

玉米秸秆缓冲带防治黄土坡面细沟侵蚀的效果

覃超¹, 郑粉莉^{1†}, 徐锡蒙^{1,2}, 吴红艳^{1,2}, 沈海鸥^{1,3}

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100, 陕西杨凌;

2. 西北农林科技大学创新实验学院, 712100, 陕西杨凌;

3. 西北农林科技大学资源环境学院, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100, 陕西杨凌)

摘要: 采用室内人工模拟降雨试验, 设计降雨强度 100 mm/h, 坡度 20°, 在 2 个玉米秸秆缓冲带布设坡位(斜坡长 4.5 ~ 5.5 m 和 6.5 ~ 7.5 m) 与 2 个降雨历时(单次降雨 30 min 和 2 次连续降雨 30 min + 30 min) 的试验处理组合, 研究在黄土坡面不同坡位布设玉米缓冲带对防治细沟侵蚀的影响。结果表明: 1) 玉米秸秆缓冲带可减少坡面侵蚀量和细沟侵蚀量, 其中, 坡面侵蚀量减少 7.3% ~ 14.2%, 细沟侵蚀量减少 11.0% ~ 30.6%, 细沟侵蚀量对坡面侵蚀的贡献率减少 3.4% ~ 15.0%, 径流含沙量降低 5.5% ~ 12.8%; 2) 单次降雨情况下在斜坡长 4.5 ~ 5.5 m 处布设玉米秸秆缓冲带防治侵蚀的效果最佳, 坡面侵蚀量、细沟侵蚀量和径流含沙量分别减少 14.2%、30.6% 和 11.6%, 细沟平面密度和细沟平均深度分别减少 12.9% 和 21.9%; 3) 2 次连续降雨情况下在斜坡长 6.5 ~ 7.5 m 处布设玉米秸秆缓冲带防治侵蚀的效果较好, 坡面侵蚀量、细沟侵蚀量和径流含沙量分别减少 13.5%、25.0% 和 5.5%, 细沟平面密度和细沟平均深度分别减少 15.5% 和 16.3%。

关键词: 秸秆缓冲带; 细沟平面密度; 细沟平均深度; 细沟侵蚀强度; 人工模拟降雨

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3007(2015)01-0008-08

Effects of maize straw buffer in preventing rill erosion on loess slope

Qin Chao¹, Zheng Fenli¹, Xu Ximeng^{1,2}, Wu Hongyan^{1,2}, Shen Haiou^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi, China; 2. Innovative Experimental College, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi, China)

Abstract: Simulated rainfall experiments were conducted to study the effects of maize straw buffers laid on different slope positions in preventing rill erosion on loess slope. Experimental treatments include two slope positions (4.5 – 5.5 m and 6.5 – 7.5 m distance to the top) under a single simulated rainfall and two successive simulated rainfalls with the rainfall intensity of 100 mm/h and slope gradient of 20°. The results showed that under different maize straw buffer treatments, total erosion amount decreased by 7.3% – 14.2%, rill erosion amount by 11.0% – 30.6%, sediment concentration by 3.4% – 15.0% and proportion of rill erosion to total erosion amount by 5.5% – 12.8%, respectively. Among all treatments, the best way to prevent rill erosion under the single simulated rainfall was to establish maize straw buffer in the middle slope (at 4.5 – 5.5 m distance to the top); the total erosion amount, rill erosion amount, sediment concentration, rill horizon density and rill average depth decreased by 14.2%,

收稿日期: 2014-02-11 修回日期: 2014-10-26

项目名称: 水利部公益性行业专项课题“坡面水土保持措施空间布局对坡沟系统泥沙输移的影响作用”(A304021221); 国家自然科学基金“黄土丘陵区切沟发育过程与形态模拟”(41271299); 西北农林科技大学大学生创新实验项目“秸秆覆盖防治黄土区沟蚀效果研究”(2012XZ-1)

第一作者简介: 覃超(1989—), 男, 博士研究生。主要研究方向: 土壤侵蚀过程与机理。E-mail: glqinchao@nwsuaf.edu.cn

† 通信作者简介: 郑粉莉(1960—), 女, 博士, 研究员。主要研究方向: 土壤侵蚀过程、预报和侵蚀环境效应评价。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn

30.6% , 11.6% , 12.9% and 21.9% , respectively. Under two successive simulated rainfalls , maize straw buffer should be established at the lower slope (6.5 – 7.5 m distance to the top) for better prevention effect; the total erosion amount , rill erosion amount , sediment concentration , rill horizon density and rill average depth decreased by 13.5% , 25.0% , 5.5% , 15.5% and 16.3% , respectively.

