

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.06.021

刘凌佳, 陶静, 夏立忠, 等. 植物篱防蚀措施对三峡库区坡耕地微地形的影响. 土壤, 2023, 55(6): 1329–1335.

植物篱防蚀措施对三峡库区坡耕地微地形的影响^①

刘凌佳^{1,2,3}, 陶静^{1,2,3}, 夏立忠^{1,2*}, 吴永红^{1,2}

(1 湖北秭归三峡库区生态系统科学观测研究站, 湖北秭归 443600; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 3 华东交通大学, 南昌 330000)

摘要: 本文对位于三峡库区陡坡地 4 种管理模式长期试验径流小区坡面地形相关参数进行了观测、分析。结果显示, 与对照小麦-花生种植模式相比, 采用套种紫花苜蓿植物篱、香椿植物篱能够显著降低水土流失, 坡面地形沿篱基梯级化显著。而黑麦草-籽粒苋替代模式对水土流失控制效果不稳定, 且坡面地形与对照无差异。小麦-花生套种紫花苜蓿、香椿植物篱处理的坡面均形成基于篱带部的篱坎, 篱坎下部侵蚀较强, 篱带上淤下蚀现象明显。其中小麦-花生套种香椿植物篱小区坡面形成 2 级植物篱淤积坎, 坎宽幅平均达到 420.8 cm, 淤积坎相对高差为 40.4 cm, 平均坡度下降 1.4 度。小麦-花生套种紫花苜蓿植物篱坡面形成 4 级篱坎, 平均坎宽幅为 210.3 cm, 平均相对高度为 110.6 cm, 平均坡长为 238.1 cm, 平均坡度下降 0.3 度。说明坡耕地采用植物篱技术能够减蚀截淤, 显著改变微地形。针对微地形的变化, 套作植物篱的坡耕地在后期宜实行坡改梯或梯级坡地配套完善灌排设施, 利用已优选的植物品种设计木本与草本套种的复合植物篱, 有望进一步改善土体根系分布, 从而稳固篱坎, 控制水土流失。该研究为植物篱技术后续管理措施优化提供了参考依据。

关键词: 坡耕地; 植物篱; 微地形; 三峡库区

中图分类号: S157 **文献标志码:** A

Effects of Hedgerow Anti-erosion Measures on Microtopography of Slope Farmland in the Three Gorge Reservoir

LIU Lingjia^{1,2,3}, TAO Jing^{1,2,3}, XIA Lizhong^{1,2*}, WU Yonghong^{1,2}

(1 *Ecological System Scientific Observation and Research Station of Zigui Three Gorges Reservoir Area, Hubei Province, Zigui, Hubei 443600, China*; 2 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 3 *East China Jiaotong University, Nanchang 330000, China*)

Abstract: In this paper, the parameters related to slope topography of the long-term test runoff plot of the four management models on steep slope area located in the head area of the Three Gorges Reservoir were observed and analyzed. The results showed that, compared with the control (wheat-peanut planting pattern), the interplanting of alfalfa hedgerows and Chinese toon hedgerows significantly reduced soil erosion, and slope terrain was significantly stepped along the hedgerow foundation. However, the effect of replacing ryegrass-grain amaranth was not stable on soil erosion control, and no difference was found compared with the control. The slopes treated with wheat-peanut interplanting alfalfa and Chinese toon hedgerows all formed hedgerows based on the hedgerows, the lower part of the hedges eroded strongly, and the phenomenon of silting and erosion on the hedgerows was obvious. Among them, the slope of the wheat-peanut interplanted Toon hedgerow plot formed a second-level hedgerow silt, with an average width of 420.8 cm, a relative height difference of 40.4 cm, and an average slope drop of 1.4 degrees. Wheat-peanut interplanting alfalfa plant hedgerows formed 4-level ridges with an average ridge width of 210.3 cm, an average relative height of 110.6 cm, an average slope length of 238.1 cm, and an average slope drop of 0.3 degrees. It shows that the hedgerow technology can reduce erosion and intercept silt, and significantly change the micro-topography. In view of the change of micro-topography, the sloping farmland interplanted with hedgerows should be transformed into terraces or cascaded slopes with complete irrigation and drainage facilities in the later stage. Using optimized plant varieties to design compound

①基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41825021)资助。

* 通讯作者(lzxia@issas.ac.cn)

作者简介: 刘凌佳(1998—), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事稻田磷素循环研究。E-mail: 1185902024@qq.com

hedgerows interplanted with woody and herbaceous plants is expected to further improve soil quality. The distribution of the root system of the whole body, so as to stabilize the fence and control soil erosion. This study provides a reference for the optimization of follow-up management measures of hedgerow technology.

