

# 紫色土区植物篱前淤积带与篱下土坎土壤抗蚀性研究

王针针<sup>1</sup>, 刘泉宏<sup>1</sup>, 谌芸<sup>1</sup>, 向明辉<sup>2</sup>, 强娇娇<sup>1</sup>, 付晓航<sup>1</sup>

(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,四川 遂宁 629006)

**摘要:**为探究紫色土坡地植物篱前淤积带与篱下土坎土壤抗蚀性的差异及变化规律,选取遂宁市水土保持试验站 10°新银合欢植物篱小区(T1)、10°和 15°香根草植物篱小区(T2 和 T3)进行研究。研究小区布设有上、中、下坡篱带,分别采集篱前淤积带和篱下土坎(下坡无)的表土样,测定有机质含量、水稳性团聚体和微团聚体组成,运用主成分分析法对土壤抗蚀性进行分析。结果表明:同一篱带,土壤有机质含量、团聚度和团聚状况均是篱前淤积带高于篱下土坎,土壤水稳性团聚体含量和抗蚀性综合指数则反之,篱下土坎的抗蚀性综合指数是篱前淤积带的 1.48~3.17 倍;同一小区,篱前淤积带土壤有机质含量、团聚度和团聚状况均表现为下坡>中坡>上坡,篱下土坎为中坡>上坡,而土壤水稳定性和抗蚀性综合指数在坡位间则无显著性差异;同坡度下,香根草植物篱小区土壤有机质含量、团聚度、团聚状况和水稳定性均高于新银合欢植物篱小区;坡度越大,香根草植物篱小区土壤有机质含量、团聚状况和水稳定性表现越差;主成分分析发现,水稳性团聚类指标能较好地反映紫色土坡地土壤抗蚀性能的强弱,研究小区土壤抗蚀能力表现为 T2>T1>T3。

**关键词:**植物篱;淤积带;抗蚀性;团聚体;主成分分析

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)05-0061-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.05.009

## Study on Soil Anti-erodibility Between Sedimentation Zone in Front of Hedgerows and Ridge Behind Hedgerows in Purple Soil Area

WANG Zhenzhen<sup>1</sup>, LIU Xiaohong<sup>1</sup>, CHEN Yun<sup>1</sup>,

XIANG Minghui<sup>2</sup>, QIANG Jiaojiao<sup>1</sup>, FU Xiaohang<sup>1</sup>

(1.College of Resources and Environment, Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Southwest University, Chongqing 400715; 2. Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining, Suining, Sichuan 629006)

**Abstract:** This paper studied the differences and variation of soil anti-erodibility between sedimentation zone in front of hedgerows and ridge behind hedgerows on purple soil slopping land. We collected soil samples from three runoff plots (10° *Leucaena leucocephala* hedgerows plot (T1), 10° and 15° *Vetiveria zizanioides* hedgerows plots (T2 and T3)). These plots were selected from Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining as the research object. The plots were provided with up, middle, and down hedge belts, and surface soil samples from the zone in front of hedgerows and ridge behind hedgerows were collected to determine the organic matter content, water-stable aggregates and micro-aggregate composition. Combined with the principal component analysis, we obtained the following results: The soil organic matter content, degree of aggregation and state of agglomeration of sedimentation zone in front of hedgerows were better than those of ridge behind hedgerows in the same hedge, and water stable aggregate content and the comprehensive index of soil anti-erodibility were opposite. The comprehensive index of soil anti-erodibility of ridge behind hedgerows was 1.48 ~ 3.17 times higher than that of sedimentation zone in front of hedgerows. The organic matter content, degree of aggregation and state of agglomeration of sedimentation zone in front of hedgerows showed the largest in the down slope, followed by the middle slope, and the smallest in the up slope, while that of ridge behind hedgerows showed the largest in the up slope and followed by the middle slope, and the water-stable aggregate content and the comprehensive index of soil anti-erodibility had no sig-

收稿日期:2020-01-09

资助项目:重庆市基础科学与前沿技术研究一般项目(cstc2017jcyjAX0472);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);西南大学资源环境学院大学生科技创新“光炯”培育项目(2018015)

第一作者:王针针(1998-),女,在读本科生,主要从事水土保持生态修复研究。E-mail:1615102509@qq.com

通信作者:谌芸(1981-),女,副教授,硕士生导师,主要从事水土保持和农业水利工程研究。E-mail:sy22478@126.com

nificant difference between the slope positions. In the same slope position, the soil organic matter content, degree of aggregation, state of agglomeration and water stable aggregate of *Vetiveria zizanioides* hedgerows plot were better than that of *Leucaena leucocephala* hedgerows plot. The higher the slope, the worse the soil organic matter content, status of agglomeration and water stable aggregate in *Vetiveria zizanioides* hedgerows. It was discovered by principal component analysis that the index of water stable aggregate could better reflect the strength of soil anti-erodibility in purple soil slopping land, and the best soil anti-erodibility was given by T2, followed by T1 and T3 in sequence.