Keywords: straw buffer; rill horizon density; rill average depth; rill erosion intensity; simulated rainfall

中国水土流失与生态安全考察报告表明,坡耕地是黄河泥沙的主要来源,细沟侵蚀是坡耕地的主要侵蚀方式之一,细沟侵蚀量占坡面总侵蚀量的70%以上^[1-2];因此,开展防治黄土坡面细沟侵蚀的研究具有重要意义。秸秆覆盖作为保护性耕作措施的核心技术,不仅能有效保护土壤团聚体结构,提高土壤有机质质量分数,还能增强土壤的抗蚀性和抗冲性,进而起到防治水土流失的作用^[3-6]。植物缓冲带与秸秆覆盖类似,不仅能提高土壤质量,促进泥沙沉积,增强地力^[7],还能降低径流流速,增加入渗^[8],减少土壤侵蚀。在国外,有关运用植物缓冲带技术防治土壤侵蚀的研究^[7-9]已有涉及,R. A. Pearce等^[10]研究了在人工模拟降雨条件下植草缓冲带的宽度和植物高度对产沙量的影响,试图找出最佳的缓冲带宽度和植物高度阈值。H. Blanco-Canqui等^[11]则指出用不同植物布置的缓冲带及其间距组合防治土壤侵蚀的效果不同。笔者拟运用植物缓冲带技术,在黄土坡面不同位置布置玉米秸秆缓冲带,通过室内人工模拟降雨试验,分析每次降雨后细沟沟头溯源侵蚀、沟底下切侵蚀和沟壁崩塌侵蚀的变化,阐明玉米秸秆缓冲带防治黄土坡面细沟侵蚀的效果,以期为黄土高原坡耕地粮草带间作防治细沟侵蚀提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室人工模拟降雨大厅进行。降雨设备为下喷式人工降雨装置,降雨高度18 m,降雨均匀度大于80%,雨滴直径和雨滴分布与天然降雨相似^[12]。试验土槽采用10.0 m(长)×3.0 m(宽)×0.5 m(深)的固定式液压升降钢槽,中间用钢板隔开,钢槽底部每1 m长排列4个孔径为2 cm的排水孔以保证降雨试验过程中排水良好。供试土壤为黄土高原丘陵沟壑区安塞县的黄绵土,其中有机质质量分数为5.9 g/kg,黏粒、粉砂粒与砂粒质量分数分别为13.6%、58.1%和28.3%。

1.2 试验设计

根据黄土高原常见的短历时、高强度侵蚀性降雨标准^[13]($I_5 = 1.52 \text{ mm/min}$, 5 min 瞬时雨量为7.6 mm),设计降雨强度为100 mm/h。由于黄土坡面细沟多发生在 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的裸露坡耕地上,因此本研究设计的坡度为 20° 。坡面中下部是坡面侵蚀泥沙来源的主要区域^[14-15],细沟形成后坡面土壤侵蚀总量将增加几倍至几十倍^[16];因此,确定秸秆缓冲带的布设位置为坡面中部(斜坡长4.5~5.5 m)和坡面中下部(斜坡长6.5~7.5 m),以此研究秸秆缓冲带防治细沟侵蚀的效果。

根据坡面细沟发育情况,本研究设计2组试验,每组试验包含3个处理,所有试验数据均以2次试验的平均值进行计算(表1)。第1组试验在单次降雨基础上进行,包含裸露无覆盖(BR-1)、距离坡顶4.5~5.5 m(CM-5)处布设玉米(*Zea mays*)秸秆缓冲带和距离坡顶6.5~7.5 m(CM-7)处布设玉米秸秆缓冲带。第2组试验在2次连续降雨情况下进行,包含2次连续降雨下的裸露无覆盖(BR-2)、单次降雨下裸露无覆盖形成细沟后分别在距离坡顶4.5~5.5 m(B+CM-5)处布设缓冲带和距离坡顶6.5~7.5 m(B+CM-7)处布设缓冲带。其中,2次连续降雨时间间隔为24 h。秸秆缓冲带的宽度为1 m,无细沟的坡面直接用整株玉米秸秆覆盖,覆盖厚度约5 cm,有细沟的坡面先用约5 cm长的秸秆填充细沟,再用整株玉米秸秆进行覆盖。具体布置措施见图1。

1.3 试验步骤

1) 试验土槽底部铺厚度为10 cm的细沙,细沙之上填装密度为 1.25 g/cm^3 的黄绵土,用于模拟犁底层,装土厚度10 cm。犁底层之上填装20 cm厚的黄绵土,每5 cm填装一层,密度控制为 1.10 g/cm^3 ;装上层土之前,先抓毛下层土壤表面,以保证土层之间接触良好。

2) 为保证试验前期土壤条件的一致性,正式降雨的前一天采用30 mm/h降雨强度进行预降雨至坡面产流为止。

3) 预降雨结束后,为防止试验土槽土壤水分蒸发,减缓结皮形成,用塑料布覆盖试验土槽,静置

表 1 试验设计

Tab. 1 List of experimental treatments

试验处理 Treatments		降雨强度 Rainfall intensity/ (mm·h ⁻¹)	降雨历时 Rainfall duration/ min	坡度 Slope/ (°)	玉米秸秆带缓冲带位置 Maize straw buffer located at slope length		试验重复 次数 Replicates
					第 1 次降雨 First simulated rainfall	第 2 次降雨 Second simulated rainfall	
单次降雨 Single simulated rainfall	BR-1	100	30	20	裸露无缓冲带 Without buffer		2
	CM-5	100	30	20	4.5 ~ 5.5 m		2
	CM-7	100	30	20	6.5 ~ 7.5 m		2
2 次连续降雨 Two successive simulated rainfalls	BR-2	100	30 + 30	20	裸露无缓冲带 Without buffer	裸露无缓冲带 Without buffer	2
	B + CM-5	100	30 + 30	20	裸露无缓冲带 Without buffer	4.5 ~ 5.5 m	2
	B + CM-7	100	30 + 30	20	裸露无缓冲带 Without buffer	6.5 ~ 7.5 m	2