Key words: Sloping farmland; Hedgerow; Micro-topography; Three Gorges Reservoir area

近数十年来,为了有效控制水土流失,我国陆续实施了一系列坡耕地水土保持措施^[1-2]。刘宝元等^[3]按照科学性、适用性和定量化原则,将我国水土保持措施分为生物措施、工程措施和耕作措施 3 个一级类型,32 个二级类型和 59 个三级类型;吴发启^[4]从单项措施或两种措施组合的角度,将水土保持农业技术措施划分为以改变微地形为主的蓄水保墒技术,以提高土壤抗蚀力为主的保护性耕作措施,以增加植物覆盖为主的栽培技术 3 类。植物篱技术应用于山地生态保护和面源污染防治已经开展了很多工作,其中,植物篱以固持土壤、改善土壤肥力、增强养分循环和地下相互作用的特点呈现出较好的水土保持效果。已有研究显示,三峡地区植物篱间作的径流量和土壤流失量分别仅为传统管理农业坡耕地的 24.8% 和 16.9%^[5]。

已有研究集中于不同水土保持措施对水土流失的影响^[6],而长期试验条件下,坡耕地植物篱技术对微地形的影响及如何开展后续管理均未曾涉及。在降水、地表径流、地下径流的作用下,土壤、土体或其他地面组成物质被破坏、剥蚀、搬运和沉积^[7]。由于侵蚀和淤积,坡耕地微地形会发生改变,而坡耕地套作植物篱对这一变化产生影响^[8]。微地形的变化不仅进一步影响坡面产流与侵蚀,而且改变了微域生态条件,进而影响坡耕地的后续利用与管理。本文利用连续 15 a 试验的不同管理措施坡耕地径流场,参考不同的方法^[9-10],观测分析了不同管理措施下坡耕地微地形变化特征,从而为后续管理措施优化提供决策依据。

1 材料与方 法

1.1 野外试验布 设

试验点位于三峡库区湖北省秭归县水田坝乡上坝村(30.9°10'21.8"N, 110°38'51.9"E),海拔 235 m。区域地处亚热带湿润季风气候,年平均气温 16~19 °C,年降水量 1 100 mm 左右,70% 以上分布于 4—10 月。区域土壤为秭归向斜出露侏罗纪紫色砂岩发育的紫色土,质地均为壤土,2~0.05 mm、0.05~0.002 mm 和<0.002 mm 颗粒含量分别为 43%、38% 和 19%。

试验用径流场建于 2002 年,共设 5 个处理:多年生牧草, G1;旱作饲草与大豆轮作, G2;香椿植物篱, G3;紫花苜蓿植物篱, G4;小麦-花生轮作, G5。其中,处理 G1 为多年生黑麦草种植,具有很好的水土保持效果,但是由于连作障碍,小区中途废弃,故现存 4 个处理小区。试验中篱笆植物的筛选通常考虑符合 3 个特点:①植物篱容易建立与维护,植物生物量高;②可促进土壤养分循环,改善土壤肥力;③具有一定经济价值,如可作为饲料、柴火、绿肥等多种用途^[6]。本试验以当地普遍采用的小麦-花生顺坡耕作(G5)为对照;G3、G4 处理分别以香椿和紫花苜蓿作为篱笆植物,沿等高线按行距 20 cm,两行之间植株“品”字型交错布设,套作于小麦-花生坡耕地;G2 处理以黑麦草为优质饲草,选择秋冬季浅耕、撒播,翌年 5 月份清地后点播大豆(或籽粒苋),实行免少耕,减少耕翻引起的土壤流失。各小区年施肥量均为 N 0.9、P₂O₅ 0.59、K₂O 0.63 kg/plot。

各小区水平投影面积为 4.92 m × 8.46 m = 41.62 m²,按均一坡面设置,采用水泥预制板围隔而成。顺坡向隔板呈坡度 27°直线分布,与坡面平行;垂直坡向隔板等高布设。垂直坡面土层厚度为 40 cm 以上,隔板垂向顶端距坡面约 10 cm,埋深约 40 cm,土壤坡面为降水落实后均一坡面。各小区设有独立出水口和集水池。在自然降水时记录各小区产生的地表径流量,取各小区径流水的混合水样,测其泥沙含量,记录为径流降雨,即降雨达到产生径流时进行记录。室内分析:各小区径流水的混合水样,过滤后,采用 105 °C 烘干测其泥沙含量;降雨量与时段雨量、雨强测定采用 SJ-1 虹吸式雨量自记人工判读法。

