	1.31	0.61	47.19
Ⅱ小区	15	顺坡耕作	12.40	54.84	32.77	10.49	1.26	0.76	57.53
Ⅲ小区	10	顺坡耕作	15.56	61.40	23.04	25.95	1.47	0.74	55.97
Ⅳ小区	10	顺坡耕作	13.55	61.04	25.41	21.98	1.40	0.61	60.42
V 小区	10	横坡耕作	11.90	51.06	37.05	14.28	1.24	0.88	70.23

采用 EXCEL 和 SPSS 软件进行相关图表制作、
方差分析及相关分析。

3 结果与分析

3.1 不同植物篱对坡面水土流失的影响

表 3 统计了不同小区历年的径流深和冲刷量。
由表 3 可知,总体上,各小区径流深和冲刷量表现为
15°>10°,坡度越大,径流泥沙量越大。5 年间总径流
深和总冲刷量的趋势为Ⅱ小区>Ⅰ小区,V 小区>Ⅳ
小区>Ⅲ小区。植物篱小区总径流深是对照小区的
80%~84%,总冲刷量是对照小区的 34%~44%,说
明植物篱能显著减少径流深和冲刷量,起到保持水土

作用。进一步分析,Ⅲ小区和Ⅳ小区的径流深和冲刷
量都比 V 小区少,且Ⅲ小区总径流深是Ⅳ小区的
80%,总冲刷量是Ⅳ小区的 78%,在 10°小区,香根草
植物篱控制水土流失的效果要好于新银合欢植物篱。
这是因为香根草根系发达,生长繁殖速度快,其根系
在纵深发展的同时相互交错形成密集网状交织根
系^[15],从而在固持篱下土壤的同时减缓地表径流,拦
截部分径流携带的上坡泥沙;同时,香根草发达的根
系又能够改善土壤结构,增加土壤孔隙度,促进地表水
入渗。需要指出的是,2012 年 V 小区径流深略小于Ⅲ小
区和Ⅳ小区,V 小区冲刷量略小于Ⅲ小区,这可能是由于
植物篱生长年限短,加之人为耕作造成的。

年份(年)	径流深/mm					冲刷量/(t·km ⁻²)				
	I 小区	Ⅱ小区	Ⅲ小区	Ⅳ小区	V 小区	I 小区	Ⅱ小区	Ⅲ小区	Ⅳ小区	V 小区
2012	104.72	111.37	74.81	85.83	73.94	385.70	441.69	271.43	256.34	261.82
2013	82.25	118.56	66.18	71.96	94.22	191.80	732.20	136.00	168.91	529.08
2014	44.76	49.58	31.30	29.45	35.18	27.22	368.98	33.04	28.75	164.78
2015	23.12	25.67	18.13	16.66	20.24	18.46	29.75	15.31	16.27	31.80
2016	47.52	72.74	39.41	39.72	63.65	1122.48	2373.10	571.85	839.08	1994.08
合计	302.37	377.92	229.83	243.63	287.23	1745.66	3945.72	1027.63	1309.35	2981.56

3.2 次降雨与产流产沙特征的相关分析

降雨是坡耕地水土流失的源动力之一。其中较
为常见的降雨指标有降雨强度(I)和降雨量(P);降
雨强度越大,雨滴动能和终极速度越大,对土壤表层
稳定性破坏越大,土壤的侵蚀量越大^[16];随着降雨量
的增加,超过土壤实际入渗能力,导致土壤透水能力
下降,更多地降雨会变成地表径流。

为明确试验区降雨与地表径流、泥沙流失量之间的
关系,根据自记雨量计记录的降雨过程线及观测到的径
流泥沙量,对次降雨平均雨强(I)、降雨量(P)与径流深
(H)、冲刷量(Q)进行相关分析。由表 4 可知,Ⅱ小区和 V
小区径流深、冲刷量与平均雨强、降雨量均呈极显著相

关($p<0.01$);I 小区、Ⅲ小区和Ⅳ小区冲刷量与平均雨
强、降雨量呈正相关,径流深与平均雨强呈正相关,与降
雨量呈极显著相关;一方面,植物篱能减少部分降雨直
接滴溅土壤造成的损失;另一方面能够及时减缓降雨产
生的径流流速,分散径流,促使径流泥沙沉淀,降低土壤
流失量。但是,径流深与降雨量的相关系数表现出Ⅱ小
区(0.68**)大于 I 小区(0.61**),V 小区(0.69**)大于Ⅲ
小区(0.66**)和Ⅳ小区(0.51**),说明植物篱减沙作用
优于减流作用。在雨量较小时,植物篱通过增加土壤
孔隙度,降低流速减少坡面径流,随着雨量增加,地表
蓄水量逐渐饱和,同样会产流,植物篱减少坡面产流
的作用是有一定限度的。

