

DOI: 10.5846/stxb201807061477

翟婷婷, 谌芸, 李铁, 向明辉, 王润泽, 唐菡, 周涛, 刘泉宏. 植物篱篱前淤积带与篱下土坎土壤水库和抗剪性能对比研究. 生态学报, 2020, 40(2): 599-607.

Zhai T T, Chen Y, Li T, Xiang M H, Wang R Z, Tang H, Zhou T, Liu X H. Comparative study on soil water reservoirs and shear strength between the sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(2): 599-607.

植物篱篱前淤积带与篱下土坎土壤水库和抗剪性能对比研究

翟婷婷¹, 谌芸^{1,*}, 李铁¹, 向明辉², 王润泽¹, 唐菡¹, 周涛¹, 刘泉宏¹

¹ 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

² 遂宁市水土保持试验站, 遂宁 629006

摘要:为探究紫色土坡地植物篱篱前淤积带与篱下土坎处土壤贮水能力和抗剪性能的差异及变化规律,选取四川遂宁水土保持试验站 10°新银合欢植物篱小区(L10)、10°香根草植物篱小区(V10)和 15°香根草植物篱小区(V15),分上、中、下坡采集篱前淤积带和篱下土坎(无下坡)0—30 cm 耕层土壤,测定土壤基本物理性质和土壤抗剪强度,计算土壤水库总库容、滞洪库容、内摩擦角 φ 和粘聚力 c 。结果表明:(1)同一篱带,篱前淤积带土壤保水贮水能力优于篱下土坎,其中篱前淤积带土壤自然含水率较之篱下土坎显著高 6.52%—12.13%。(2)同一篱带,篱下土坎土壤透气性以及土壤抗剪性能均优于篱前淤积带,其中篱下土坎土壤非毛管孔隙度较之篱前淤积带显著高 5.61%—57.70%。(3)同一小区,篱前淤积带保水贮水能力均表现为下坡>中坡>上坡,而篱下土坎均为上坡>中坡。其中 V15 小区上述趋势最明显,其下坡篱前淤积带(上坡篱下土坎)的土壤总库容和滞洪库容分别为上坡篱前淤积带(均为中坡篱下土坎)的 1.04 倍和 1.03 倍(1.02 倍)。(4)同一小区,篱前淤积带土壤内摩擦角、粘聚力 c 和抗剪强度均表现为上坡>中坡>下坡,篱下土坎均为上坡>中坡。其中 V10 小区上述趋势最明显,其上坡篱前淤积带(上坡篱下土坎)上述指标依次为下坡篱前淤积带(均为中坡篱下土坎)的 1.06、1.09 倍和 1.05 倍(1.04 倍)。(5)一个雨季前后篱前淤积带和篱下土坎土壤透气性、保水贮水能力及抗剪性能均无显著变化。

关键词:植物篱;微地形;淤积带;土壤总库容;抗剪强度

Comparative study on soil water reservoirs and shear strength between the sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows

ZHAI Tingting¹, CHEN Yun^{1,*}, LI Tie¹, XIANG Minghui², WANG Runze¹, TANG Han¹, ZHOU Tao¹, LIU Xiaohong¹

¹ College of Resources and Environment, Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Southwest University, Chongqing 400715, China

² Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining, Suining 629006, China

Abstract: The aim of the present study was to explore the differences and variation of the water storage capacity of soil and shear performance between the sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows on Purple Soil Slopping Farmland. This study set 10° *Leucaena leucocephala* hedgerows (plot L10), 10° *Vetiveria zizanioides* hedgerows (plot V10), and 15° *V. zizanioides* hedgerows (plot V15), from the Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining, Sichuan. There were sedimentation zones in front of the hedgerows on the up, middle, and down slopes and a ridge behind the

基金项目:国家自然科学基金项目(41501288);中央高校基本科研业务费专项(XDJK2018B044);重庆市基础科学与前沿技术研究一般项目(cstc2017jcyjAX0472);西南大学资源环境学院“光炯”项目(201719)

收稿日期:2018-07-06; 网络出版日期:2019-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sy22478@126.com

hedgerows on the up and middle slopes at each plot. We collected samples of arable soil from these zones to a 30 cm depth. Some basic physical properties and shear strength of soil were measured, and soil total storage capacity, flood detention storage, internal friction angle φ , and cohesion c were calculated. The results showed that: (1) in the same plots, the water storage capacity of the sedimentation zone in front of the hedgerows was better than that of the ridges behind the corresponding hedgerows, and that the sedimentation zone had a higher natural water content by 6.52%—12.13%; (2) soil disturbance and shear resistance of the ridges behind the hedgerows were higher than that of the sedimentation zone in front of the corresponding hedgerows. The soil non-capillary porosity of ridges behind the hedgerows was significantly higher than that of the sedimentation zone in front of the hedgerows by 5.61%—57.70%; (3) in the same plot, the water storage capacity in the sedimentation zone in front of the hedgerows showed the following order: down slope > middle > up slope, and that of the ridge behind hedgerows was up > middle slope. This trend was obvious in plot V15; the soil total storage capacity and flood detention storage of the sedimentation zone in front of the hedgerows on the down slope were 1.04 times and 1.03 times higher than those of the up slope, respectively, and those of the ridge behind the hedgerows on the up slope were all 1.02 times higher than that of the middle slope; (4) in the same plot, the internal friction angle φ , cohesion c , and shear strength in the sedimentation zone in front of the hedgerows were in the order of up > middle > down slope, and that on the ridge behind the hedgerows were up > middle slope. This was evident in plot V10, where the internal friction angle φ , cohesion c , and shear strength of the sedimentation zone in front of the hedgerows on the up slope were 1.06, 1.09 and 1.05 times greater than those of the down slope, respectively. However, those of the ridge behind the hedgerows on the up slope were all 1.04 times higher than that of the middle slope; (5) the rainy season had no significant effect on soil disturbance, water storage capacity, and shear performance for both the sedimentation zone in front of and ridge behind the hedgerows.