1.2 坡面地形观测与分析

2002 年开始各小区开展连续试验,由于不同处理引起的侵蚀淤积,小区微地形逐渐产生变化。2011 年 7 月对微地形变化开展相应观测。以小区上部垂直坡向隔板为起点,依据坡面地形起伏,按照 20~50 cm 间距,采用 0.1 cm 精度标尺测定小区两侧顺坡隔板顶端到坡面的平均垂直距离。进一步采用空间插值法绘制坡面起伏剖面线。

空间插值常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面,以便与其他空间现象的分布模式进行

比较, 包括了空间内插和外推两种算法。本文采用空间内插算法中常见的边界内插法即通过已知点的数据推求同一区域未知点数据, 使用边界内插法时, 首先要假定任何重要的变化都发生在区域的边界上, 边界内的变化则是均匀的、同质的。

$$Z(X_0) = \mu + \alpha_k + \varepsilon$$

式中: Z 是在 X_0 位置的属性值, μ 是总体平均值, α_k 是 K 类平均值与 μ 的差, ε 为类间平均误差, 该模型假设每一类别 K 的属性值是正态分布; 每类 K 的平均值($\mu + \alpha_k$)由一个独立样品集估计, 并假设它们是与空间无关的, 类间平均误差 ε 假设所有类间都是相同的。分类效果的显著性检验可以用 F 检验。根据 Excel 2010 数据处理得出 G2、G3、G4、G5 处理的 F 分别为 49.39、90.67、83.64 和 45.85, 均大于 0.05, 由此证明分类效果显著。

试验数据分析采用 Excel、Origin 2018 等统计分析软件, 通过对比分析和方差齐性分析等方法, 分析不同处理措施的水土保持效果。运用 AutoCAD 绘制坡耕地的坡面断面图, 分析微地形变化。具体参数包括: 坡面淤积坎个数、宽幅、相对高度以及淤积坎的坡长、坡比、坡度。坡面淤积坎个数测定通过目测法, 以每个淤积坎的最高点为界, 将 G3 分为 2 段, G4 分为 4 段, G2 和 G5 为一段。淤积坎宽幅为每一段的水平距离; 淤积坎相对高度为每一段的垂直高度; 淤积坎坡长为段前点到段后点的直线距离; 淤积坎坡比计算公式为: $\tan \angle \alpha = \text{相对高度} / \text{坎宽幅}$; 淤积坎坡度计算公式为: α (坡度) = \arctan (相对高度 / 坎宽幅)。

2 结果

2.1 坡耕地径流场保护性模式对坡面水土保持的效果

7a 中一共统计记录了 110 次的监测, 结果(表 1, 表 2)表明, 坡面径流量以常规对照 G5 坡面径流量最高, 达 55.51 mm; 与 G5 相比, G2、G3、G4 处理的坡面平均年径流量分别减少 23.89%、33.2% 和 26.99%。说明与小麦-花生种植模式相比, 坡耕地香椿植物篱、紫花苜蓿植物篱均能有效拦截径流, 增高入渗, 降低坡面径流量。饲草与大豆轮作减少耕翻, 降低雨滴溅蚀, 增加入渗, 也可以减少坡面径流量。7a 平均坡面产沙量以常规对照 G5 处理最高, 达 57.3 g/m²; 与 G5 相比, G2、G3 和 G4 处理坡面平均年产沙量分别减少 61.36%、86.34% 和 85.83%。可见, 坡耕地采用香椿植物篱和套种紫花苜蓿植物篱

能够大幅降低坡面产沙量, 具有较好的水土保持功效; 旱作饲草与大豆轮作稍逊于 G3 和 G4, 也具有一定的水土保持功效。

表 1 坡耕地径流场小区坡面径流量(mm)

Table 1 Slope surface runoff of slope runoff plots

处理	2003	2004	2006	2007	2008	2010	2011	平均
G2	72.5	48.5	39.3	39.8	28.4	41.7	25.56	42.25 a
G3	50.7	35.2	31.1	45.5	39.4	35.6	22.06	37.08 b
G4	60.5	40.7	37.8	49.0	33.0	38.1	24.63	40.53 b
G5	71.5	55.4	47.8	68.9	65.1	49.4	30.47	55.51 a

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异显著($P < 0.05$), 下同。

表 2 坡耕地径流场小区坡面产沙量(g/m²)

Table 2 Sediment yields of slope runoff plots

处理	2003	2004	2006	2007	2008	2010	2011	平均
G2	52.90	34.35	29.02	4.83	5.12	12.45	16.30	22.14 b
G3	14.51	7.02	6.46	4.29	6.85	8.87	6.84	7.83 b
G4	16.99	6.08	6.39	4.20	7.35	9.93	5.93	8.12 b
G5	51.55	70.86	55.39	35.97	20.14	34.34	132.83	57.30 a