表 4 降雨特征参数与径流深和冲刷量的相关系数										
降雨特征 参数	径流深/mm					冲刷量/(t·km ⁻²)				
	I 小区	Ⅱ小区	Ⅲ小区	Ⅳ小区	V 小区	I 小区	Ⅱ小区	Ⅲ小区	Ⅳ小区	V 小区
I	0.13	0.54**	0.28	0.37	0.61**	0.32	0.65**	0.30	0.37	0.60**
P	0.61**	0.68**	0.66**	0.51**	0.69**	0.16	0.74**	0.20	0.23	0.50**

注: ** 表示相关程度达极显著水平($p<0.01$);I 为平均雨强;P 为降雨量。

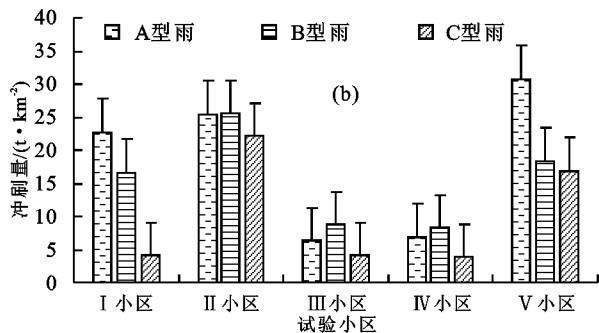
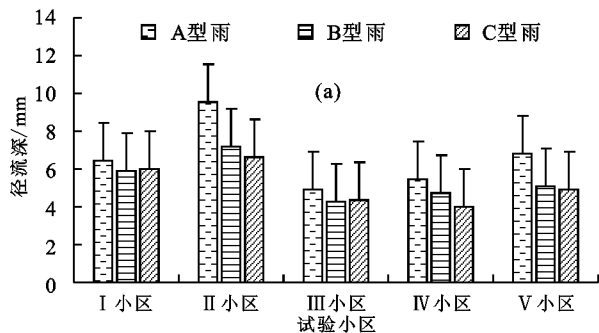
3.3 不同雨型下植物篱坡耕地产流产沙效应

图 2(a)、图 2(b) 表示了试验小区在不同雨型下产流产沙特征。由图 2(a)、图 2(b) 可知, II 小区和 V 小区平均径流深和平均冲刷量依次表现为 A 型雨 > B 型雨 > C 型雨。从降雨侵蚀力方面看, A 型雨是使坡面产流产沙的主要动力, 是造成坡面土壤侵蚀的主要降雨类型。

同一雨型不同小区平均径流深之间、平均冲刷量之间差异均不显著 ($p < 0.05$); 但总体趋势为 II 小区 > I 小区, V 小区 > IV 小区 > III 小区; II 小区侵蚀最严重, 其次是 V 小区, 说明 3 种雨型下植物篱均起到了减少径流、拦截泥沙的作用。

相同坡度下, 植物篱对不同雨型产流产沙的拦截作用不同。在 A 型雨、B 型雨和 C 型雨下 I 小区平

均径流深比 II 小区减少了 3.12, 1.22, 0.62 mm; 平均冲刷量分别比 II 小区减少了 2.64, 8.93, 18.13 t/km², 说明香根草植物篱在 15° 坡耕地对 A 型雨减流作用优于减沙作用, 而对 C 型雨减沙作用优于减流, 这是由于坡度增大和人类耕作侵蚀造成的。总体讲, 定植植物篱对 15° 坡面水土保持切实有效。在 IV 小区和 III 小区, 径流深和冲刷量表现出 A 型雨、B 型雨和 C 型雨之间差异均不显著。与 V 小区相比, A 型雨下 III 小区径流深减少了 1.87 mm, 冲刷量减少了 24.59 t/km²; IV 小区径流深减少了 1.35 mm, 冲刷量减少了 23.99 t/km²; III 小区和 IV 小区在 A 型雨下径流深和泥沙量的减少量都要多于 B 型雨和 C 型雨, 说明在 10° 坡耕地, 植物篱对 A 型雨减沙减流作用优于 B 型雨和 C 型雨。



注: A 型雨为大雨强、短历时降雨; B 型雨为中雨强、中历时降雨; C 型雨为小雨型、长历时降雨; 同一小区不同雨型之间及同一雨型不同小区之间均差异不显著 ($p < 0.05$)。