Key Words: hedgerows; micro-topography; sedimentation zone; soil total storage capacity; shear strength

长江上游紫色丘陵区土壤成土过程以强烈的物理风化为主,加之该区集中频繁的暴雨天气以及高强度的农业耕作方式,使得该区土壤退化情况日趋严重,尤以坡耕地最为突出。紫色土作为该区坡耕地的主要土壤类型,其土层浅薄、结构疏松、抗侵蚀能力差,极易发生水土流失^[1]。坡耕地是该区主要的农业生产资源,对保障人民群众生活、发展农村经济具有重要作用,其合理开发、利用和改良已经成为实现山区农业可持续发展的关键。

植物篱是一种在长期农耕实践中产生的坡耕地水土保持措施,可通过枝叶拦截降雨、泥沙,降低径流流速等方式影响径流过程^[2],减少泥沙和控制面源污染^[3-4];优化土壤颗粒组成,增加土壤团聚,改善土壤理化性质^[5];提高土壤抗剪抗蚀能力^[6],增加土壤肥力^[7-8],在坡耕地资源可持续利用中具有显著的生态和经济效益^[9]。此外,随着植物篱水土保持作用逐渐凸显,在拦截径流泥沙过程中篱带前形成短距离回水带,使土粒沉积下来淤积在篱前,逐渐形成淤积带;而经篱带过滤后的径流,流速增大,动能增加,使植物篱下方侵蚀较大却少有泥沙补充,逐渐形成篱下土坎^[10-11]。许峰等^[12]研究发现植物篱及麦秆拦蓄的泥沙可形成高 0.19—0.46 m 的篱坎,且于篱前形成近水平宽 0.09—0.28 m 的淤积带。目前对于篱前淤积带与篱下土坎的研究大多集中在二者的形成机理方面,对其土壤结构和抗剪性能等方面的研究甚少,仅少数研究人员如王润泽等^[1]对篱前淤积带的土壤团粒结构作了分析,探究了其团聚体组成和稳定性特征。

篱前淤积带的存在使得径流流速减小、径流侵蚀能力降低,篱下土坎由于跌水造成的冲刷而局部产生纹沟,使得径流侵蚀和搬运能力降低^[10]。显然,与作物带不同,篱前淤积带和篱下土坎有着独特的水土保持功能,且土壤水库特征对于土壤蓄水及农业生产供水有重要作用^[13],土壤抗剪性能对遏制水土流失和提高土地生产力具有重要意义^[14]。为此,本文通过对比分析,探讨不同植物篱以及雨季前后篱前淤积带和篱下土坎的土壤水库和抗剪性能变化规律,以期为进一步阐释篱前淤积带和篱下土坎的独特作用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省遂宁市安居区水土保持试验站。该区地处川中盆地的中部(105°28′37″E、30°21′51″N, 海拔 288.00—330.58 m), 年平均气温为 18.2 ℃, 多年平均降雨量为 933.3 mm, 5—9 月集中降雨量可占全年降雨量的 72.6%, 年均蒸发量为 897.2 mm, 属于典型的亚热带湿润季风气候。该区土壤的 pH 值呈中性到微碱性, 土壤松散, 大部分为遂宁组紫色砂、页、泥岩上风化形成的幼年紫色土, 结构性差, 土壤抗侵蚀能力弱^[15]。

1.2 试验设计

试验布设 3 个标准径流小区: 10°新银合欢植物篱小区(L10)、10°香根草植物篱小区(V10)、15°香根草植物篱小区(V15), 各小区农作物种植方式均为冬油菜-夏玉米, 顺坡常规种植。小区上、中、下坡位各布设一条植物篱带, 每带 2 行植株, 带宽 0.5 m, 10°和 15°植物篱小区带间距分别为 6.27 m 和 6.40 m, 植物篱布设图见相关文献^[16]。采样时间为 2017 年 5 月(雨季初)和 9 月(雨季末), 分别为收成和刚播种时期, 减少了农作物根系对土壤性质的影响, 亦可分析雨季对土壤性质的影响。篱前淤积带采样点位于上、中、下坡位植物篱冠层投影带上部 20 cm 范围, 每一坡于中间部分等距设 3 个采样点, 每一小区 9 个样点, 共计 27 个; 篱下土坎采样点位于上、中坡位植物篱冠层投影带下部 20 cm 范围, 同样每一坡位于中间部分等距设 3 个采样点, 每个小区 6 个样点, 共计 18 个。

1.3 试验方法

1.3.1 样品采集

于 2017 年 5 月中旬和 9 月中旬采样, 采样前 3 天以上无降水和除草。各小区于篱前淤积带和篱下土坎样点处采样, 每个样点采集 3 个重复土样, 分别用环刀(底面积 20 cm², 高 5 cm)、环刀(底面积 30 cm², 高 2 cm)和铝盒采集耕层土壤(0—30 cm), 带回实验室进行土样容重、孔隙度(总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度)、自然含水率、田间持水量、饱和含水量和抗剪强度的测定。

1.3.2 指标测定

土壤容重、孔隙度、田间持水量和饱和含水量采用环刀法测定, 自然含水率采用烘干法(105±2 ℃)测定^[17], 抗剪强度采用南京土壤仪器厂生产的 ZJ 型应变控制式直剪仪测定^[18]。