**Keywords:** hedgerows; sedimentation zone; anti erodibility; aggregates; principal component analysis

西南紫色土区坡耕地分布零散,土壤抗侵蚀性弱,水土流失十分严重。植物篱为无间断式或接近连续的狭窄带状植物群,能够改变土壤微地形<sup>[1]</sup>、改善土壤物理性状<sup>[2]</sup>、拦截径流、控制水土流失<sup>[3-4]</sup>和改善土壤养分状况<sup>[5]</sup>等,具有优良的水土保持作用,对改善该区坡地抗蚀性具有重要意义。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,在篱带前淤积,逐渐形成淤积带,使得坡地坡度减缓,坡长截短,径流侵蚀动能减小<sup>[6]</sup>。篱带过滤后的径流,流速增大,动能增加,使篱带下方土壤侵蚀较大却少有泥沙补充,逐渐形成篱下土坎。有研究<sup>[7]</sup>认为,篱下土坎具有较好的通气性能和抗剪性能,有利于植物根系生长和生物活动。通过研究篱前淤积带和篱下土坎的土壤抗蚀性可以发现篱带前后易被侵蚀的土壤颗粒粒径范围、植物篱机械阻滞作用引起的微地形变化对其抵抗径流冲刷能力的影响等<sup>[6]</sup>,二者的抗蚀性特征在一定程度上可以反映植物篱控制水土流失的内在原因。由于紫色土区土层浅薄,土壤结构性差,篱带前后微地形的改变和土壤颗粒的重新分布势必会对土壤抗蚀性造成较大的影响,但目前已有研究<sup>[1,8]</sup>多关注于篱前淤积带和篱下土坎的形成机理,鲜有考虑二者的土壤抗蚀性差异及变化规律。

土壤抗蚀性指土壤对侵蚀营力分力和搬运作用的抵抗能力<sup>[9]</sup>,土壤理化性质是其主要影响因素,水稳性团聚体的含量反映了土壤的潜在抗蚀能力<sup>[10]</sup>,土壤中有机质含量和微团聚体的组成对衡量土壤抗蚀性具有重要作用。目前,有关土壤抗蚀性的研究主要集中在土壤抗蚀性的影响因素<sup>[11-12]</sup>、评价指标<sup>[13]</sup>、评价方法与模型<sup>[14-15]</sup>、试验方法和分布规律<sup>[16-17]</sup>等方面。由于土壤理化性质之间的相互作用,通过理化性质来评价土壤抗蚀性存在重叠效果<sup>[17]</sup>,不少地区采用主成分分析法来建立区域的抗蚀性综合方程,但不同地区土壤理化性质差异较大,抗蚀性指标尚未统一,基于某一地区建立的抗蚀性模型并不适用于其他地区。在西南紫色土区,曾对不同土地利用类型建立抗蚀性方程<sup>[18-19]</sup>,但有关不同植物篱篱带前后土壤抗

蚀性的对比研究鲜见报道。因此采用主成分分析法获得影响土壤抗蚀性的主要影响因子,研究不同坡度和坡位下植物篱篱前淤积带和篱下土坎土壤抗蚀性的差异及变化规律很有必要。本文以香根草、新银合欢植物篱篱前淤积带和篱下土坎表层土壤为研究对象,测定其土壤有机质含量、水稳性团聚体和微团聚体组成,并运用主成分分析法对水稳性团聚体类、微团聚体类和有机质类等 14 个抗蚀性指标进行分析,探讨植物篱篱前淤积带和篱下土坎土壤抗蚀性的差异、变化规律及主要影响因素,以期对紫色土坡地水土流失治理和生态恢复提供科学依据。

## 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(东经 105°28'37",北纬 30°21'51"),地处四川盆地中部丘陵地区,属涪江水系一级支流琼江流域。该区年平均气温 18.2 °C,年均降水量 933.3 mm,年均蒸发量 897.2 mm,年均无霜期 296 天,气候为亚热带季风气候。土壤为侏罗系遂宁组岩层发育而成的幼年红棕紫色土,结构性差,pH 为中性到碱性,抗冲与抗蚀能力较弱。

### 1.2 试验设计

1.2.1 小区布设 在研究区选取 3 个标准径流小区,坡向朝南,土壤均为红棕紫色土,研究期间各小区农作物均为玉米,顺坡常规种植。每个径流小区水平投影长 20 m、宽 5 m。具体设置为:10°新银合欢植物篱小区(T1)、10°香根草植物篱小区(T2)和 15°香根草植物篱小区(T3),其中香根草、新银合欢植物篱均于 2010 年移栽,移栽时植株高约 0.30 m。分别在各小区上、中、下坡布设 1 条植物篱带,带宽 0.50 m,每带 2 行植株,行距株距均为 0.20 m,每带植物篱前与农作物的隔离带宽 1.00 m,10°和 15°小区带间距分别为 6.27,6.40 m。

1.2.2 土样采集与前期处理 于 2017 年 9 月采样,采样前 3 天以上无降雨和除草。于上坡、中坡篱前淤积带和篱下土坎以及下坡篱前淤积带分层(0—10, 10—20, 20—30 cm)采集土样,各样点均位于植物篱冠层投影带或对应植物篱位置上、下部 20 cm 范围内,并

将同一样点各层土样混合为该样点耕作层 0—30 cm 土样,取 1~2 kg 左右带回实验室,将土样沿自然结构剥开,去除砂砾、动植物残体等杂物后,于通风干燥处风干。每个样点设置 3 个重复,共计 45 个土样。