统计表明, 径流池水深随降雨量增高而呈显著性增高(图 1、表 3)。结合图 1 与表 3 可见, G2、G3、G4 的回归系数均大大低于 G5, 说明与对照相比, 采用套种植物篱和黑麦草-大豆(籽粒苋)替代模式小区的单位降雨的产流量较低。各处理泥沙含量和产沙量与降雨量变化的散点图(图 1)显示, 逐次降雨 G5 处理径流泥沙含量和产沙量一直高于其他处理, G2 处理径流泥沙含量和产沙量偶尔高于 G5 处理, 整体低于 G5; G3、G4 处理径流泥沙含量和产沙量一直处于较低的水平。说明植物篱措施控制水土流失效果显著, 而黑麦草-大豆(籽粒苋)替代模式虽然能够在一定程度上控制水土流失, 但效果不稳定。

2.2 坡耕地径流场地形变化

各小区在试验初始时地形保持一致, 为坡度 27° 均匀斜坡。经过 15 a 的水力侵蚀和淤积, 不同处理地形发生分化。根据 2017 年测量数据, 利用空间插值法构造的各处理坡地断面图(图 2)显示, 不同措施下, 坡地微地形变化显著。

由图 2 可见, G2 与 G5 坡面平缓均匀, 几乎没有起伏; G3 与 G4 坡面起伏较大, 在栽种了植物篱的地方, 地面增高, 形成篱坎, 篱坎下沿则出现侵蚀区。G3 区域种植了两排香椿植物篱, 形成 2 级植物篱淤积坎, 坎宽幅平均达到 420.8 cm, 淤积坎相对高差为 40.43 cm, 平均坡度下降 1.4°, 两级截坡平均坡长为 465.5 cm(表 4), 其下部为侵蚀区, 侵蚀

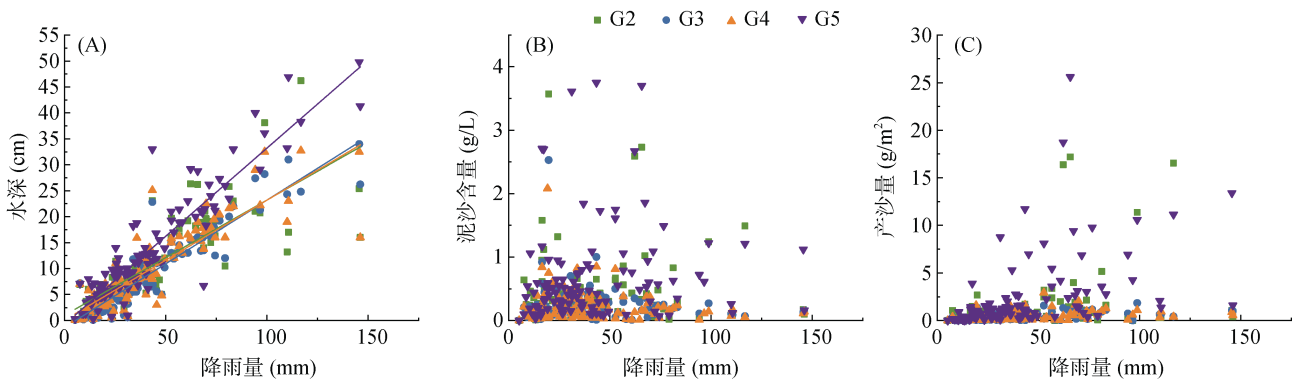


图 1 径流量(水深)、泥沙含量及产沙量随降雨量变化
Fig.1 Variation of runoff (water depth), sediment charge and sediment yield with rainfall

表 3 水深随降雨量变化线性拟合相关参数
Table 3 Linear fitting parameters of relationship between water depth with rainfall

处理	y=a+bx		
	a	b	R ²
G2	1.03	0.22	0.65
G3	-1.33	0.25	0.87
G4	0.09	0.23	0.77
G5	-0.72	0.34	0.85

