

紫色土区植物篱前淤积带土壤团聚体稳定性特征研究

王润泽¹, 湛芸¹, 李铁¹, 何丙辉¹, 向明辉², 陈鑫², 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, 四川 遂宁 629006)

摘要: 为探讨紫色土区植物篱前淤积带土壤团聚体的稳定性, 试验以该淤积带土壤为研究对象, 设置了10°对照小区(T1)、10°新银合欢植物篱小区(T2)、10°香根草植物篱小区(T3)、15°对照小区(T4)、15°香根草植物篱小区(T5)等5个处理, 采用萨维诺夫法测定了风干团聚体和水稳性团聚体的组成状况, 以保存机率、稳定性指数、PAD(结构体破坏率)、MWD(平均重量直径)、GMD(几何平均直径)、MWSSA(平均重量比表面积)、C_s(偏度系数)和C_e(峰凸系数)等为评价指标, 分析了不同坡度、不同植物篱种类下篱前淤积带土壤团聚体稳定性特征。结果表明:(1)各个小区篱前淤积带的水稳性团聚体数量表现为T2和T3小区明显大于T1, T5小区略微大于T4小区但不明显, 大坡度下植物篱对紫色土起到保土减沙作用需要一个前期过程。(2)同一坡位情况下, 各个小区篱前淤积带土壤团聚体稳定性指数表现为T3>T2>T1、T5>T4, 而PAD则表现为T1>T2>T3、T4>T5, 较之对照小区, 植物篱表现出对土壤团聚体抗侵蚀性的强化效应。(3)同一坡位情况下, 风干团聚体、水稳性团聚体的MWD、GMD和C_s均表现为T3>T2>T1、T5>T4, 而MWSSA则相反, 香根草植物篱较新银合欢植物篱更有利于增强团聚体的结构稳定性。(4)PAD能很好地描述干、湿筛处理前后团聚体的稳定性变化, 风干团聚体的C_s可作为评价团聚体抗机械稳定性的最佳指标, 水稳性团聚体的MWD和GMD可更好地表达团聚体的水稳性。

关键词: 土壤侵蚀; 植物篱; 团聚体; 稳定性; 篱前淤积带

中图分类号: S152.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)02-0210-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.02.031

Study on Stability of Soil Aggregates in the Sedimentation Zone in Front of Hedgerows in Purple Soil Area

WANG Runze¹, CHEN Yun¹, LI Tie¹, HE Binghui¹,

XIANG Minghui², CHEN Xin², TANG Han¹, ZHOU Tao¹, LIU Xiaohong¹

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715;

2. Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining, Suining, Sichuan 629006)

Abstract: In order to explore soil aggregates stability of sedimentation zone in front of hedgerows in purple soil area, taking purple soil under these zones as the research object, this article set 10° blank control (T1), 10° *Leucaena leucocephala* hedgerows (T2), 10° *Vetiveria zizanioides* hedgerows (T3), 15° blank control (T4) and 15° *Vetiveria zizanioides* hedgerows (T5). The composition of air-dried aggregates and water-stable aggregates was measured by the Savinov method. Using a series of evaluation indicators (save probability, stability index, percentage of aggregate destruction, mean weight diameter, geometric mean diameter, mean weight soil specific area, bias coefficient, peak convex coefficient), this article analyzed soil aggregates stability characteristics of sedimentation zone in front of hedgerows on different slopes and different hedgerow types. The results indicated that: (1) The number of water-stable aggregates in T2 and T3 was significantly larger than that of T1, and the T5 was slightly larger than that of T4. There was a pre-process that hedgerows could produce effect in soil conservation of steep slopes. (2) In the same slope position, the stability index of soil aggregates in sedimentation zone in front of hedgerows was: T3>T2>T1, T5>T4, while PAD

收稿日期: 2017-11-01

资助项目: 国家自然科学基金项目(41501288); 重庆市基础科学与前沿技术研究一般项目(cstc2017jcyjAX0472); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2015C170, XDJK2017D206); 西南大学第九届本科生科技创新基金项目(20162402008); 西南大学资源环境学院“光炯”项目(201719)

第一作者: 王润泽(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事水土保持与生态修复研究。E-mail: 704784686@qq.com

通信作者: 湛芸(1981—), 女, 副教授, 主要从事土壤侵蚀及流域治理研究。E-mail: sy22478@126.com

showed $T1 > T2 > T3$, $T4 > T5$. Compared with blank control, hedgerows showed that it can enhance effect on anti-erodibility of soil aggregates. (3) At the same slope position, the MWD, GMD and C_s of air-dried aggregates and water-stable aggregates showed $T3 > T2 > T1$, $T5 > T4$, whereas the MWSSA showed opposite trend. *Vetiveria zizanioides* hedgerows were more beneficial to enhance the stability of aggregates than that of *Leucaena leucocephala* hedgerows. (4) PAD could well describe the stability of aggregates before and after wet and sieve treatment. The C_s of air-dried aggregates could be used as the best index to evaluate the mechanical stability of aggregates. The MWD and GMD of water-stable aggregates could better express the water stability of the aggregates.