### 1.2.3 指标测定与计算

(1)采用萨维诺夫法测定土壤大团聚体的组成、重铬酸钾容量法测量有机质、吸管法测定微团聚体<sup>[20]</sup>。

(2)抗蚀性指标测定。水稳性团聚类: $>0.5$  mm 水稳性团聚体含量( $X_1$ )、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量( $X_2$ )、 $>0.5$  mm 水稳性团聚体破坏率( $X_3$ )、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体破坏率( $X_4$ )、水稳性团聚体平均重量直径( $X_5$ );无机黏粒类: $<0.05$  mm 粉粒含量( $X_6$ )、 $<0.01$  mm 物理性黏粒含量( $X_7$ )、 $<0.001$  mm 黏粒含量( $X_8$ );微团聚体类:团聚度( $X_9$ )、分散系数( $X_{10}$ )、土壤团聚状况( $X_{11}$ )、分散率( $X_{12}$ )、结构性颗粒指数( $X_{13}$ );有机质类:有机质含量( $X_{14}$ )。

其中  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  等指标通过步骤(1)测量直接获得, $X_9$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{13}$ 、 $X_{14}$  通过土壤物理性质测定法<sup>[20]</sup>计算获得。

土壤团聚体平均质量直径( $X_5$ ) (MWD, mm)<sup>[21]</sup>的计算公式为:

$$\text{MWD} = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (1)$$

式中: $w_i$ 为第  $i$  粒级团聚体质量百分数(%); $x_i$ 为相邻两粒级团聚体平均粒级(mm)。

### 1.3 数据处理与分析

运用 Excel 2010 对数据进行统计分析和图表处理,使用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析(Duncan 法, $P < 0.05$ )和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 篱前淤积带和篱下土坎有机质含量特征

由表 1 可知,同一篱带,土壤有机质含量均表现为篱前淤积带 $>$ 篱下土坎,T1、T2 和 T3 小区篱前淤积带土壤有机质含量较篱下土坎平均显著高 11.38%、10.01%、10.44%。同一小区,篱前淤积带土壤有机质含量均表现为下坡 $>$ 中坡 $>$ 上坡,下坡与上坡之间存在显著性差异;篱下土坎土壤有机质含量均表现为中坡 $>$ 上坡,但差异不显著。各小区下坡篱前淤积带土壤有机质含量最高,上坡篱下土坎土壤有机质含量最低,其中 T3 小区下坡篱前淤积带较上坡篱下土坎显著增加 23%。这是因为土壤表面径流的冲刷导致表层土壤养分含量流失,在下坡篱前淤积带富集,中坡土壤受到上坡流失养分的补给,导致上坡篱下土坎土壤有机质含量显著减少。

此外,不同小区同一坡位篱前淤积带和篱下土坎有机质含量均表现为 T2 $>$ T1 $>$ T3,其中 T2 小区篱

前淤积带和篱下土坎有机质含量较 T1 小区平均高出 3.34%和 4.63%,较 T3 小区平均高出 13.85%和 14.30%。同坡度下,香根草植物篱小区篱前淤积带和篱下土坎土壤有机质含量均高于新银合欢植物篱小区;同为香根草植物篱小区时,10°小区的土壤有机质含量要高于 15°小区。

表 1 各小区篱前淤积带与篱下土坎土壤有机质含量

			单位:g/kg
小区	篱带位置	采样点	有机质含量
T1	上坡	篱前淤积带	18.24±0.54ab
		篱下土坎	17.37±2.79b
	中坡	篱前淤积带	18.82±0.13ab
		篱下土坎	17.60±0.17b
T2	下坡	篱前淤积带	21.35±0.52a
		篱下土坎	19.06±0.32b
	上坡	篱前淤积带	18.07±1.04b
		篱下土坎	19.62±0.31b
T3	中坡	篱前淤积带	18.51±1.65b
		篱下土坎	21.68±1.13a
	下坡	篱前淤积带	16.99±0.89bc
		篱下土坎	15.44±1.03c
上坡	篱前淤积带	17.48±0.95ab	
	篱下土坎	16.57±0.32c	
		篱前淤积带	18.55±1.14a

注:表中数据为平均值±标准差( $n=3$ );同列不同小写字母表示同一指标在同一小区不同坡位存在显著差异( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 篱前淤积带和篱下土坎土壤水稳性团聚体结构稳定性

由表 2 可知,不同小区各坡位同一篱带, $>0.5$ 、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量和 MWD 表现为篱前淤积带 $<$ 篱下土坎,T1、T2 和 T3 篱下土坎较篱前淤积带分别增加了 15.20%、4.30%、3.17%、19.80%、16.26%、22.67%和 9.53%、9.69%、11.20%,结构破坏率则呈现相反规律。同一小区,篱前淤积带水稳性团聚体含量和 MWD 均表现为中坡 $>$ 上坡 $>$ 下坡,各坡位之间差异不显著;篱下土坎水稳性团聚体含量均表现为上坡 $>$ 中坡;篱前淤积带和篱下土坎水稳性团聚体结构破坏率则与水稳性团聚体含量的表现正好相反。