注: x 为降雨量(mm), y 为收集径流降雨池的水深(cm), a 为截距, b 为斜率。

深度最高。由于香椿植物篱地上部分植被拦滤截阻作用和地下根系较强固持能力, 淤积区坡面显著增高, 但位于淤积区下部土壤流失更加严重。G4 区域为 4

排紫花苜蓿植物篱, 形成 4 级篱坎, 平均坎宽幅为 210.3 cm, 平均坡长为 238.1 cm, 平均坡度下降 0.3 度, 淤积坎平均相对高度为 110.6 cm, 同样在篱坎下部高度降低, 出现侵蚀。可见, 由于植物篱的拦截固土, 形成篱坎, 坡面地形由均一坡地演替为沿植物篱分布的阶梯型坡地, 各阶梯坡面坡度降低, 坡长被截短, 有利于进一步降低坡面侵蚀。而常规的小麦-花生模式和黑麦草-大豆(籽粒苋或油菜)模式虽然坡面侵蚀较为严重, 但坡面坡度几乎未见变化; 尤其常规小麦-花生模式产沙量最高, 但坡度无明显改变。一方面与坡面利用管理有关, 人为耕翻和整理使坡面保持相对稳定; 其次雨季坡面植被覆盖和人为整理减少严重侵蚀类沟蚀的发生, 地面侵蚀以溅蚀、片蚀和细沟类侵蚀为主。

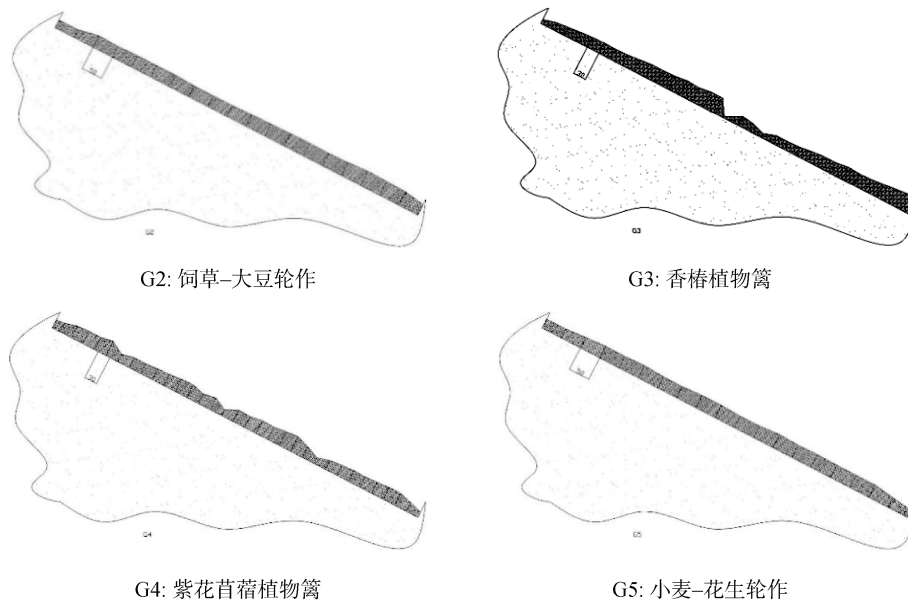


图 2 不同处理坡地断面图
Fig. 2 Slope cross-section diagrams under different treatments

表4 陡坡地植物篱处理坡面地形参数
Table 4 Topographic parameters of steep slope farmland under hedgerow treatments

处理	坡面淤积坎个数	坎宽幅(cm)	淤积坎相对高度(cm)	坡长(cm)	坡比	坡度(°)
G2	0	841.17	430.16	948.87	0.51	27.0
G3	2	413.42	180.24	451	0.44	23.7
		428.27	220.67	480	0.52	27.5
		130.76	49.27	139.74	0.38	20.8
G4	4	186.08	100.54	211.25	0.54	28.4
		242.35	119.69	270.05	0.49	26.1
		282.35	173.03	331.16	0.61	31.4
		841.79	438.35	950.31	0.52	27.5

3 讨论

三峡库区是我国重要的水蚀区之一,区域农业过度开发是造成水土流失的重要原因^[11]。本试验的对照选择小麦-花生轮作模式,是当地典型耕作模式之一,水土流失较为严重。试验结果显示,对照小区平均产沙量最高仅为 56.8 t/km²,甚至低于区域允许侵蚀模数。一方面,该值仅指示小区流失量,并非小区所发生的被侵蚀总量,因为部分侵蚀泥沙形成小区内淤积^[12];另一方面,试验小区为均一坡面,且坡长较短,加上四周围隔,实际产沙量主要来自于耕作造成的坡面土壤位移,以及雨滴溅蚀、坡面片蚀和细沟侵蚀,不包括一般意义上的深度侵蚀,如沟蚀、崩塌甚至滑坡引起的重力侵蚀^[13-17],其中细沟侵蚀占直线型坡面侵蚀中的主导地位^[18]。降水强度、坡面原始坡度、土壤特性、植被覆盖和人为耕作等,均能对土壤侵蚀造成影响^[19]。本试验中自然降雨侵蚀和耕翻引起陡坡地土壤向下迁移是坡面产沙的主要驱动力。区域雨季分布于 4—10 月,而常规小麦-花生处理年度分别在 5 月和 9—10 月两次耕翻,以松土施肥、播种和收获,耕翻与降雨重叠,土壤侵蚀较为严重^[20]。与之相比,黑麦草-大豆(籽粒苋或油菜)处理年度耕翻 1 次,所以与对照相比,侵蚀量相对较低。本项试验在四周围隔的小区中开展,主要观测不同利用方式和生态保护措施下,坡面径流和土壤流失的差异。试验表明,采用保护性植物篱技术,由于长期的侵蚀和淤积,形成篱坎,改变坡面微地形。深入地分析不同类型植物篱坡面地形演变驱动机制和演替趋势,以及进一步优化生态保护措施,防治水土流失,保护地力,以实现坡地可持续利用具有重要的现实意义。