注: BR-1 为单次降雨下裸露无覆盖; CM-5 为单次降雨下在斜坡长 4.5 ~ 5.5 m 处布设缓冲带; CM-7 为单次降雨下在斜坡长 6.5 ~ 7.5 m 处布设缓冲带; BR-2 为 2 次连续降雨下裸露无覆盖; B + CM-5 为单次降雨下裸露无覆盖形成细沟后在斜坡长 4.5 ~ 5.5 m 处布设缓冲带; B + CM-7 为单次降雨下裸露无覆盖形成细沟后在斜坡长 6.5 ~ 7.5 m 处布设缓冲带。Note: BR-1 represents that single simulated rainfall was conducted on the loess slope without maize straw buffer; CM-5 represents that maize straw buffer was established on 4.5 - 5.5 m slope length under single simulated rainfall; CM-7 represents that maize straw buffer was established on 6.5 - 7.5 m slope length under single simulated rainfall; BR-2 represents that two successive simulated rainfalls were conducted on the loess slope without maize straw buffer; B + CM-5 represents that after the first simulated rainfall without maize straw buffer, buffer was established on 4.5 - 5.5 m slope length under the second simulated rainfall; B + CM-7 represents that after the first simulated rainfall without maize straw buffer, buffer was established on 6.5 - 7.5 m slope length under the second simulated rainfall.



图 1 试验布设

Fig. 1 Experimental design

12 h 后进行试验布设。

4) 正式降雨开始前,按照完全随机试验设计的原则,选择左、右部分土槽进行试验布设(对照处理不布设缓冲带),然后率定降雨强度,当降雨强度达到 100 mm/h 且降雨均匀度大于 95% 时,随机选择一侧土槽进行试验,同时将另一侧土槽用塑料布覆盖,待一侧土槽降雨结束后再进行另一侧土槽的降雨。

5) 正式降雨开始后即仔细观察坡面产流情况,记录初始产流时间并连续接取径流样,待产流稳定后采样间隔为 2 min。降雨过程中,用高锰酸钾染色法测量坡面流和细沟流的表层流速,并用直尺测量水深。选取有代表性的细沟观测其长、宽、深的变化情况。试验全程用高清摄像设备录像,并在沟壁崩

塌等细沟发育关键时刻进行拍照记录。

6) 降雨结束后,去除径流样的上层清液,然后放入 105 °C 烘箱,烘干后称量。选取沟深大于 1.0 cm 且具有明显沟缘^[17]的细沟用测尺法量测雨后坡面形态,并用容积法^[18]计算细沟侵蚀量。

1.4 数据分析

每次降雨后,以 1.0 m(长) × 1.5 m(宽)为基本计算单元,分别量取单位斜坡长坡面细沟的深度和宽度,然后计算单位斜坡长对应的细沟平面密度、细沟平均深度和细沟侵蚀强度。

1) 细沟平面密度。细沟平面密度^[14]是指试验土槽所有细沟平面面积之和与该区域总面积的比值,量纲为 1,该指标能综合反映细沟沟头溯源侵蚀和沟壁崩塌侵蚀的程度。表达式为

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{A_0} \quad (1)$$

式中: μ 为细沟平面密度, %; A_0 为研究区域的总面积 m^2 ; A_i 为研究区域内第 i 条细沟的平面面积 m^2 ; n 为研究区域内所有细沟的数目。

2) 细沟平均深度。细沟平均深度^[14]是指试验土槽所有细沟深度的加权平均值,该指标能较好地反映细沟的下切程度。表达式为

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n h_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

式中: H 为细沟平均深度, cm; h_i 为对应的第 i 条细沟深度, cm。

3) 细沟侵蚀强度。细沟侵蚀强度是指试验土槽单位面积的细沟侵蚀量,是细沟平面密度和细沟平均深度的综合反映。表达式为

$$E = \frac{S_i}{A_i} \quad (3)$$

式中: E 为细沟侵蚀强度, kg/m^2 ; S_i 为第 i 个研究坡段内的细沟侵蚀量, kg; A_i 为对应的第 i 个研究坡段的面积, m^2 。

2 结果与分析

2.1 秸秆缓冲带对坡面侵蚀量的影响

由表 2 可知 2 组试验中,玉米秸秆缓冲带均能较好地防治坡面侵蚀,尤其是对于细沟侵蚀。单次降雨条件下,缓冲带能有效减少坡面侵蚀量,降低径

流含沙浓度,也能减少细沟侵蚀量及其对坡面侵蚀量的贡献率。与对照处理相比,总侵蚀量和细沟侵蚀量分别减少 12.2% ~ 14.2% 和 27.9% ~ 30.6%。