不同小区,篱前淤积带和篱下土坎水稳性团聚体含量和 MWD 表现为 T2 $>$ T1 $>$ T3,水稳性团聚体结构破坏率与之相反,其中 T2 小区篱前淤积带和篱下土坎 MWD 较 T1 小区平均提高 8.39%和 28.87%,较 T3 小区平均提高 18.03%和 30.26%。同坡度下,香根草植物篱小区篱前淤积带和篱下土坎土壤水稳性均优于新银合欢植物篱小区;同为香根草植物篱小区时,坡度越大,土壤水稳定性越差。

### 2.3 篱前淤积带和篱下土坎土壤颗粒分散特性

土壤颗粒的分散特性由无机黏粒类和微团聚体类表示,通过抵抗在水中分散的能力,反映了土壤颗

粒抗蚀能力的强弱,主要的指标有团聚度、分散率和土壤团聚状况。由图 1 可知,同一篱带,篱前淤积带土壤团聚度和团聚状况明显高于篱下土坎,T1、T2 和 T3 篱前淤积带较篱下土坎分别高出 16.12%、14.34%、7.73%、10.33%和 6.79%、9.13%;篱前淤积带土壤颗

粒分散率、 $<0.01$  mm 物理性黏粒和 $<0.001$  mm 黏粒均略低于篱下土坎。同一小区,篱前淤积带团聚度和团聚状况均表现为上坡 $<$ 中坡 $<$ 下坡,篱下土坎团聚度和团聚状况表现为上坡 $<$ 中坡,土壤分散率和 $<0.01$  mm 物理性黏粒则与团聚状况表现相反。

表 2 各小区篱前淤积带与篱下土坎团聚体水稳定性特征

小区	篱带位置	采样点	$>0.5$ mm	$>0.25$ mm	$>0.5$ mm 水稳性	$>0.25$ mm 水稳性	MWD/mm
			水稳性 团聚体/%	水稳性 团聚体/%	团聚体结构 破坏率/%	团聚体结构 破坏率/%	
T1	上坡	篱前淤积带	45.88±2.08bc	57.27±2.60ab	50.33±2.23ab	41.50±2.69ab	1.90±0.07a
		篱下土坎	56.33±2.74a	65.04±2.68a	39.70±2.77c	33.35±2.63b	1.99±0.21a
	中坡	篱前淤积带	48.69±1.58b	57.50±1.91ab	49.43±1.61b	40.91±1.96ab	1.96±0.29a
		篱下土坎	49.55±1.57b	51.18±1.73b	57.01±1.43a	47.68±1.71a	1.93±0.12a
T2	下坡	篱前淤积带	42.58±3.66c	52.37±5.20b	56.16±3.47ab	46.77±5.00a	1.83±0.17a
		篱前淤积带	47.41±3.07cd	56.12±2.46c	50.52±2.63b	42.67±2.22b	2.00±0.34a
	上坡	篱前淤积带	58.82±1.52a	66.92±0.75a	35.90±1.06d	31.22±0.88d	2.49±0.14a
		篱下土坎	51.90±1.09bc	61.20±1.39b	45.49±1.43bc	37.18±1.78c	2.33±0.10a
T3	中坡	篱前淤积带	54.12±1.89ab	63.53±1.70ab	42.11±1.95c	35.08±1.17cd	2.56±0.26a
		篱下土坎	42.11±2.40d	50.99±1.94d	56.48±2.37a	48.19±2.07a	1.84±0.25a
	下坡	篱前淤积带	47.25±1.88a	55.24±1.68a	50.56±2.82b	43.17±1.76b	1.71±0.41a
		篱下土坎	49.55±4.82a	58.41±4.82a	48.27±5.24b	40.43±4.98b	1.84±0.41a
上坡	篱前淤积带	49.06±1.02a	57.42±0.83a	49.07±1.44b	41.69±0.91b	2.04±0.10a	
	篱下土坎	46.93±1.43a	56.39±0.87a	50.84±1.12b	42.39±0.70b	2.03±0.17a	
	下坡	篱前淤积带	36.82±2.35a	48.32±2.95b	62.28±2.04a	52.84±2.91a	1.48±0.12a

不同小区,篱前淤积带和篱下土坎团聚度和团聚状况均表现为 T2 小区大于 T1 和 T3 小区;T2 小区篱前淤积带和篱下土坎分散率最低,较 T1 小区分别降低了 4.23%和 6.13%,较 T3 小区分别降低了 0.18%和 0.26%;篱前淤积带和篱下土坎 $<0.05$  mm 粉粒表现均为 T1>T3>T2。同坡度下,香根草植物篱小区篱前淤积带和篱下土坎土壤团聚度和团聚状况高于新银合欢植物篱小区;同为香根草植物篱小区时,坡度越大,土壤团聚度和团聚状况越差。