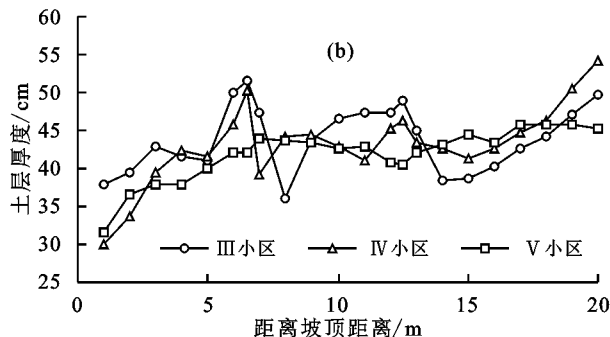
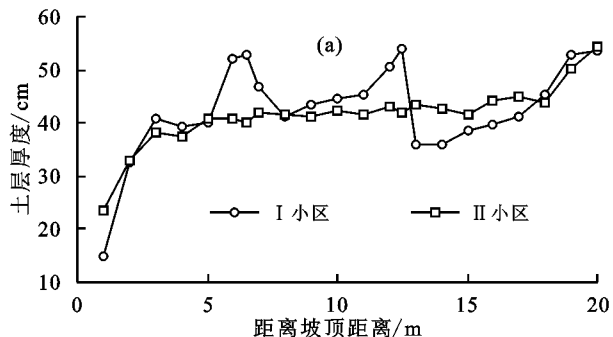
图 2 不同植物篱小区在不同雨型下产流和产沙变化

3.4 植物篱改变微地形效应

图 3 表示了不同小区坡面土层厚度变化情况。如图 3(a)、图 3(b) 所示, 5 个小区顶部坡面土壤都出现较大侵蚀, 原因是小区受边缘限制, 在降雨过程中始终处于侵蚀源头, 土壤侵蚀剧烈。II 小区和 V 小区中部有明显的侵蚀现象, 由于没有植物篱等拦截措施, 径流在坡面汇集, 加剧土壤侵蚀, 携带走更多泥沙; 径流携带的泥沙受小区边缘限制在坡底淤积。I 小区、IV 小区和 III 小区均种植了 3 道植物篱, 植物篱拦截的泥沙在篱带处淤积, 形成淤积带并逐渐发展, 使得植物篱带间坡面逐渐变缓; 由于植物篱拦截了大部分泥沙, 篱带下方土壤受径流和降雨共同作用侵蚀

加剧, 同时受到耕作侵蚀作用, 坡面下降较为明显, 经过长时间后形成一道篱坎。随着植物篱的生长, 拦截泥沙作用逐渐增强, 篱坎逐渐增高的同时缩短了坡长, 坡耕地逐步转变为以植物篱为地埂的梯田。

植物篱对坡耕地微地形的改变存在一定差异。如图 3(a)、图 3(b) 所示, 同一坡度下, 篱坎高度表现为 III 小区 > IV 小区, 说明香根草植物篱控制水土流失的效果要好于新银合欢植物篱; 需要指出的是, IV 小区未被前两道植物篱拦截的泥沙量比 III 小区多, 泥沙在坡底淤积, 使得 III 小区第三道篱坎高度小于 IV 小区。同一植物篱品种下篱坎高度表现为 15° > 10°, 坡度越大水土流失量越大, 相应植物篱的水土保持作用就越明显。



注: 图(a)为 I 小区和 II 小区土层厚度变化; 图(b)为 III 小区、IV 小区和 V 小区土层厚度变化。

图 3 不同小区土层厚度变化

种植植物篱的小区坡度均变缓,Ⅰ小区平均坡度从原来 15°减小为 11.97°,Ⅲ小区和Ⅳ小区平均坡度从原来 10°减小为 7.73°和 7.89°(表 5),说明种植植物篱后土壤坡度明显减缓。对照小区坡度虽然也有所减缓,但这是由土壤侵蚀造成的。植物篱小区的坡度从上部至中部然后到下部逐渐减缓,原因是篱带前泥沙淤积并不是无限增高的,小区上部作为侵蚀源头遭受侵蚀同时没有外部泥沙补充,到第一道植物篱处泥沙被拦截一部分使坡度变缓;从上部流下的泥沙在第二道植物处淤积,中部坡度进一步变缓;在小区下部受第三道植物篱和小区边缘共同作用,淤积泥沙作用增强,坡度变化最为明显。

表 5 坡面不同位置坡度 单位:(°)

坡面位置/m	Ⅰ小区	Ⅱ小区	Ⅲ小区	Ⅳ小区	Ⅴ小区
0~6	13.31	13.29	9.07	8.98	9.03
6~7	14.18	13.77	9.77	9.45	9.05
7~12	13.24	13.04	8.78	8.74	8.94
12~13	13.56	12.65	9.00	8.50	8.51
13~20	9.57	10.38	6.44	6.92	7.06
平均	11.97	12.86	7.73	7.89	8.67