连续降雨条件下,3 个试验处理之间的总侵蚀量、细沟侵蚀量和径流含沙量在第 1 次降雨后均无显著性差异(表 2),其变异比例分别为 3.0% ~ 7.6%、2.1% ~ 16.0% 和 3.0% ~ 11.4%。说明试验间有较好的重复性,且第 1 次降雨为第 2 次降雨提供了相对一致的侵蚀条件,这与 L. Gholami 等^[19]研究秸秆覆盖防治坡面侵蚀的试验结果类似,该研究指出,裸露处理 3 个重复试验间产沙量的差异可达 18% ~ 25%。第 2 次降雨后,B + CM-7 处理减少总侵蚀量和细沟侵蚀量的比例皆高于 B + CM-5 处理,但降低径流含沙量的比例略低于 B + CM-5 处理。在减少细沟侵蚀量对坡面侵蚀量的贡献率方面,B + CM-5 和 B + CM-7 处理均低于 CM-5 和 CM-7 处理,其值分别为 3.4% 和 11.1%。

综上所述,在坡面细沟产生前,布设玉米秸秆缓冲带防治细沟侵蚀的效果较好,若坡面细沟已经产生,则需在坡的中下部(斜坡长 6.5 ~ 7.5 m 处)布设秸秆缓冲带以减少细沟侵蚀,不同试验处理细沟侵蚀的防治效果排序为:CM-5 > CM-7 > B + CM-7 > B + CM-5。

2.2 秸秆缓冲带对坡面细沟发育的影响

2.2.1 对细沟平面密度的影响 对于单次降雨的试验处理,玉米秸秆缓冲带能在一定程度上减少坡面细沟平面密度。其中,CM-5 和 CM-7 处理分别减少细沟平面密度 12.9% 和 4.7%(表 3)。从图 2 可

表 2 不同试验处理的总侵蚀量、细沟侵蚀量和径流含沙量

Tab. 2 Total erosion amount, rill erosion amount and sediment concentration under different treatments

试验处理 Treatments	总侵蚀量 Total erosion amount/kg			细沟侵蚀量 Rill erosion amount/kg				径流含沙量 Sediment concentration/(g·L ⁻¹)			
	第 1 次 降雨 First simulated rainfall	第 2 次 降雨 Second simulated rainfall	减少比 例/% Reduction percentage/ %	第 1 次 降雨 First simulated rainfall	占总侵 蚀量/% Proportion to total erosion amount/%	第 2 次 降雨 Second simulated rainfall	占总侵 蚀量/% Proportion to total erosion amount/%	减少比 例/% Reduction percentage/ %	第 1 次 降雨 First simulated rainfall	第 2 次 降雨 Second simulated rainfall	减少 比例/% Reduction percentage/ %
单次降雨 Single simulated rainfall	BR-1	251.0a		198.3a	79.0				354.9ab		
	CM-5	215.3a	14.2	137.7b	64.0			30.6	313.5b		11.6
	CM-7	220.3a	12.2	143.0b	64.9			27.9	309.4b		12.8
2 次连续降雨 Two successive simulated rainfalls	BR-2	251.0a		198.3a	85.5	156.9a	82.5		354.9ab	260.5a	
	B + CM-5	258.5a	7.3	202.4a	78.3	139.6a	79.1	11.0	383.8a	236.4a	9.3
	B + CM-7	240.3a	13.5	174.4ab	72.6	117.6b	71.4	25.0	395.3a	246.3a	5.5

注:同一列中字母不同表示达到 P 为 0.05 显著差异,下同。Note: Different letters in the same column represent significant difference at $P = 0.05$. The same as below.

以看出: 对照处理 (BR-1) 的细沟平面密度随斜坡长的变化呈先缓慢上升后达到稳定, 然后又继续上升至斜坡长 7 m 处达到最大值的趋势; 而缓冲带处理 (CM-5 和 CM-7) 的细沟平面密度随斜坡长呈波动

变化。与 BR-1 处理相比, CM-5 和 CM-7 处理缓冲带布设处的细沟平面密度分别减少 54.0% 和 26.6%, 缓冲带下方 1 m 处的细沟平面密度分别减少 45.7% 和 9.5%。

表 3 不同试验处理的细沟平面密度、细沟平均深度和细沟侵蚀强度

Tab. 3 Rill horizon density, rill average depth and rill erosion intensity under different treatments

试验处理 Treatments	细沟平面密度 Rill horizon density/%			细沟平均深度 Rill average depth/cm			细沟侵蚀强度 Rill erosion intensity/(kg·m ⁻²)		
	第 1 次 降雨 First simulated rainfall	第 2 次 降雨 Second simulated rainfall	减少 比例/% Reduction percentage/ %	第 1 次 降雨 First simulated rainfall	第 2 次 降雨 Second simulated rainfall	减少 比例/% Reduction percentage/ %	第 1 次 降雨 First simulated rainfall	第 2 次 降雨 Second simulated rainfall	减少 比例/% Reduction percentage/ %
	单次降雨 Single simulated rainfall	BR-1	17.0a		7.3a			13.2a	
	CM-5	14.8a	12.9	5.7b		21.9	9.2b		30.3
	CM-7	16.2a	4.7	5.8b		20.5	9.5b		28.0
2 次连续降雨 Two successive simulated rainfalls	BR-2	17.0a	23.8a	7.3a	9.8a		13.2a	23.7a	
	B + CM-5	17.7a	21.9a	8.0	6.3c	8.4b	14.3	13.5a	22.8a
	B + CM-7	16.3a	20.1a	15.5	6.6c	8.2b	16.3	11.6ab	19.5a