1.3.3 指标计算

土壤水库总库容和滞洪库容计算公式如下^[19]:

$$\text{总库容} = 0.1 \sum_{i=1}^n (S_i \times r_i \times H_i) \quad (1)$$

$$\text{滞洪库容} = 0.1 \sum_{i=1}^{i=h} [(S_i - C_i) \times r_i \times H_i] \quad (2)$$

式中, r 为土壤密度(g/cm³); H 为土层厚度(cm); n 为土壤层次; C 为田间持水量(%); S 为饱和含水量(%)。

土壤抗剪强度指标采用库伦公式线性回归确定^[18]:

$$\tau_{(j)} = \sigma \cdot \tan \Phi + C \quad (3)$$

式中, $\tau_{(j)}$ 为土的抗剪强度(kPa); σ 为作用在剪切面上的法向应力(kPa); Φ 为土的内摩擦角(°); C 为土的粘聚力(kPa)。

1.3.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2013 进行数据处理, SPSS 22.0 进行差异显著性分析(Duncan 法, $P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 篱前淤积带和篱下土坎土壤容重和孔隙度特征分析

表 1 中各小区同一篱带, 篱下土坎较篱前淤积带降低土壤容重效果更优。各小区下坡篱前淤积带土壤容

重最大,中坡篱下土坎土壤容重最小,其中 V10 小区下坡篱前淤积带土壤容重较中坡篱下土坎显著增大 45.37%。同一小区,篱前淤积带土壤容重表现为下坡>中坡>上坡,篱下土坎土壤容重表现为上坡>中坡;篱前淤积带和篱下土坎土壤容重雨季后较雨季前增大但不明显。此外,不同小区同一坡位篱前淤积带和篱下土坎土壤容重均为 V15>V10>L10,可见,同坡度下新银合欢降低土壤容重效果优于香根草,香根草植物篱 10°小区降低容重的效果优于 15°小区。

同一篱带,篱下土坎较篱前淤积带土壤孔隙性质有所改善。篱下土坎土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均较篱前淤积带大,L10、V10 和 V15 小区篱下土坎非毛管孔隙度较篱前淤积带平均显著高 26.93%、23.88% 和 38.35%;土壤毛管孔隙度则相反,L10 小区篱前淤积带较篱下土坎显著高 9.56%。同一小区,篱前淤积带土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均表现为上坡>中坡>下坡,篱下土坎土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均表现为中坡>上坡;土壤毛管孔隙度则相反。同一小区,篱前淤积带和篱下土坎土壤总孔隙度与非毛管孔隙度均表现出雨季后较雨季前小,土壤毛管孔隙度雨季后较雨季前大。此外,不同小区篱前淤积带和篱下土坎的土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均为 L10>V10>V15,毛管孔隙度总趋势为 V15>V10>L10。同一坡度,新银合欢增大土壤总孔隙度和非毛管孔隙度效果优于香根草,而同为香根草植物篱,10°小区优于 15°小区;土壤毛管孔隙度则相反。

综上,同一篱带,篱下土坎土壤容重和毛管孔隙度均较篱前淤积带小,土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均较篱前淤积带大。可见篱下土坎的形成可以降低土壤容重和改善土壤孔隙性质,篱下土坎的土壤透气性优于篱前淤积带。雨季前同一篱带篱前淤积带和篱下土坎降低土壤容重和改善土壤孔隙性质均较雨季后好,可见雨季前的土壤透气性优于雨季后,但差异不显著。此外,新银合欢较香根草,更能降低土壤容重、增大土壤孔隙度,且缓坡地植物篱对土壤性质改善能力更强。

表 1 篱前淤积带和篱下土坎土壤容重与孔隙度

Table 1 Soil bulk density, porosity of sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows

小区编号 Plot code	篱带位置 Hedgerow position	采样点 Sampling point	容重 Soil bulk density/(g/cm ³)		总孔隙度 Soil total porosity/%		毛管孔隙度 Capillary porosity/%		非毛管孔隙度 Non-capillary porosity/%	
			5 月 May	9 月 September	5 月 May	9 月 September	5 月 May	9 月 September	5 月 May	9 月 September
L10	上坡	篱前淤积带	1.33±0.03ab	1.32±0.02a	49.65±0.01ab	50.12±0.01a	31.53±0.02ab	32.12±0.03a	18.00±0.03ab	18.12±0.02b
		篱下土坎	1.29±0.01b	1.33±0.03a	51.16±0.00a	49.90±0.01a	28.99±0.01b	30.89±0.02a	19.01±0.02ab	22.17±0.01a
	中坡	篱前淤积带	1.37±0.03a	1.37±0.03a	48.12±0.01b	48.25±0.01a	32.46±0.01a	33.38±0.04a	14.88±0.04ab	15.66±0.00b
		篱下土坎	1.29±0.02b	1.33±0.05a	51.18±0.01a	49.97±0.02a	28.65±0.02b	29.75±0.01b	20.22±0.02a	22.53±0.02a
V10	下坡	篱前淤积带	1.37±0.02a	1.38±0.01a	48.19±0.01b	47.98±0.00a	33.43±0.02a	34.35±0.01a	13.63±0.01b	14.76±0.03b
		篱下土坎	1.35±0.02ab	1.37±0.03ab	49.07±0.01ab	48.16±0.01ab	32.04±0.05a	35.53±0.02a	12.63±0.03a	17.04±0.04a
	上坡	篱前淤积带	1.35±0.02ab	1.37±0.03ab	49.07±0.01ab	48.16±0.01ab	32.04±0.05a	35.53±0.02a	12.63±0.03a	17.04±0.04a
		篱下土坎	1.31±0.03b	1.33±0.03b	50.54±0.01a	49.68±0.01a	30.88±0.04a	34.15±0.04a	15.53±0.05a	19.66±0.05a
V15	中坡	篱前淤积带	1.35±0.02ab	1.39±0.01a	49.04±0.01ab	47.36±0.01b	32.27±0.00a	35.72±0.01a	11.64±0.01a	16.76±0.00a
		篱下土坎	1.31±0.01b	1.33±0.02b	50.60±0.00a	49.86±0.01a	30.38±0.02a	33.97±0.02a	15.90±0.02a	20.21±0.02a
	下坡	篱前淤积带	1.37±0.03a	1.41±0.05a	48.20±0.01b	46.93±0.02b	33.50±0.03a	36.28±0.02a	10.65±0.01a	14.69±0.04a
		篱下土坎	1.34±0.01a	1.34±0.04b	49.51±0.00a	49.44±0.01a	31.41±0.06a	34.20±0.03a	15.24±0.05ab	18.10±0.06a
V15	上坡	篱前淤积带	1.39±0.04a	1.38±0.03ab	47.64±0.01a	48.04±0.01ab	33.18±0.01a	35.70±0.02a	12.35±0.01ab	14.46±0.01ab
		篱下土坎	1.34±0.01a	1.34±0.04b	49.51±0.00a	49.44±0.01a	31.41±0.06a	34.20±0.03a	15.24±0.05ab	18.10±0.06a
	中坡	篱前淤积带	1.40±0.03a	1.41±0.02ab	47.25±0.01a	46.84±0.01b	34.04±0.02a	36.58±0.01a	10.26±0.02b	13.21±0.02ab
		篱下土坎	1.33±0.11a	1.34±0.05b	49.99±0.04a	49.44±0.02a	30.53±0.03a	33.28±0.01a	16.16±0.03a	19.46±0.03a
V15	下坡	篱前淤积带	1.43±0.05a	1.41±0.02a	46.05±0.02a	46.70±0.01b	35.56±0.02a	36.86±0.02a	9.84±0.02b	10.49±0.03b