植物篱作为水土保持生态措施的一种,起到缓解面源污染,拦蓄坡地表面的径流、泥沙,减缓坡度,形成生物梯田,并增加土壤抗蚀性等作用,进而达到控制坡耕地水土流失的目的^[21]。在该试验的坡耕地

中,陡坡地采取紫花苜蓿植物篱和香椿植物篱模式,产沙量均显著降低,与其他试验结果相符^[13,15]。多年生紫花苜蓿为豆科草本植物,可茎蔓生根繁殖,形成植物篱区域密集的蔓生茎,对过境径流具有较好的拦截功能^[22]。产流降雨发生时,紫花苜蓿植物篱阻滞径流,降低流速和径流夹砂力,过滤泥沙形成淤积。由于紫花苜蓿为草本植物,直立主茎高度约 20 cm 左右,抗冲刷力相对较弱,因此试验小区以顺坡 2.1 m 间隔等高设置,以增强其水土保持功效。香椿为落叶乔木,秆生长 50 cm 左右去顶促分枝,当分枝高于 50 cm 左右时将其截断,残枝横置篱带植株间地表,形成植株加残枝复合篱,具有拦截径流、过滤泥沙功能。木本植物抗冲刷能力强,因此试验小区以顺坡 4.03 m 间隔等高设置。植物篱区域仅在设置初期需要整地,后期无需耕翻,且雨季篱带地上植被覆盖好,地下根系具有较好的固土能力,因此篱带土壤稳定^[23]。由于拦截作用形成篱带基部地面泥沙淤积,从而逐步抬高形成篱坎^[24]。篱坎的形成,使坡面逐步被截成 2 段或 4 段较低坡度的短坡长斜坡,有利于进一步降低坡面径流冲刷,减少侵蚀,增高淤积。篱坎区域土壤不仅淤积泥沙,而且篱带植物枯枝落叶及其形成的有机物质改变坡面土壤的条件和性质,有利于改善土壤透气、透水性,提高入渗速率;且由于根系固定,土壤的抗蚀性、抗冲性以及土体的稳定性提高,起到保土保肥作用^[25]。由于香椿和紫花苜蓿植被类型、篱带设置、覆盖密度、根系固着等方面差异,其水土保持效果各有其特点,也是引起微地形差异的重要原因之一^[26]。

微地形条件是影响坡耕地坡面侵蚀的重要因素之一,也是反映地表局部变化与侵蚀程度的指标。植物篱造成了坡耕地微坡度和微坡向的变化,该变化与坡面时段侵蚀量呈显著正相关^[27]。由于坡面径流经过植物篱阻滤,过境后径流含沙量大幅降低,在径流

量较大时,挟沙能力增强,引起植物篱下部土壤较强侵蚀,逐步引起篱坎上下部高差增大。高差增大后过境径流形成跌落,势能转化为动能,进一步增强其侵蚀搬运能力^[28-29],因此两种植物篱模式的篱坎下部均出现侵蚀,G3淤积坎下部侵蚀高度约为 30 cm,G4淤积坎下部侵蚀高度约为 25 cm。有研究发现植物篱小区内部,局部的径流流速变化是导致侵蚀产沙量变化和微地形变化的根本原因,即在植物篱条带的上坡位置,径流流速下降,而在条带的下坡位置,径流流速增加,经过流速的一增一减,使得径流携沙能力下降,而导致泥沙侵蚀本身的减少和已侵蚀泥沙的淤积,逐渐造成了坡耕地微地形的改变^[27]。香根草植物篱改变坡耕地微地形的效应会随着栽种时间的推移逐渐显现(≥ 2 a),在篱带前端逐渐出现泥沙淤积带,篱带间农地坡度变缓,篱带下出现土坎^[30]。可见,植物篱上淤下蚀是篱坎形成的重要机制。这一机制既是篱坎形成的驱动力,也将是未来篱坎稳定的威胁因子。过篱后的坡面径流挟沙能力较强,加之跌落势能转为径流动能,不仅加剧篱坎下部位置侵蚀,且后期会对篱坎土体的稳定造成负面影响。因此,采用植物篱技术的坡耕地需要完善配套坡耕地灌排基础设施^[31-32],以防止径流冲刷引起侵蚀或间接诱发篱坎崩塌^[33]。