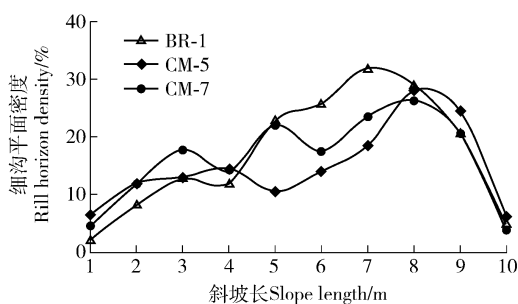
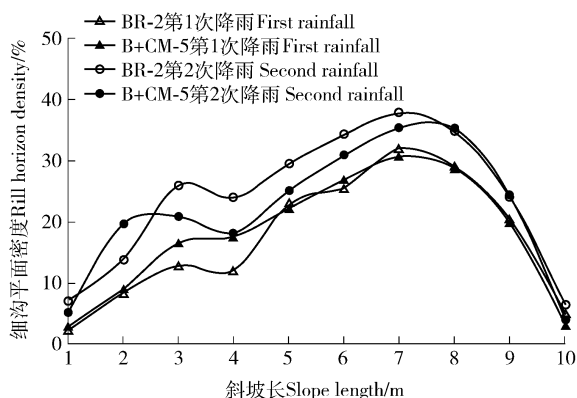


图 2 单次降雨条件下细沟平面密度随斜坡长的变化 (按基本单元面积测定)

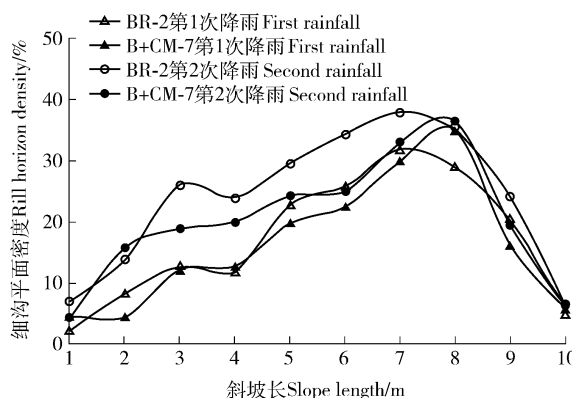
Fig. 2 Changes of rill horizon density with slope length under single simulated rainfall (measured with element area)

对于 2 次连续降雨的试验处理, 第 1 次降雨后各试验处理间的细沟平面密度为 16.3% ~ 17.7%,

变异比例为 4.1% ~ 8.6%, 说明细沟沟头溯源侵蚀和沟壁扩张侵蚀的程度差别不大。不同处理下第 2 次降雨的细沟平面密度均比第 1 次降雨有所增加, 但增加幅度不同 (表 3)。对于 BR-2 处理, 第 2 次降雨比第 1 次降雨细沟平面密度的坡面平均值增加 40.0%, 而对于 B + CM-5 和 B + CM-7 处理, 细沟平面密度仅分别增加 23.7% 和 23.3%。由图 3 可知: BR-2、B + CM-5 和 B + CM-7 处理第 1 次降雨坡面细沟平面密度随斜坡长的分布规律基本一致, 均在斜坡长 7 ~ 8 m 处达到最大值; 第 2 次降雨缓冲带布设处 (4.5 ~ 5.5 m 和 6.5 ~ 7.5 m) 的细沟平面密度虽比第 1 次降雨有所增加 (分别为 13.5% 和 10.0%), 但增加幅度小于 BR-2 处理 (分别为 29.0% 和 18.5%)。在秸秆缓冲带下方 1 m 处, BR-2 处理的



(a) 4.5~5.5 m 缓冲带处理 4.5~5.5 m maize straw buffer



(b) 6.5~7.5 m 缓冲带处理 6.5~7.5 m maize straw buffer

图 3 2 次连续降雨条件下细沟平面密度随斜坡长的变化 (按基本单元面积测定)

Fig. 3 Changes of rill horizon density with slope length under two successive simulated rainfalls (measured with element area)

细沟平面密度分别比第 1 次降雨增加 32.7% 和 20.1% ,而 B + CM-5 和 B + CM-7 处理的增加幅度分别为 14.9% 和 4.2% 。