## 2.4 植物篱条件下土壤综合抗蚀性特征分析

2.4.1 土壤综合抗蚀性指标主成分分析 为提取表示土壤抗蚀性的最佳指标,采用最大方差旋转法对各指标进行分析。由表 3 可知,主成分 1 为水稳性团聚类,包括 $>0.5$  mm 水稳性团聚体含量( $X_1$ )、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量( $X_2$ )、 $>0.5$  mm 水稳性团聚体破坏率( $X_3$ )、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体破坏率( $X_4$ )、水稳性团聚体平均重量直径( $X_5$ );主成分 2 为微团聚体类,包括团聚度( $X_9$ )、土壤团聚状况( $X_{11}$ )和分散率( $X_{12}$ );主成分 3 为无机黏粒类和微团聚体类,包括 $<0.001$  mm 黏粒含量( $X_8$ )、分散系数( $X_{10}$ )和结构性颗粒指数( $X_{13}$ );主成分 4 仅包括 $<0.01$  mm 物理性黏粒含量( $X_7$ )。其中, $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_{10}$ 和  $X_{12}$ 载荷系数为负,说明 $>0.5$  mm 水稳性团聚

体破坏率、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体破坏率、分散系数和分散率越大,土壤抗蚀能力越弱,反之亦然,其他指标则对土壤的抗蚀能力产生正面效果。

由表 4 可知,第 1 主成分贡献率最大,达 35.40%,第 2 主成分贡献率达 23.25%,第 3 主成分贡献率达 22.81%,第 4 主成分贡献率达 8.95%。前 4 个主成分累计方差贡献率达 90.40%,信息损失仅为 9.60%,其特征值均大于 1,满足主成分分析对信息损失量的要求,说明前 4 个主成分可以反映紫色土坡地土壤抗蚀性能的强弱。其中最适合表征该区域的抗蚀性指标分别为 $>0.5$  mm 水稳性团聚体含量( $X_1$ )、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量( $X_2$ )、 $>0.5$  mm 水稳性团聚体破坏率( $X_3$ )、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体破坏率( $X_4$ )、水稳性团聚体平均重量直径( $X_5$ )、 $<0.01$  物理性黏粒含量( $X_7$ )、 $<0.001$  mm 黏粒含量( $X_8$ )、团聚度( $X_9$ )、分散系数( $X_{10}$ )、土壤团聚状况( $X_{11}$ )、分散率( $X_{12}$ )、结构性颗粒指数( $X_{13}$ )。

综上所述,水稳性团聚类指标能较好地反映紫色土坡耕地抗蚀性能的强弱,微团聚体类和无机黏粒类;其次,有机质类最差。特征向量计算公式为: $A_{ik}=a_{ik}/\sqrt{\beta_k}$ 。式中: $A_{ik}$ 为第  $i$  个指标的特征向量; $a_{ik}$ 为第  $i$  个指标的因子载荷; $\beta_k$ 为第  $k$  个主成分的特征根。将原抗蚀性指标采用  $z$ -score 法经标准化后

与特征向量经矩阵运算后得到各主成分得分  $Y_k$ , 以各主成分方差贡献率为权重系数乘以各主成分得分, 得到土壤抗蚀性综合表达式为:  $Y = 0.3915Y_1 + 0.2571Y_2 + 0.2523Y_3 + 0.0990Y_4$ 。