表中数据为平均值±标准差(n=3);不同小写字母表示 P<0.05 水平上差异显著; L10:10°新银合欢植物篱小区 10° *Leucaena leucocephala* hedgerows plot; V10:10°香根草植物篱小区 10° *Vetiveria zizanioides* hedgerows plot; V15:15°香根草植物篱小区 15° *V. zizanioides* hedgerows plot

2.2 篱前淤积带和篱下土坎土壤水分特征分析

从表 2 可知,同一篱带,篱前淤积带土壤自然含水率明显大于篱下土坎。篱前淤积带自然含水率分别平均高 9.36%(L10)、9.75%(V10)和 9.11%(V15);篱前淤积带土壤田间持水量和饱和含水量均略大于篱下土

坎。同一小区,篱前淤积带自然含水率、田间持水量和饱和含水量下坡>中坡>上坡,篱下土坎均为上坡>中坡;篱前淤积带和篱下土坎自然含水率、田间持水量和饱和含水量表现为雨季后大于雨季前。此外,不同小区,篱前淤积带和篱下土坎自然含水率、田间持水量和饱和含水量均为 V15>V10>L10。

由此可见,同一篱带,篱前淤积带的田间持水量和饱和含水率均较篱下土坎大,篱前淤积带土壤自然含水率显著大于篱下土坎,这表明篱前淤积带保水效果优于篱下土坎。一个雨季后同一篱带,篱前淤积带和篱下土坎土壤水分均增加,但并不显著。此外,较之新银合欢,香根草有更优的保水效果。

表 2 篱前淤积带和篱下土坎土壤水分特征

Table 2 Soil moisture characteristics of sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows

小区编号 Plot code	篱带位置 Hedgerow position	采样点 Sampling point	自然含水率 Natural moisture content/%		田间持水量 Field capacity/%		饱和含水量 Saturated water content/%	
			5 月 May	9 月 September	5 月 May	9 月 September	5 月 May	9 月 September
L10	上坡	篱前淤积带	20.01±0.01ab	20.01±0.01ab	23.63±0.01a	24.30±0.02a	34.50±0.05a	34.69±0.02a
		篱下土坎	18.46±0.01bc	18.46±0.01bc	22.40±0.01a	23.29±0.02a	32.42±0.01a	33.06±0.02a
	中坡	篱前淤积带	20.24±0.01ab	20.24±0.01ab	23.63±0.01a	24.34±0.03a	34.18±0.02a	35.18±0.03a
		篱下土坎	18.05±0.01c	18.05±0.01c	22.14±0.01a	22.45±0.01a	31.94±0.02a	32.91±0.01a
	下坡	篱前淤积带	20.42±0.00a	20.42±0.00a	24.34±0.01a	24.92±0.00a	34.75±0.02a	35.65±0.03a
		篱下土坎	18.52±0.01c	18.52±0.01c	23.21±0.02a	25.58±0.02a	33.70±0.02a	32.72±0.03a
V10	上坡	篱前淤积带	20.3±0.01ab	20.3±0.01ab	23.78±0.04a	25.86±0.01a	34.57±0.06a	34.67±0.01a
		篱下土坎	18.81±0.00bc	18.81±0.00bc	23.53±0.03a	25.57±0.02a	33.28±0.05a	33.12±0.02a
	中坡	篱前淤积带	20.44±0.00a	20.44±0.00a	23.90±0.01a	25.61±0.00a	34.93±0.02a	34.92±0.01a
		篱下土坎	18.52±0.01c	18.52±0.01c	23.21±0.02a	25.58±0.02a	33.70±0.02a	32.72±0.03a
	下坡	篱前淤积带	20.52±0.01a	20.52±0.01a	24.39±0.01a	25.84±0.02a	35.12±0.01a	35.19±0.03a
		篱下土坎	18.90±0.01b	18.90±0.01b	23.23±0.04a	24.84±0.00a	33.10±0.04a	33.25±0.01a
V15	上坡	篱前淤积带	20.97±0.01a	20.97±0.01a	23.94±0.01a	25.95±0.02a	34.73±0.01a	34.96±0.01a
		篱下土坎	19.45±0.01b	19.45±0.01b	23.47±0.04a	25.49±0.02a	33.42±0.05a	33.38±0.01a
	中坡	篱前淤积带	21.00±0.00a	21.00±0.00a	24.37±0.02a	25.96±0.01a	34.81±0.03a	35.19±0.02a
		篱下土坎	18.90±0.01b	18.90±0.01b	23.23±0.04a	24.84±0.00a	33.10±0.04a	33.25±0.01a
	下坡	篱前淤积带	21.23±0.01a	21.23±0.01a	24.88±0.01a	26.09±0.01a	35.54±0.04a	35.34±0.02a
		篱下土坎	18.90±0.01b	18.90±0.01b	23.23±0.04a	24.84±0.00a	33.10±0.04a	33.25±0.01a