2.2.2 对细沟平均深度的影响 由表 3 可知 ,对于单次降雨的试验处理 ,布设玉米秸秆缓冲带减少细沟平均深度的效果优于减少细沟平面密度的效果 ,与对照处理(BR-1)相比 ,CM-5 和 CM-7 处理分别减少细沟平均深度 21.9% 和 20.5% 。由图 4 可知 ,细沟平均深度随斜坡长的变化趋势与细沟平面密度随斜坡长的变化趋势有所不同 ,BR-1 处理细沟平均深度的最大值出现在斜坡长 8 m 处 ,而 CM-5 和 CM-7 处理细沟平均深度的最大值分别出现在斜坡长 7 m 和 5 m 处。同对照处理相比 ,缓冲带布设处(4.5 ~ 5.5 m 和 6.5 ~ 7.5 m) 的细沟平均深度明显减少 ,CM-5 和 CM-7 处理分别减少 41.6% 和 41.9% 。在秸秆缓冲带下方 1 m 处 ,CM-5 和 CM-7 处理的细沟平均深度均低于对照处理(较对照分别减少 42.2% 和 40.0%) 。

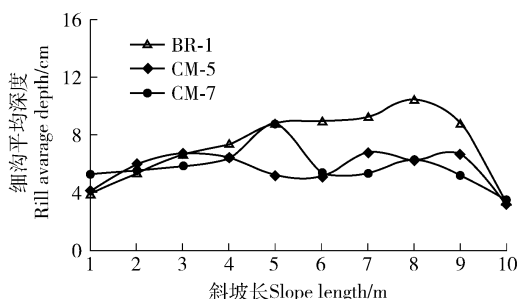
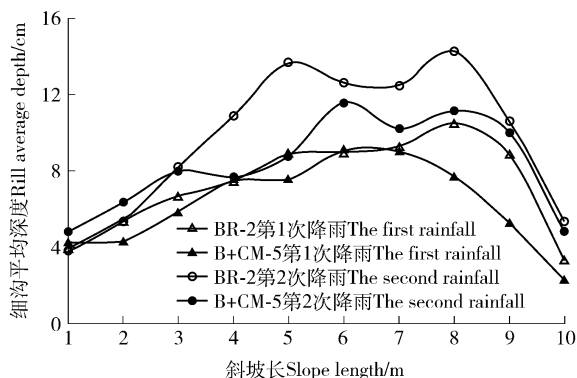


图 4 单次降雨条件下细沟平均深度随斜坡长的变化 (按基本单元面积测定)

Fig. 4 Changes of rill average depth with slope length under single simulated rainfall (measured with element area)

对于 2 次连续降雨的试验处理 ,第 1 次降雨后

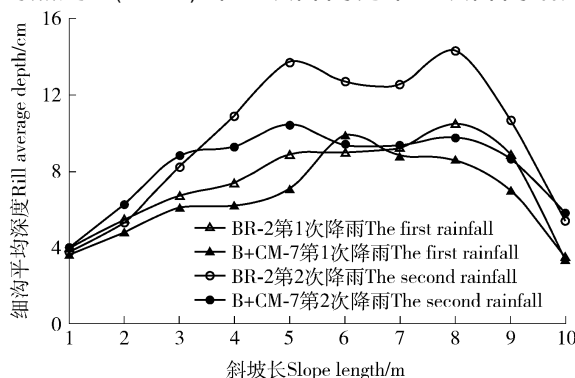


(a) 4.5~5.5 m 缓冲带处理 4.5~5.5 m maize straw buffer

各试验处理的细沟平均深度介于 6.3 ~ 7.3 cm 之间 ,变异比例为 4.8% ~ 15.9% 。说明细沟尚未下切至犁底层 ,尚处于发育活跃期 ,沟底下切侵蚀的程度差别不大。由表 3 可知 ,秸秆缓冲带抑制细沟下切侵蚀的效果好于抑制细沟平面密度增加的效果。对照处理(BR-2) 第 2 次降雨比第 1 次降雨细沟平均深度的坡面平均值增加 34.3% ,而缓冲带处理(B + CM-5 和 B + CM-7 处理) 仅分别增加 33.3% 和 24.2% 。由图 5 可知 :在缓冲带布设处(4.5 ~ 5.5 m 和 6.5 ~ 7.5 m) ,BR-2 处理第 2 次降雨的细沟平均深度比第 1 次降雨分别增加 54.0% 和 34.4% ,而 B + CM-5 和 B + CM-7 处理仅分别增加 15.8% 和 6.8% ;在秸秆缓冲带下方 1 m 处 ,BR-2 处理的细沟平均深度分别比第 1 次降雨增加 41.1% 和 36.2% ,而 B + CM-5 和 B + CM-7 处理仅增加 28.9% 和 12.8% 。

2.2.3 对细沟侵蚀强度的影响 由表 3 可知 ,秸秆缓冲带具有较好地减少细沟侵蚀强度的作用 ,与对照处理相比 ,BM-5 和 BM-7 处理减少细沟侵蚀强度分别为 30.3% 和 28.0% 。由图 6 可知 ,对于单次降雨的试验处理 ,在斜坡长 1 ~ 3 m 处 ,3 个处理的细沟侵蚀强度曲线基本重合 ,但在布设秸秆缓冲带的部位 ,CM-5 和 CM-7 处理的细沟侵蚀强度较对照处理分别减少 65.4% 和 55.1% ;在秸秆缓冲带下方 ,CM-5 和 CM-7 处理的细沟侵蚀强度同对照处理相比分别减少 72.6% 和 40.2% 。