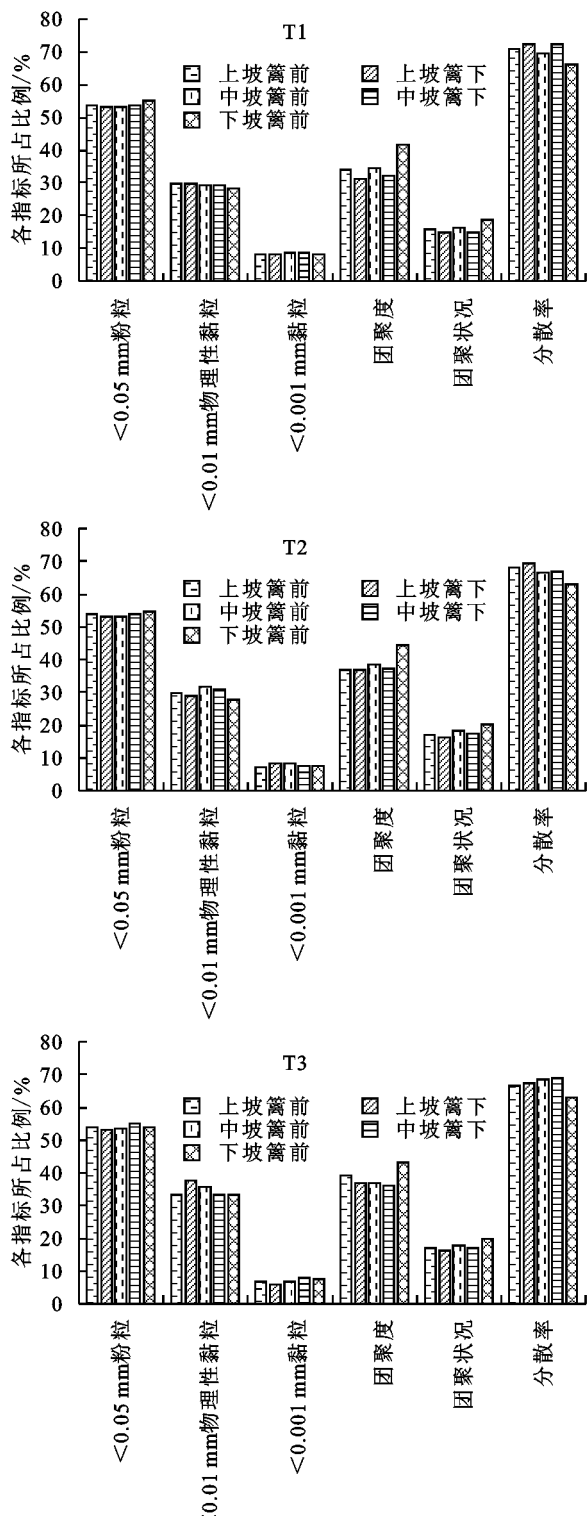


图1 各小区篱前淤积带与篱下土坎土壤颗粒分散特性

### 2.4.2 篱前淤积带和篱下土坎土壤综合抗蚀性特征

由表5可知,同一篱带,篱下土坎平均抗蚀性综合指数均高于篱前淤积带,T1、T2、T3 篱下土坎平均抗蚀性综合指数分别是篱前淤积带的 1.48、2.10、3.17 倍。同一小区,T1和 T2 小区篱下土坎综合指数表

现为上坡>中坡,篱前淤积带综合指数在坡位间无明显变化规律;T3 小区篱前淤积带和篱下土坎综合指数均在中坡达到最大。

表3 土壤抗蚀性指标主成分分析旋转后的因子载荷矩阵

抗蚀性指标	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
$X_1$	0.983	0.128	0.078	0.043
$X_2$	0.991	0.061	0.045	0.031
$X_3$	-0.982	-0.115	-0.104	-0.020
$X_4$	-0.990	-0.063	-0.059	-0.027
$X_5$	0.893	0.017	0.332	0.026
$X_6$	0.206	0.491	0.676	0.321
$X_7$	0.252	0.119	0.120	0.871
$X_8$	0.114	0.002	0.958	-0.066
$X_9$	0.110	0.966	0.213	0.070
$X_{10}$	-0.065	-0.200	-0.821	-0.102
$X_{11}$	0.086	0.987	0.081	0.001
$X_{12}$	-0.054	-0.974	0.067	0.075
$X_{13}$	0.136	-0.096	0.907	-0.175
$X_{14}$	0.320	0.239	0.341	-0.576

表4 各小区土壤抗蚀性指标总方差解释

主成分	特征根	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
$Y_1$	4.956	35.397	35.397
$Y_2$	3.255	23.248	58.645
$Y_3$	3.193	22.805	81.449
$Y_4$	1.254	8.954	90.404

表5 各小区篱前淤积带与篱下土坎土壤抗蚀性分析综合指数

小区	篱带位置	采样点	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	综合指数Y
T1	上坡	篱前淤积带	0.30	-0.78	1.40	-0.30	0.24
		篱下土坎	3.49	-2.27	1.70	-0.37	1.18
	中坡	篱前淤积带	0.35	-0.44	0.22	-0.34	0.04
		篱下土坎	-1.95	-1.80	2.40	0.68	-0.55
下坡	篱前淤积带	-1.30	2.01	1.65	-0.75	0.35	
	篱前淤积带	0.09	0.58	1.08	-0.27	0.43	
T2	上坡	篱下土坎	3.49	-0.75	2.26	-1.64	1.58
		篱前淤积带	1.24	0.38	2.93	0.46	1.37
	中坡	篱下土坎	2.23	1.35	1.20	0.32	1.56
		篱前淤积带	-1.90	3.22	1.57	-0.33	0.45
下坡	篱前淤积带	0.80	1.20	-1.66	0.70	0.27	
	篱下土坎	0.94	0.97	-2.64	2.27	0.18	
T3	上坡	篱前淤积带	0.83	0.37	-0.59	1.07	0.38
		篱下土坎	-0.04	0.32	1.34	1.40	0.54
	下坡	篱前淤积带	-3.79	2.96	1.10	1.37	-0.31

此外,不同小区,篱前淤积带和篱下土坎抗蚀性综合指数均为 T2 小区最高,T2 小区篱前淤积带平均抗蚀性综合指数分别是 T1 和 T3 小区的 2.57、6.62倍,篱下土坎平均抗蚀性综合指数分别是 T1 和 T3 小区的 4.98、4.36倍。由表6可知,各小区整体上抗蚀性综合指数表现为 T2>T1>T3,可见,同坡度下,香根草植物篱小区篱前淤积带和篱下土坎土壤抗蚀性优于新银合欢植

物篱小区;坡度越大,土壤抗蚀性越弱。

表 6 各小区土壤抗蚀性综合指数

小区	样本 个数	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	综合 指数 $Y$	排名
T1	5	0.18	-0.66	1.47	-0.22	0.25	2
T2	5	1.03	0.96	1.81	-0.29	1.08	1
T3	5	-0.25	1.17	-0.49	1.36	0.21	3