植物篱技术在我国三峡库区得到了广泛应用,但这些研究主要集中于其控制水土流失和面源污染的短期试验,其长期应用对坡面地形的影响和后期管理如何应对,鲜有相关文献。梯田是治理坡耕地水土流失的有效措施,具有显著的保土、蓄水、增产作用,在三峡库区陡坡地治理中得到广泛应用。有研究认为,三峡库区土坎梯田高度宜控制在 1.2 m 之内,外边坡约 60° 较为适宜。本试验小麦-花生套作紫花苜蓿植物篱模式淤积坎平均高度为 1 m,坎宽幅 2 m 左右,可考虑进一步修整为土坎梯田。而套作香椿植物篱模式虽然篱坎相对高度仅 2 m,但坎宽幅达 4 m 左右,在陡坡条件下坡改梯工程量过大,坡改梯后两级梯田,土梯梯坎过高而不稳定。后期管理可考虑维持香椿植物篱的两级坡地,种植少、免耕类作物;或增加两级植物篱以逐步坡改梯^[34-35]。可见坡耕地如果采用植物篱技术要实行后续坡改梯,必须充分利用篱带距离,以确保土梯梯坎安全和稳定^[36]。

篱坎的稳定是陡坡地植物篱技术后期管理的重要方面。篱笆植物不仅地上部分控制水土流失,其地下根系也是固持土体、稳定篱坎和防止水土流失的重要措施^[37]。木本植物根系粗壮且扎根较深,而草本

植物根系密集但深度相对较浅,两类植物套种构建复合植物篱既能控制坡面地表侵蚀,又能稳固篱坎,控制水土流失。除了本试验采用的香椿,木本植物用于植物篱的还包括新银合欢、紫穗槐、桑树和黄荆等;草本植物还有香根草、蓑草等,这些植物还具有药用或饲用价值,用于水土保持的同时,具有一定经济价值^[38-39]。

4 结论

陡坡地采用植物篱能有效控制坡面水土流失,通过连续 15 a 的试验,不同处理坡面地形发生明显差异。常规小麦-花生利用模式和黑麦草-大豆(籽粒苋或油菜)替代模式下,坡地厚度降低,但坡面地形没有明显变化;小麦-花生套种紫花苜蓿、香椿植物篱处理的坡面均出现篱带部上淤下蚀,形成篱坎,篱坎下部侵蚀较强。

小麦-花生套种紫花苜蓿植物篱处理随着篱坎的继续增高,可利用植物篱辅助优化设置坡改梯,并建议后期完善配套坡耕地灌排设施,以免出现强度侵蚀。依据不同类型植物根系特点可考虑利用已优选的植物品种设计木本与草本套种的复合植物篱,以改善土体根系分布,稳固篱坎,进一步控制水土流失。

参考文献:

- [1] 耿绍波,洪倩,卢建利,等. 工程堆积体坡面侵蚀影响因素研究进展[J]. 人民黄河, 2021, 43(S1): 104-108.
- [2] 袁希平,雷廷武. 水土保持措施及其减水减沙效益分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 296-300.
- [3] 刘宝元,刘瑛娜,张科利,等. 中国水土保持措施分类[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 80-84.
- [4] 吴发启. 水土保持农业技术措施分类初探[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(3): 111-114.
- [5] 许峰,蔡强国,吴淑安,等. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究——以等高植物篱为例[J]. 地理研究, 2000, 19(3): 303-310.
- [6] Sun H, Tang Y, Xie J S. Contour hedgerow intercropping in the mountains of China: A review[J]. Agroforestry Systems, 2008, 73(1): 65-76.
- [7] 黎武,王汝兰,梁明智,等. 地形因子在芦山县水土流失评价中的应用研究[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(16): 168-171.
- [8] 宋学忠,刘赫,张延红,等. 水土保持耕作措施及其对土壤的影响[J]. 现代农业科技, 2020(17): 172-173.
- [9] 黄凯,刘瑞禄,覃莉,等. 不同降雨条件下坡长对喀斯特坡面土壤侵蚀的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 271-280.
- [10] 程圣东,李占斌,李强. 干热河谷地区土壤物理特性对土壤侵蚀的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(5): 38-41.