对于 2 次连续降雨的试验处理 ,第 1 次降雨后各试验处理的细沟侵蚀强度介于 11.6 ~ 13.5kg/m² 之间 ,变异比例为 2.3% ~ 16.4% ,说明试验间有较好的重复性 ,细沟侵蚀强度无显著性差异(表 3) 。对照处理(BR-2) 第 2 次降雨比第 1 次降雨细沟侵



(b) 6.5~7.5 m 缓冲带处理 6.5~7.5 m maize straw buffer

图 5 2 次连续降雨条件下细沟平均深度随斜坡长的变化(按基本单元面积测定)

Fig. 5 Changes of rill average depth with slope length under two successive simulated rainfalls (measured with element area)

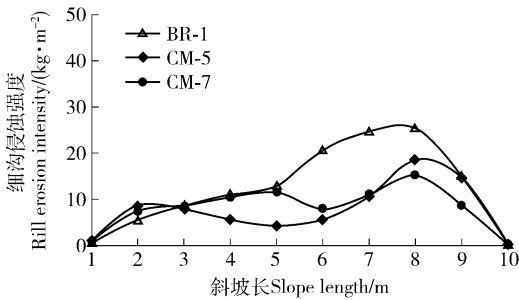
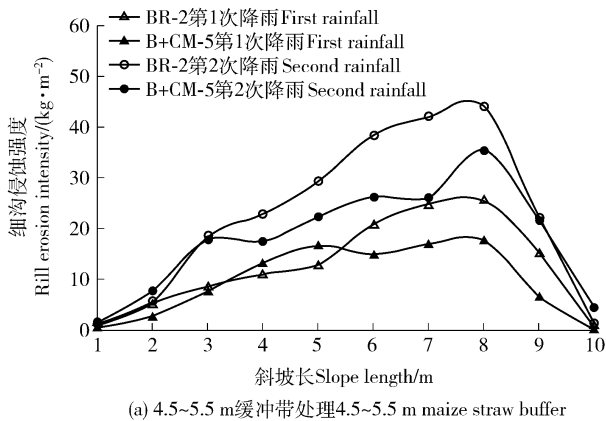
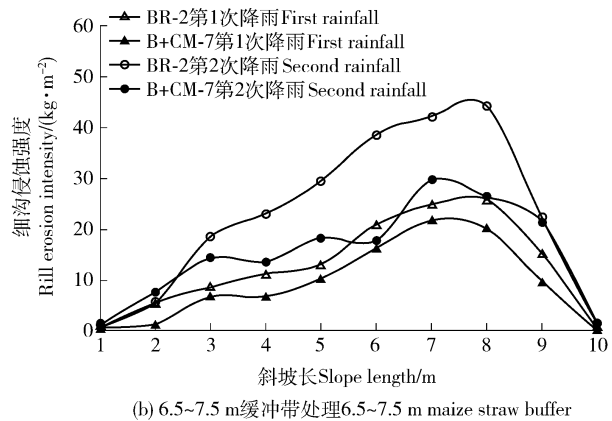


图6 单次降雨条件下细沟侵蚀强度随斜坡长的变化(按基本单元面积测定)

Fig. 6 Changes of rill erosion intensity with slope length under single simulated rainfall (measured with element area)



(a) 4.5~5.5 m缓冲带处理4.5~5.5 m maize straw buffer



(b) 6.5~7.5 m缓冲带处理6.5~7.5 m maize straw buffer

图7 2次连续降雨条件下细沟侵蚀强度随斜坡长的变化(按基本单元面积测定)

Fig. 7 Changes of rill erosion intensity with slope length under two successive simulated rainfalls (measured with element area)

3 讨论

秸秆缓冲带对细沟侵蚀的防治作用主要通过拦截、滞缓和分散上坡汇流,以及增加覆盖坡段泥沙沉积等作用来减少坡面侵蚀量和细沟侵蚀量。对于单次降雨的试验处理,在坡面细沟产生前即布设玉米秸秆缓冲带。一方面,缓冲带上方的细沟股流在遇到缓冲带后被分散,其流路被重新分配并以坡面漫流的形式继续向坡下运动,径流流速降低,冲刷能力减弱,坡面侵蚀量下降;另一方面,缓冲带对坡面径流的分散,限制了细沟侵蚀的发展,阻止了其上方和下方断续细沟的连通,也减缓了缓冲带下方坡面细沟的进一步发育,进而减少了坡面侵蚀量和细沟侵蚀量。与对照处理相比,缓冲带处理的细沟平面密度和细沟平均深度均有所降低。说明玉米秸秆缓冲带能减缓坡面细沟的发育,降低细沟沟头溯源侵蚀、沟壁扩张侵蚀和沟底下切侵蚀的速率。

对于2次连续降雨的试验处理,由于坡面上细沟已经充分发育,玉米秸秆缓冲带主要通过降低径流流速(缓冲带布设处和下方细沟内径流的平均流

速分别为23.7 cm/s和20.8 cm/s),促进泥沙淤积,削弱径流能量,降低径流挟沙能力来减少坡面侵蚀量和细沟侵蚀量。此外,填充在细沟内的秸秆还能有效地防止沟壁崩塌,降低沟道的下切侵蚀与侧蚀速率,从而进一步减少坡面侵蚀量。