### 3 讨论

通过对篱前淤积带和篱下土坎土壤水稳定性研究发现,篱下土坎的土壤团聚体水稳定性均高于篱前淤积带,这可能是由于研究区土壤水稳定性较差,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优于篱前淤积带<sup>[7]</sup>,使得篱下土坎水稳性团聚体破坏率较低。土壤分散特性研究发现,土壤团聚度和团聚状况均为篱前淤积带高于篱下土坎,其篱前淤积带的粉粒和黏粒含量也基本较篱下土坎高,这可能是因为在篱前淤积带和篱下土坎形成过程中,篱下土坎的细颗粒经径流冲刷流失,而篱前淤积带因植物篱的拦截,小粒级土壤颗粒在篱前和篱带富集,造成粉黏粒含量高于篱下土坎,而土壤养分流失的主要原因是土壤细颗粒的损失,故篱前淤积带土壤有机质含量和土壤团聚状况均高于篱下土坎,这与吕文星等<sup>[22]</sup>、蒲玉琳等<sup>[23]</sup>研究结果一致。中、上坡的微团聚体及有机物质在径流的冲刷作用下向下坡聚集,同时促进了下坡植物篱的生长,双重作用使得下坡土壤有机质含量及团聚度较中、上坡更高,因此要多注意该区域上坡处的土壤养分流失情况,及时补施有机肥。

采用主成分分析法通过降维获得影响土壤抗蚀性的主成分发现,水稳性团聚体类主成分的载荷值最高,这表明水稳性团聚类指标能较好地反映土壤抗蚀性能的强弱,这与谢贤健等<sup>[11]</sup>和张华淦等<sup>[17]</sup>研究结果相似。植物篱篱带前后土壤抗蚀性能的强弱表现为篱下土坎大于篱前淤积带,这可能是由于篱下土坎较篱前淤积带更有利于植物根系的生长,土壤微生物和表层土壤动物生命活动更加活跃,土壤团聚体水稳定性更好。篱带前后土壤抗蚀性能的强弱在不同坡位间表现并不一致,T3 小区下坡篱前淤积带土壤抗蚀性最弱,这与蒲玉琳等<sup>[19]</sup>植物篱—农作模式中下坡>中坡>上坡的规律有所差异,可能是由于本试验采样时间为雨季,15°小区坡面的径流量较大,上、中坡径流的流量与流速均小于下坡,下坡土壤受到的冲刷作用最强,而蒲玉琳等<sup>[19]</sup>试验中采样时间距离雨季已有一段时间,植物篱的拦截作用使下坡土壤颗粒沉积,土壤团粒结构增加,团聚体水稳定性变好,具体原因有待进一步研究。

各小区篱前淤积带和篱下土坎土壤抗蚀性能强

弱表现为 10°香根草植物篱小区>10°新银合欢植物篱小区>15°香根草植物篱小区,植物篱种类对土壤抗蚀性造成的影响较坡度小。新银合欢植物篱小区土壤抗蚀性不如香根草植物篱小区,这主要是由于香根草根系扩展能力强,生长快,须根发达,易形成交错的密集网状根系,改善土壤结构作用明显,而新银合欢根系结构为主根系,根系扩展能力不如香根草,对团聚体形成的促进作用次于香根草<sup>[1]</sup>;而 10°香根草小区篱前淤积带和篱下土坎土壤抗蚀性高于 15°香根草小区,这可能是由于 10°坡度下,植物篱的生长状况较 15°坡度下更好,根系更为发达,促进了土壤大粒级团粒结构的形成,使其抵抗径流冲刷的能力更强,这与黄鑫等<sup>[24]</sup>和蒲玉琳等<sup>[23]</sup>研究结果一致。在紫色土坡地水土流失防治过程中,要注意根据地形条件进行水土流失的预防与治理,在筛选抗蚀性植物时,应优先选用能增强土壤团聚体水稳定性的植物。

### 4 结论

(1)同一篱带,篱前淤积带土壤有机质含量、团聚度和团聚状况均高于篱下土坎,其中篱前淤积带有机质含量较篱下土坎显著高出 10.01%~11.38%;篱下土坎土壤水稳性团聚体含量、MWD 和抗蚀性综合指数均高于篱前淤积带,其中篱下土坎抗蚀性综合指数是篱前淤积带的 1.48~3.17 倍。

(2)同一小区,篱前淤积带土壤有机质含量、团聚度和团聚状况均表现为下坡>中坡>上坡,篱下土坎均为中坡>上坡;篱前淤积带土壤水稳性团聚体含量、MWD 均中坡最大,篱下土坎水稳性团聚体含量在上坡最大;土壤抗蚀性综合指数在坡位间则无明显变化规律。

(3)不同小区,篱前淤积带和篱下土坎土壤有机质含量、水稳性团聚体含量和 MWD 均表现为 T2>T1>T3,T2 小区篱前淤积带和篱下土坎 MWD 较 T1 小区增加了 8.39%和 28.87%,较 T3 小区增加了 18.03%和 30.26%。同坡度下,香根草植物篱小区土壤有机质含量、团聚度、团聚状况和水稳定性均高于新银合欢植物篱小区;坡度越大,香根草植物篱小区土壤有机质含量、团聚状况和水稳定性表现越差。

(4)主成分分析发现,水稳性团聚类指标能较好地反映紫色土坡地抗蚀能力的强弱,微团聚体类和无机黏粒类次之,有机质类最差。研究小区土壤抗蚀性综合指数大小表现为 T2>T1>T3。同坡度下,香根草植物篱小区土壤抗蚀性优于新银合欢植物篱小区。

#### 参考文献:

- [1] 谌芸,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.
- [2] 曹艳,刘峰,包蕊,等.西南丘陵区坡耕地植物篱水土保持效益研究进展[J].水土保持学报,2017,31(4):57-63.