4 讨论

植物篱通过覆盖阻挡、改变局部径流及根系固持土壤、改变土壤颗粒性质等作用^[17-18],有效减少地表径流,保持土壤。本研究中,2012 年Ⅴ小区径流深略小于Ⅲ小区和Ⅳ小区,冲刷量略小于Ⅲ小区,植物篱没有起到保持水土的作用,这与袁久芹等^[19]在红壤坡耕地进行人工降雨的研究结果不同,主要是因为 2012 年植物篱生长初期,近地面枝叶稀疏,篱墙密集度低,对降雨及地表径流的拦截作用较弱;同时植物根系不发达,无法进一步固持土壤。随着植物篱的生长,从 2013 年开始,植物篱小区径流深和冲刷量均小于对照小区,并使篱带间农地坡度变缓,这与林超文等^[20]和 Cullum 等^[21]的研究结果有相同之处。降雨是坡面产流产沙的源动力。本研究结果表明与对照小区相比,植物篱小区径流深和冲刷量与雨强和降雨量相关性明显降低,这与李广等^[22]在黄土区“雨强对不同土地利用方式产流产沙均呈极显著正效应”的研究结果不同,而与李静苑等^[11]在紫色土区的研究结果有相同之处。降雨类型不同,坡面产流产沙也存在一定差异,秦伟等^[23]研究结果表明短历时、大雨强型降雨是造成坡面土壤侵蚀的主要降雨类型;本研究从不同类型降雨角度分析了植物篱对产流产沙的拦截作用,结果表明植物篱对 A 型雨(大雨强、短历时)径流泥沙拦截作用好于 B 型雨(中雨强、中历时)和 C 型雨(小雨型、长历时),进一步阐明了植物篱减流减沙作用。研究所设 10°和 15°两种坡耕地为研究区典型坡耕地类型,在此基础上讨论被广泛应用的香根草和新银合欢 2 种植物篱对坡耕地产流产沙及微地形的影响,对本区水土流失防治和植物篱推广应用更具实际指导意义。

5 结论

(1)在坡耕地上栽植植物篱,能有效减少径流量和泥沙量,起到减少水土流失的作用;同一小区不同雨型之间及同一雨型不同小区之间平均径流深、平均冲刷量差异均不显著。香根草植物篱减流减沙效益优于新银合欢植物篱,且植物篱对 A 型雨径流泥沙的拦截作用好于 B 型雨和 C 型雨。

(2)Ⅰ小区、Ⅲ小区和Ⅳ小区冲刷量与平均雨强、降雨量均呈正相关,径流深与平均雨强呈正相关,与降雨量极显著相关($p<0.01$),植物篱对泥沙的拦截作用好于其减流作用。对照小区(Ⅱ小区和Ⅴ小区)径流深、冲刷量与平均雨强、降雨量均极显著相关($p<0.01$)。

(3)植物篱可以有效改变坡耕地微地形。定植植物篱后,篱带前出现泥沙淤积带,篱带间农地坡度变缓,Ⅰ小区、Ⅲ小区和Ⅳ小区平均坡度分别变为 11.97°,7.73°和 7.89°。篱带处出现土坎,坡耕地变为以植物篱为地埂的梯田,且这种效果表现为香根草植物篱>新银合欢植物篱,15°坡耕地>10°坡耕地。

参考文献:

[1] 王玲玲,何丙辉,李贞霞,等. 等高植物篱技术研究进展[J]. 中国生态农业学报,2003,11(3):131-133.

[2] 涂仕华,陈一兵,朱青,等. 经济植物篱在防治长江上游坡耕地水土流失中的作用及效果[J]. 水土保持学报,2005,19(6):1-5.

[3] 何建林,何丙辉,马云,等. 植物篱对紫色土区坡地土壤养分分布特征的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(6):65-70.

[4] 黎建强,张洪江,程金花,等. 长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质[J]. 应用生态学报,2011,22(2):418-424.

[5] 李海强,郭成久,李勇,等. 植物篱对坡面土壤养分流失的影响[J]. 水土保持研究,2016,23(5):42-48.

[6] Lenka N K, Dass A, Sudhishri S, et al. Soil carbon sequestration and erosion control potential of hedgerows and grass filter strips in sloping agricultural lands of eastern India[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2012,158(6):31-40.

[7] 马云,何丙辉,何建林,等. 植物篱对紫色土区坡地不同土层物理性质的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(6):60-64,70.

[8] 蒲玉琳,谢德体,倪九派,等. 紫色土区植物篱模式对坡耕地土壤抗剪强度与抗冲性的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(5):934-945.

[9] 黎建强,张洪江,陈奇伯,等. 三峡库区植物篱系统土壤颗粒分形特征及其与土壤理化性质的关系[J]. 水土保持研究,2014,21(6):129-133.

[10] 陈一兵,林超文,朱钟麟,等. 经济植物篱种植模式及其生态经济效益研究[J]. 水土保持学报,2002,16(2):80-83.

[11] 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.