2.3 篱前淤积带和篱下土坎土壤水库特征分析

土壤总库容是指土壤剖面中所有孔隙的容量,表征土壤所能容蓄水分的总量。土壤滞洪库容是指土壤剖面中非毛管孔隙度的容量,表征土壤暂时贮存水分的能力^[13]。由表 3 可知,同一篱带,篱前淤积带土壤总库容和滞洪库容均大于篱下土坎,其中 L10、V10 和 V15 小区篱前淤积带土壤总库容分别较篱下土坎高 9.54%、8.38%和 9.53%。同一小区,篱前淤积带土壤总库容和滞洪库容均为下坡>中坡>上坡,篱下土坎则为上坡>中坡;篱前淤积带的土壤总库容和滞洪库容均于 V15 小区变化最明显,下坡分别为上坡的 1.02—1.05 倍和 1.02—1.04 倍;篱下土坎总库容和滞洪库容上坡分别为中坡的 1.01—1.07 倍和 1.05—1.08 倍;同一小区,篱前淤积带和篱下土坎土壤总库容雨季后略大于雨季前,土壤滞洪库容 V10 和 V15 小区与之相反。在不同植物篱处理条件下,篱前淤积带和篱下土坎土壤总库容整体趋势均为 V15>V10>L10,即香根草植物篱小区篱前淤积带和篱下土坎土壤贮水能力优于新银合欢植物篱小区。

2.4 篱前淤积带和篱下土坎土壤抗剪性能特征分析

表 4 中展示了篱前淤积带和篱下土坎土壤内摩擦角、粘聚力及不同荷载下土壤抗剪强度。同一篱带,篱下土坎土壤内摩擦角、粘聚力及土壤抗剪强度均较篱前淤积带大。各小区同一篱带,篱下土坎土壤内摩擦角较篱前淤积带高 1.34%—6.52%,篱下土坎土壤粘聚力较篱前淤积带高 0.47%—10.88%,100—400 KPa 荷载下篱下土坎土壤抗剪强度较篱前淤积带高 0.48%—17.72%。同一小区,篱前淤积带土壤内摩擦角、粘聚力及 100—400 KPa 荷载下土壤抗剪强度均表现为上坡>中坡>下坡,篱下土坎均为上坡>中坡;内摩擦角、粘聚力及 100—400 KPa 荷载下土壤抗剪强度均于 5 月份的 V10 小区变化最明显,上坡篱前淤积带分别为下坡的

1.06 倍、1.09 倍和 1.06 倍,篱下土坎上坡均为中坡的 1.06 倍;整体上篱前淤积带和篱下土坎的土壤抗剪性能均于雨季前较优。在不同植物篱处理条件下,篱前淤积带和篱下土坎抗剪性能均表现为 V15>V10>L10,香根草较新银合欢抗剪性能更强。

表 3 篱前淤积带和篱下土坎土壤水库特征

Table 3 Soil water reservoir of sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows						
小区编号 Plot code	篱带位置 Hedgerow position	采样点 Sampling point	总库容 Total storage capacity/(t/hm ²)		滞洪库容 Flood detention storage capacity/(t/hm ²)	
			5 月 May	9 月 September	5 月 May	9 月 September
L10	上坡	篱前淤积带	1378.3ab	1375.34a	432.40a	411.80a
		篱下土坎	1258.86b	1315.82a	389.30a	389.10a
	中坡	篱前淤积带	1408.43ab	1447.09a	434.50a	445.80a
		篱下土坎	1240.30b	1308.43a	380.80a	416.00a
V10	下坡	篱前淤积带	1431.35a	1474.41a	428.40a	444.00a
		篱前淤积带	1396.95a	1429.24a	435.80a	363.20a
	上坡	篱下土坎	1308.21a	1326.15a	381.90a	301.70a
		篱前淤积带	1415.70a	1461.47a	447.50a	389.85a
V15	中坡	篱下土坎	1323.43a	1304.84a	411.90a	285.80a
		篱前淤积带	1446.14a	1481.89a	441.00a	393.60a
	下坡	篱前淤积带	1444.93a	1444.44ab	449.40a	373.50a
		篱下土坎	1341.61a	1341.33b	399.20a	315.40a
	上坡	篱前淤积带	1457.91a	1485.96a	436.70a	388.50a
		篱下土坎	1308.10a	1335.19b	392.10a	336.85a
	中坡	篱前淤积带	1521.01a	1496.42a	454.20a	390.70a
		篱前淤积带				