- [3] Donjatee S, Tingsanchali T. Reduction of runoff and soil loss over steep slopes by using vetiver hedgerow systems[J]. *Paddy and Water Environment*, 2013, 11(1/4): 573-581.
- [4] Partha P A, Hombegowda H C, Barman D, et al. Soil erosion control and carbon sequestration in shifting cultivated degraded highlands of eastern India: Performance of two contour hedgerow systems[J]. *Agroforestry Systems*, 2017, 91(4): 757-771.
- [5] Lenka N K, Dass A, Patnaik U 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(1): 31-40.
- [6] 林超文, 涂仕华, 黄晶晶, 等. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(6): 2191-2198.
- [7] 翟婷婷, 湛芸, 李铁, 等. 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[J]. *生态学报*, 2020, 40(2): 1-9.
- [8] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 等高植物篱控制紫色土坡耕地侵蚀的特点[J]. *土壤学报*, 2002, 39(1): 71-80.
- [9] 林秋月. 花岗岩区土壤抗蚀性评价因子体系研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2006.
- [10] 郭培才, 张振中, 杨开宝. 黄土区土壤抗蚀性预报及评价方法研究[J]. *水土保持学报*, 1992, 6(3): 48-51, 58.
- [11] 谢贤健, 李永飞. 不同巨桉林下紫色土壤抗蚀性与土壤因子的耦合关系分析[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(1): 97-102.
- [12] Zhu G Y, Tang Z S, Shangguan Z P, et al. Factors affecting the spatial and temporal variations in soil erodibility of China[J]. *Journal of Geophysical Research. Earth Surface*, 2019, 124(3): 737-749.
- [13] 邱陆畅, 张丽萍, 陆芳春, 等. 基于熵权法的林下土壤抗蚀性评价及影响因素分析[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(4): 74-79.
- [14] 郑子成, 杨玉梅, 李廷轩. 不同退耕模式下土壤抗蚀性差异及其评价模型[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 199-205.
- [15] Fernando S F, Antonio M G, Carmelo Á Z, et al. Comparison of methods for evaluating soil quality of semiarid ecosystem and evaluation of the effects of physico-chemical properties and factor soil erodibility (Northern Plateau, Spain) [J]. *Geoderma*, 2019, 354(11): e113872.
- [16] 王文艳, 张丽萍, 刘俏, 等. 黄土中主要矿物构成对土壤抗蚀性的影响及空间变异[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4): 7-11.
- [17] 张华渝, 王克勤, 宋娅丽. 滇中尖山河流域不同土地利用类型土壤抗蚀性[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(5): 50-57.
- [18] 史晓梅, 史东梅, 文卓立. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(4): 65-68.
- [19] 蒲玉琳, 谢德体, 林超文, 等. 植物篱—农作模式坡耕地土壤综合抗蚀性特征[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(18): 125-135.
- [20] 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[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [21] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J]. *生态学报*, 2003, 23(10): 2176-2183.
- [22] 吕文星, 张洪江, 程金花, 等. 三峡库区植物篱对土壤理化性质及抗蚀性的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(4): 69-73.
- [23] 蒲玉琳, 林超文, 谢德体, 等. 植物篱—农作坡耕地土壤微团聚体组成及分形特征[J]. *土壤学报*, 2012, 49(6): 1069-1077.
- [24] 黄鑫, 蒲晓君, 郑江坤, 等. 不同植物篱对紫色土区坡耕地表层土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(4): 173-177, 215.

(上接第 60 页)

- [20] 农振学, 王超, 雷晓辉. 基于主成分分析和 BP 神经网络的赣江流域中长期径流预报[J]. *水电能源科学*, 2018, 36(1): 16-19.
- [21] 高亮亮, 潘彩霞, 屠星月. 线性回归与 BP 神经网络方法的山东粮食产量预测比较研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(30): 10780-10783.
- [22] 刘广明, 吕真真, 杨劲松, 等. 基于主成分分析及 GIS 的环渤海区域土壤质量评价[J]. *排灌机械工程学报*, 2015, 33(1): 67-72.
- [23] 顾海燕, 徐文科, 于雷. 基于 BP 神经网络的河川年径流量预测[J]. *东北林业大学学报*, 2007, 35(10): 83-85.
- [24] 季刚, 华连生, 江双五. PCA—BP 神经网络在降水预测中的应用研究[J]. *微计算机信息*, 2012, 28(8): 128-130.
- [25] 戴葵. 神经网络设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [26] 刘晓刚, 褚桂红. BP 人工神经网络模型及其在年径流预报中的应用[J]. *内蒙古水利*, 2011(4): 76-78.
- [27] Han L, Li R, Zhu H L. Comprehensive evaluation model of soil nutrient based on BP neural network[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2011, 42(7): 109-115.