速分别为23.7 cm/s和20.8 cm/s),促进泥沙淤积,削弱径流能量,降低径流挟沙能力来减少坡面侵蚀量和细沟侵蚀量。此外,填充在细沟内的秸秆还能有效地防止沟壁崩塌,降低沟道的下切侵蚀与侧蚀速率,从而进一步减少坡面侵蚀量。

速分别为23.7 cm/s和20.8 cm/s),促进泥沙淤积,削弱径流能量,降低径流挟沙能力来减少坡面侵蚀量和细沟侵蚀量。此外,填充在细沟内的秸秆还能有效地防止沟壁崩塌,降低沟道的下切侵蚀与侧蚀速率,从而进一步减少坡面侵蚀量。

4 结论

1) 玉米秸秆缓冲带可减少坡面侵蚀量,降低径流含沙量,减少细沟侵蚀量并减少其对坡面侵蚀量的贡献率。单次降雨时在斜坡长4.5~5.5 m处布设玉米秸秆缓冲带防治侵蚀的效果最佳,2次连续降雨时在斜坡长6.5~7.5 m处布设秸秆缓冲带防治效果较好。

2) 单次降雨时,玉米秸秆缓冲带能分散径流流路,阻止其上方和下方断续细沟的连通,使缓冲带布设处及其上、下方细沟的发展过程受到限制;2次连续降雨时,玉米秸秆缓冲带能降低径流流速,促进泥沙淤积,削弱径流能量,防止沟壁崩塌,降低沟道的下切侵蚀与侧蚀速率。

3) 研究结果可为黄土高原坡耕地粮草带间作

防治细沟侵蚀提供理论依据,在细沟产生前或细沟较少发生的黄土坡面每隔5 m 布设缓冲带防治细沟侵蚀的效果最好,若坡面细沟已经产生,则需延长缓冲带的布设间距以最大限度地减少细沟侵蚀。

5 参考文献

- [1] 鄂竟平. 中国水土流失与生态安全综合科学考察总结报告[J]. 中国水土保持, 2008(12): 3-6
- [2] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1982(1/2/3): 1-9
- [3] Adams J E. Influence of mulches on runoff, erosion, and soil moisture depletion[J]. Soil Science Society of America Journal, 1966, 30(1): 110-114
- [4] Jord A N A, Zavala L M, Gil J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain[J]. Catena, 2010, 81(1): 77-85
- [5] Babcock D L, McLaughlin R A. Erosion control effectiveness of straw, hydromulch, and polyacrylamide in a rainfall simulator[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 68(3): 221-227
- [6] 郑粉莉, 唐克丽, 周佩华. 坡耕地细沟侵蚀的发生、发展和防治途径的探讨[J]. 水土保持学报, 1987, 1(1): 36-48
- [7] Melville N, Morgan R. The influence of grass density on effectiveness of contour grass strips for control of soil erosion on low angle slopes[J]. Soil Use and Management, 2001, 17(4): 278-281
- [8] Meyer L D, Dabney S M, Harmon W C. Sediment-trapping effectiveness of stiff-grass hedges[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3): 809-815
- [9] Hussein J, Yu B, Ghadiri H, et al. Prediction of surface flow hydrology and sediment retention upslope of a vetiver buffer strip[J]. Journal of Hydrology, 2007, 338(3): 261-272
- [10] Pearce R A, Trlica M J, Leininger W C, et al. Efficiency of grass buffer strips and vegetation height on sediment filtration in laboratory rainfall simulations[J]. Journal of environmental quality, 1997, 26(1): 139-144
- [11] Blanco-Canqui H, Gantzer C J, Anderson S H, et al. Grass barrier and vegetative filter strip effectiveness in reducing runoff, sediment, nitrogen, and phosphorus loss[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(5): 1670-1678
- [12] 郑粉莉, 赵军. 人工模拟降雨大厅及模拟降雨设备简介[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 177-178
- [13] 周佩华, 王占礼. 黄土高原土壤侵蚀暴雨标准[J]. 水土保持通报, 1987, 7(1): 38-44
- [14] 吴普特, 周佩华, 武春龙, 等. 坡面细沟侵蚀垂直分布特征研究[J]. 水土保持研究, 1997, 4(2): 47-56
- [15] 肖培青, 郑粉莉, 史学建. 黄土坡面侵蚀垂直分带性及其侵蚀产沙研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 46-48
- [16] 唐克丽, 郑世清, 席道勤, 等. 杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治[J]. 水土保持通报, 1983, 3(5): 43-48
- [17] 张科利, 秋吉康宏. 坡面细沟侵蚀发生的临界水力条件研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 41-46
- [18] 郑粉莉. 细沟侵蚀量测算方法的探讨[J]. 水土保持通报, 1989, 9(4): 41-47
- [19] Gholami L, Sadeghi S H, Homae M. Straw mulching effect on splash erosion, runoff, and sediment yield from eroded plots[J]. Soil Science Society of America Journal, 2013, 77(1): 268-278

(责任编辑: 宋如华)