表 4 篱前淤积带和篱下土坎土壤抗剪强度及其指标

Table 4 Shear strength and its parameters of sedimentation zone in front of and ridge behind hedgerows									
时间 Time	小区编号 Plot code	篱带位置 Hedgerow position	采样点 Sampling point	内摩擦角 φ Internal friction angle φ	粘聚力 c Cohesion c	不同荷载下的抗剪强度 Shear strength under different loads			
						100 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
5 月 May	L10	上坡	篱前淤积带	23.108±1.704a	15.458±1.545a	58.202±4.078a	100.945±6.288a	143.688±10.169a	176.781±11.406a
			篱下土坎	24.001±1.159a	15.531±1.657a	57.107±4.806a	99.684±4.244a	141.594±10.234a	183.089±11.683a
		中坡	篱前淤积带	22.699±2.301a	14.749±1.653a	54.709±4.573a	94.529±5.791a	134.015±9.340a	173.216±10.714a
			篱下土坎	23.900±1.208a	15.237±1.815a	56.993±4.365a	99.417±4.295a	141.173±10.175a	182.093±10.958a
	V10	下坡	篱前淤积带	22.632±1.997a	14.778±1.429a	55.135±4.522a	95.598±4.853a	136.062±11.339a	172.779±12.338a
			篱前淤积带	25.946±1.264a	17.267±1.907a	62.721±4.641a	108.841±4.948a	154.627±8.159a	198.405±10.319a
		上坡	篱下土坎	26.644±1.498a	17.776±1.493a	64.446±4.161a	110.450±6.384a	157.120±10.052a	203.785±11.938a
			篱前淤积带	24.766±1.099a	16.093±1.959a	59.666±4.903a	102.906±5.237a	146.813±10.021a	188.991±12.499a
	V15	中坡	篱下土坎	25.096±1.102a	16.749±2.574a	61.619±5.834a	105.889±4.829a	150.293±11.086a	191.955±11.205a
			篱前淤积带	24.553±2.725a	15.844±1.893a	59.177±4.369a	102.844±5.986a	146.510±9.606a	187.253±10.915a
		下坡	篱前淤积带	26.528±0.534a	16.014±2.411a	63.624±2.042a	99.300±7.151a	156.977±2.769a	201.215±3.382a
			篱下土坎	27.528±1.211a	18.586±2.641a	67.906±5.491a	116.893±5.829a	165.879±9.361a	210.768±10.028a
9 月 September	L10	中坡	篱前淤积带	26.016±2.642a	17.383±2.119a	63.427±4.540a	109.037±6.316a	155.313±9.842a	199.012±10.512a
			篱下土坎	27.349±1.454a	18.661±3.108a	67.121±4.762a	114.948±4.914a	163.441±10.471a	209.591±11.098a
		下坡	篱前淤积带	25.490±1.989a	17.139±3.264a	62.572±4.232a	107.839±5.379a	153.439±9.556a	195.095±10.856a
			篱前淤积带	23.153±2.069a	15.534±1.420a	56.440±5.123a	97.074±8.268a	137.707±9.414a	177.175±10.156a
	V10	上坡	篱下土坎	24.277±1.202a	15.779±2.651a	59.253±4.584a	102.393±7.539a	145.866±8.026a	185.264±10.986a
			篱前淤积带	22.710±2.325a	15.038±1.147a	55.301±6.028a	94.611±8.344a	134.921±9.071a	173.583±10.377a
		中坡	篱下土坎	23.948±1.184a	15.700±0.666a	59.596±2.656a	103.306±4.569a	147.350±6.956a	182.886±8.934a
			篱前淤积带	22.610±1.678a	14.104±1.050a	54.534±3.784a	95.164±7.477a	135.460±8.745a	171.951±11.604a

续表

时间 Time	小区编号 Plot code	篱带位置 Hedgerow position	采样点 Sampling point	内摩擦角 φ Internal friction angle φ	粘聚力 c Cohesion c	不同荷载下的抗剪强度 Shear strength under different loads			
						100 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
	V10	上坡	篱前淤积带	25.113±2.259a	16.349±2.126a	60.582±7.514a	103.815±8.904a	147.715±9.072a	191.672±12.852a
			篱下土坎	26.070±1.280a	17.250±0.558a	62.886±2.814a	107.523±5.072a	154.160±7.331a	199.249±9.491a
		中坡	篱前淤积带	24.753±1.853a	16.188±2.759a	60.415±3.698a	104.308±4.722a	148.201±6.758a	188.998±9.658a
			篱下土坎	25.138±1.094a	16.674±2.427a	60.874±2.499a	104.807±3.040a	149.074±6.117a	192.173±9.989a
		下坡	篱前淤积带	24.341±2.704a	16.139±1.805a	59.512±5.694a	99.385±8.992a	146.139±9.387a	186.072±10.666a
	V15	上坡	篱前淤积带	26.305±2.804a	17.748±2.209a	63.768±7.186a	110.455±8.268a	155.808±9.518a	201.391±12.724a
			篱下土坎	27.345±1.420a	17.973±0.968a	66.123±3.677a	114.449±7.082a	162.776±8.291a	208.88±10.721a
		中坡	篱前淤积带	25.618±2.637a	16.802±1.996a	62.012±6.228a	106.889±5.532a	151.766±8.113a	195.647±10.392a
			篱下土坎	27.287±2.071a	18.630±1.709a	66.566±3.091a	114.503±4.493a	161.773±6.631a	209.132±9.164a
		下坡	篱前淤积带	25.478±4.708a	16.445±3.116a	59.285±5.886a	105.458±7.057a	150.298±9.052a	194.317±10.190a