- [11] 梁潇瑜, 信忠保, 王志杰. 北京土石山区坡面土壤水分动态及其对微地形的响应[J]. 水土保持学报, 2022, 36(3): 94-99.
- [12] 尚艳琼, 陈志强, 陈志彪, 等. 南方红壤侵蚀区芒萁叶片对微地形的响应[J]. 广西植物, 2022, 42(7): 1088-1095.
- [13] 龙天渝, 乔敦, 安强, 等. 基于 GIS 和 RULSE 的三峡库区土壤侵蚀量估算分析[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(2): 33-37.
- [14] 张攀, 姚文艺, 刘国彬, 等. 土壤复合侵蚀研究进展与展望[J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 154-161.
- [15] 郑粉莉, 徐锡蒙, 覃超. 沟蚀过程研究进展[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 48-59, 116.
- [16] 李芦岷, 吴冰, 李鑫璐, 等. 土壤侵蚀中的片蚀研究综述[J]. 地球科学进展, 2021, 36(7): 712-726.
- [17] 温莉. 基于遥感与 GIS 的三峡库区重庆段土壤侵蚀动态变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [18] 隗晓琪, 吴松柏. 坡形对坡面侵蚀过程的影响机制研究[J]. 中国农村水利水电, 2023(7): 117-123.
- [19] 王军, 魏飒, 刘凤婵, 等. 坡耕地降雨径流与土壤侵蚀特征研究[J]. 河北农业科学, 2021, 25(4): 88-92, 101.
- [20] 黄小芳, 丁树文, 柯慧燕, 等. 三峡库区植物篱模式对土壤理化性质和可蚀性的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(3): 9-15, 22.
- [21] 湛芸, 何丙辉, 向明辉, 等. 紫色土坡耕地植物篱的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 47-52.
- [22] 刘泉宏, 李铁, 湛芸, 等. 香根草植物篱带宽对紫色土坡地产流产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 93-101.
- [23] 高航, 徐向舟, 肖培青, 等. 暴雨条件下植被对沟坡重力侵蚀速率和规模的影响[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 17-24.
- [24] 朱乐红, 唐科明, 李豪, 等. 土壤理化性质对土壤侵蚀影响研究综述[J]. 现代农业科技, 2018(14): 189-191, 197.
- [25] 张信宝, 周萍, 严冬春. 梯田与植物篱的结构、功能与适用性[J]. 中国水土保持, 2010(10): 16-17.
- [26] 章龙飞. 植被过滤带在水利工程边坡水土保持中的应用[J]. 水利技术监督, 2021, 29(9): 213-215, 219, 224.
- [27] 金鑫, 刘浩楠, 周程风, 等. 降雨过程中黄土坡面微地形因子与侵蚀关系研究[J]. 人民长江, 2023, 54(3): 216-223, 235.
- [28] 张光辉. 对土壤侵蚀研究的几点思考[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 21-30.
- [29] 王针针, 刘泉宏, 湛芸, 等. 紫色土区植物篱前淤积带与篱下土坎土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 61-67.
- [30] 郭萍, 夏振尧, 高峰, 等. 香根草植物篱对三峡库区坡地紫色土侵蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(19): 105-112.
- [31] 马啸, 李晔, 李柏林, 等. 湖北三峡库区水土流失及其综合防治[J]. 亚热带水土保持, 2012, 24(4): 17-21, 25.
- [32] 卞亚平, 陶涛. 梯田的灌溉与排水技术[J]. 中国农村水利水电, 1998(10): 14-15.
- [33] 王子轩, 吴发启, 陈科兵. 耕作微地形单元对溅蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36(2): 161-165, 172.
- [34] 杜旭, 李顺彩, 彭业轩. 植物篱与石坎梯田改良坡耕地效益研究[J]. 中国水土保持, 2010(9): 39-41, 69.
- [35] 张永涛, 王洪刚, 李增印, 等. 坡改梯的水土保持效益研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 9-11, 21.
- [36] 张楠. 坡耕地水土流失治理中植物篱的运用分析[J]. 低碳世界, 2020, 10(6): 41, 86.
- [37] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6091-6101.
- [38] Mutegi J K, Mugendi D N, Verchot L V, et al. Combining Napier grass with leguminous shrubs in contour hedgerows controls soil erosion without competing with crops[J]. Agroforestry Systems, 2008, 74(1): 37-49.
- [39] Shi Z H, Chen L D, Cai C F, et al. Effects of long-term fertilization and mulch on soil fertility in contour hedgerow systems: A case study on steeplands from the Three Gorges Area, China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 84(1): 39-48.