3 讨论

植物篱具有改善土壤质地、结构,提高土壤含水率和增强土壤抗剪强度的作用^[20-21]。本研究发现,同一篱带,篱前淤积带土壤保水贮水能力优于篱下土坎,而篱下土坎土壤透气性以及土壤抗剪性能均优于篱前淤积带。这可能与植物篱对径流泥沙的拦截作用可影响篱前和篱下土壤土粒的重新分布,通过有效拦截径流中的细颗粒物,明显增加<0.2 mm 粒级土壤微团粒含量,尤其是 0.2—0.05 mm 粒级^[22]有关。此外,黎建强^[23]等认为带上(篱前淤积带)的粘粒含量和分形维数大于带下(篱下土坎),且土壤分形维数与土壤孔隙度为正相关关系,而容重与分形维数呈显著负相关关系。本试验中篱前淤积带土壤容重、毛管孔隙度大于篱下土坎,这与黎建强的结论略有不同。但篱下土坎土壤总孔隙度大于篱前淤积带,这与吕文星^[24]等的研究结论一致。这可能与径流因分选性搬运使在篱前淤积带和篱下土坎的沉积粒径不同以及篱下土坎形成过程中土粒被径流大量冲刷有关。这可能导致篱前淤积带土壤毛管孔隙度增高,保水性变好;篱下土坎利于根系生长和生物活动。根系生长和生物活动能够改变土壤的孔隙状况,增加土壤的通气性能及透水性能^[25],故篱下土坎土壤总孔隙度和非毛管孔隙度较高,透气性较好。与土壤总孔隙度和非毛管孔隙度规律相反,篱前淤积带土壤水分和土壤水库库容大于篱下土坎,这与汪三树等^[26]研究略不同。可能是篱前淤积带与篱下土坎土壤土粒的重新分布使得篱前淤积带土壤保水贮水能力优于篱下土坎。且篱下土坎土壤根系可能因坡面倾斜与土壤土粒的重新分布较篱前淤积带发达,植物根系可以有效降低土壤容重以及增强土壤抗剪性能^[27],故篱下土坎土壤容重较篱前淤积带低,篱下土坎土壤抗剪性能较篱前淤积带优。

本研究表明篱前淤积带保水贮水能力均表现为下坡>中坡>上坡,而篱下土坎保水贮水能力均为上坡>中坡,雨季后>雨季前。这可能是因为汇水面积和来沙量越大,径流越大,搬运能力和侵蚀能力越强,从而不同坡位篱前淤积带与篱下土坎土粒的重新分布结果有所差异。上述分析推断出,本试验中篱前淤积带和篱下土坎土壤保水贮水能力很可能与篱前淤积带和篱下土坎处土壤的机械组成有关。由于汇水面积和来沙量为下坡>中坡>上坡,可能会逐渐使得同一小区下坡篱前淤积带土壤贮水能力更优。同一小区,篱前淤积带土壤内摩擦角、粘聚力 c 和抗剪强度均表现为上坡>中坡>下坡,篱下土坎土壤抗剪性能均为上坡>中坡,雨季前>雨季后。可能是径流越大,对根系冲刷能力越强,而篱前淤积带和篱下土坎的根系含量与发育很可能为上坡>中坡>下坡,雨季前>雨季后,逐渐使得同一小区上坡篱下土坎土壤抗剪性能最优。其中雨季后土壤抗剪强度及其指标小于雨季前,且含水率较高时,土体抗剪能力降低,这与李想^[28],倪九派^[29]等研究结果相似。这可能因为含水率高时会减小土粒间的粘聚力和摩擦力。

此外,本试验中 15° 香根草植物篱小区篱前淤积带与篱下土坎土壤抗剪强度优于 10° 香根草植物篱,10° 新银合欢植物篱抗剪强度最弱。香根草植物篱抗侵蚀性优于新银合欢植物篱,且坡度增加有利于提高抗剪强

度,这与蒲玉林^[14],何丙辉^[15]等研究结果相似。这可能由于香根草的根系比新银合欢的根系更为发达,而根系可以增大土壤抗剪性能。本试验对比分析了不同植物篱篱前淤积带和篱下土坎的保水贮水能力与土壤抗剪性能变化规律,有关篱前淤积带和篱下土坎的土壤质地、级配和根系指标对土壤性质的影响,有待进一步探究。

4 结论

1)同一篱带,土壤容重、毛管孔隙度和土壤水分均篱前淤积带较优,其中篱前淤积带土壤含水率较篱下土坎显著高 6.52%—12.13%;土壤总孔隙度、非毛管孔隙度均篱下土坎较优,其中篱下土坎非毛管孔隙度较篱前淤积带显著高 5.61%—57.70%。

2)同一小区,篱前淤积带土壤保水贮水能力优于篱下土坎;篱前淤积带保水贮水能力均表现为下坡>中坡>上坡,而篱下土坎均为上坡>中坡;各小区下坡篱前淤积带土壤保水贮水性能最优,其中 V15 小区上述趋势最明显,其下坡篱前淤积带(上坡篱下土坎)的土壤总库容和滞洪库容分别为上坡篱前淤积带(均为中坡篱下土坎)1.04 倍和 1.03 倍(1.02 倍)。

3)同一小区,篱下土坎土壤抗剪性能均优于篱前淤积带;篱前淤积带土壤内摩擦角、粘聚力 c 和抗剪强度均表现为上坡>中坡>下坡,篱下土坎均为上坡>中坡;各小区上坡篱下土坎土壤抗剪性能最优,其中 V10 小区上述趋势最明显,其上坡篱前淤积带(上坡篱下土坎)上述指标依次为下坡篱前淤积带(均为中坡篱下土坎)的 1.06、1.09 倍和 1.05 倍(1.04 倍)。

4)雨季前后篱前淤积带和篱下土坎土壤透气性、保水贮水能力及抗剪性能并均无显著影响。

参考文献(References):

- [1] 王润泽, 湛芸, 李铁, 何丙辉, 向明辉, 陈鑫, 唐菡, 周涛, 刘泉宏. 紫色土区植物篱篱前淤积带土壤团聚体稳定性特征研究. 水土保持学报, 2018, 32(2): 210-216.
- [2] 袁久芹, 梁音, 曹龙熹, 卢慧中, 祝亚云, 陈玲. 红壤坡耕地不同植物篱配置模式减流减沙效益对比. 土壤, 2015, 47(2): 400-407.
- [3] Blanco-Canqui H, Gantzer C J, Anderson S H. Performance of grass barriers and filter strips under interrill and concentrated flow. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(6): 1969-1974.
- [4] Mersie W, Seybold C A, McNamee C, Lawson M A. Abating endosulfan from runoff using vegetative filter strips: the importance of plant species and flow rate. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 97(1/3): 215-223.
- [5] 黄鑫, 蒲晓君, 郑江坤, 秦伟, 单志杰, 李柏. 不同植物篱对紫色土区坡耕地表层土壤理化性质的影响. 水土保持学报, 2016, 30(4): 173-177, 215-215.
- [6] Kinama J M, Stigter C J, Ong C K, Ng'ang'a J K, Gichuki F N. Contour hedgerows and grass strips in erosion and runoff control on sloping land in semi-arid Kenya. Arid Land Research and Management, 2007, 21(1): 1-19.
- [7] 李海强, 郭成久, 李勇, 沈奕彤. 植物篱对坡面土壤养分流失的影响. 水土保持研究, 2016, 23(5): 42-48.
- [8] Cullum R F, Wilson G V, McGregor K C, Johnson J R. Runoff and soil loss from ultra-narrow row cotton plots with and without stiff-grass hedges. Soil and Tillage Research, 2007, 93(1): 56-63.
- [9] 周萍, 文安邦, 张信宝, 鲍玉海. 坡耕地植物篱在水土保持中的应用. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 108-113.
- [10] 林超文, 涂仕华, 黄晶晶, 陈一兵. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响. 生态学报, 2007, 27(6): 2191-2198.
- [11] 湛芸, 何丙辉, 向明辉, 陈晶晶. 紫色土坡耕地植物篱的水土保持效应研究. 水土保持学报, 2013, 27(2): 47-52.
- [12] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 张光远, 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 黄丽. 等高植物篱控制紫色土坡耕地侵蚀的特点. 土壤学报, 2002, 39(1): 71-80.
- [13] 黄荣珍, 朱丽琴, 王赫, 贾龙, 刘勇, 段洪浪, 吴建平, 刘文飞. 红壤退化地森林恢复后土壤有机碳对土壤水库库容的影响. 生态学报, 2017, 37(1): 238-248.
- [14] 蒲玉琳, 谢德体, 倪九派, 魏朝富, 林超文. 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. 中国农业科学, 2014, 47(5): 934-945.
- [15] 马云, 何丙辉, 何建林, 吴咏, 向明辉, 徐小军, 覃引燕. 植物篱对紫色土区坡地不同土层土壤物理性质的影响. 水土保持学报, 2010, 24(6): 60-64, 70-70.

- [16] 何丙辉, 陈晶晶, 向明辉, 湛芸. 不同生长年限的植物篱对坡耕地紫色土土壤侵蚀和土壤有机质的影响. 三峡生态环境监测, 2016, 1(1): 36-45.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法. 北京: 科学出版社, 1978.
- [18] 陈希哲. 土力学地基基础(第四版). 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [19] 丁文斌, 蒋光毅, 史东梅, 刘益军, 蒋平, 常松果, 刘志鹏. 紫色土坡耕地土壤属性差异对耕层土壤质量的影响. 生态学报, 2017, 37(19): 6480-6493.
- [20] 何修道, 党宏忠, 王立, 周泽福, 吕文强. 北方地区植物篱系统土壤水分特征曲线模拟与分析. 草业学报, 2016, 25(7): 42-51.
- [21] 陈义君, 彭石磊, 湛芸, 李叶鑫, 王洋洋, 张越. 紫色土坡耕地香根草根系的固土抗蚀效应. 草业科学, 2015, 32(4): 485-491.
- [22] 蒲玉琳, 谢德体, 林超文, 丁恩俊, 张 坤, 魏朝富. 植物篱-农作坡耕地土壤微团聚体组成及分形特征. 土壤学报, 2012, 49(6): 1069-1077.
- [23] 黎建强, 张洪江, 陈奇伯, 周红芬. 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. 水土保持研究, 2014, 21(6): 129-133, 139-139.
- [24] 吕文星, 张洪江, 程金花, 黎健强, 王幸, 吴煜禾, 王冉. 三峡库区植物篱对土壤理化性质及抗蚀性的影响. 水土保持学报, 2011, 25(4): 69-73, 78-78.
- [25] Horn R, Smucker A. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. Soil and Tillage Research, 2005, 82(1): 5-14.
- [26] 汪三树, 刘德忠, 史东梅, 黄先智, 唐学文, 李叶鑫, 甘雪莲. 紫色丘陵区坡耕地生物埂的蓄水保土效应. 中国农业科学, 2013, 46(19): 4091-4100.
- [27] 王润泽, 湛芸, 李铁, 彭石磊, 刘志鹏, 单志杰. 香根草和马唐的根系特征及对坡地紫色土抗侵蚀性的影响. 草业学报, 2017, 26(7): 45-54.
- [28] 李想, 王瑄, 盛世博, 陈志强. 不同土地利用方式土壤抗剪强度及其影响因子分析. 水土保持学报, 2016, 30(5): 102-106.
- [29] 倪九派, 高明, 魏朝富, 谢德体. 干湿循环条件下重庆地区三种土壤抗剪强度的动态变化. 土壤学报, 2013, 50(6): 1090-1101.