Keywords: soil erosion; hedgerows; soil aggregates; stability; sedimentation zone in front of hedgerows

紫色土作为一种侵蚀型的高生产力岩性土,主要分布于长江中上游地区^[1]。紫色岩石物理风化强烈,且分布区域降雨集中,暴雨频繁,使得该区域土壤侵蚀状况十分严重,尤以坡耕地最为突出。坡耕地不仅是人们赖以生存的重要生产资料,也是水土流失的主要策源地^[2]。植物篱是一种在长期农耕实践中产生的水土保持技术,具有控制水土流失、控制非点源污染和改善土壤环境等优点^[2-3]。植物篱可以使被侵蚀的土粒在篱带堆积,减缓坡度,减小坡长,提高篱坎高度,使坡耕地梯化成梯地,其推广应用在很大程度上可对坡耕地水土流失的防治起到积极作用。国内外对坡耕地植物篱生态效益的研究成果颇多,集中在植物篱种类研究^[4]、植物篱减蚀机理^[5-6]、植物篱根—土复合体固土机理^[7-8]、植物篱改善土壤养分^[9-10]、植物篱改善土壤物理性质^[11-12]和植物篱改善微地形^[13]等方面。

植物篱发挥水土保持效应主要依靠植物篱基部茎叶、篱前淤积带和地下根系3大部分。篱前淤积带是植物篱改变微地形最直观的体现之一,其宽度大约介于7~24 cm^[13]。篱前淤积带有别于作物种植带,其承担了作物种植带所不具备的独特水土保持功能,表现在机械阻滞降雨及其携带的泥沙、截短坡长并减小径流侵蚀动能、增加径流的下渗量、改善土壤理化性质、降低篱下作物带细沟产生的风险^[14]。通过研究篱前淤积带还可以发现泥沙及其养分的来源、带上方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指标变化情况等。因此,篱前淤积带的存在对植物篱水土保持效应的贡献不容忽视。土壤团聚体组成和稳定性反映了土壤物理性质的好坏,其在维持土壤孔隙状况、调节水气状况、促进根系生长和防治土壤侵蚀方面发挥着至关重要的作用,是评价土地生产力的重要指标^[15]。目前,有关植物篱对坡耕地土壤团聚体组成和稳定性的影响研究多集中在不同小区之间的坡度/坡位、植物篱种类以及耕作管理措施上的总体对比^[11],并没有很好地将篱前淤积带和作物种植带明晰地区分开来,而且篱前淤积带土壤团聚体研究鲜见报道。本研究选取植物

篱篱前淤积带土壤为对象,探讨其团聚体组成和稳定性特征,以期对植物篱技术的进一步推广应用提供科学依据。

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(105°28′37″E, 30°21′51″N),地处四川盆地中部,属丘陵地貌。该区属于亚热带季风性气候,年均气温18.2℃,年均降水量933.3 mm,年均蒸发量897.2 mm。该区土壤结构性差,大多是砂、泥、页岩风化形成的幼年紫色土,抗侵蚀性较弱^[13]。

1.2 试验设计

本次试验布设5个处理(即5个小区):10°对照小区(T1)、10°新银合欢植物篱小区(T2)、10°香根草植物篱小区(T3)、15°对照小区(T4)、15°香根草植物篱小区(T5)。每个小区规格为长×宽:20 m×5 m。各小区农作物均为玉米,采用顺坡常规种植。新银合欢植物篱和香根草植物篱均于2010年4月移栽,移栽时已有约30 cm高。植物篱栽植设计均为:小区上、中、下坡位各布设1条植物篱带,每带2行植株,带宽0.5 m;植株行距20 cm、株距20 cm;篱带前与农作物的隔离带宽1 m^[13]。

1.3 试验方法

1.3.1 样品采集 于2016年9月上旬采样,采样时间为雨后放晴3天以上,且无除草措施,待土壤湿度适宜、土不沾铲、接触不变形时进行采样,每个坡位的篱带上方布设3个采样点,采样点距篱带0~20 cm,在每个采样点处分别用铲子采集20 cm土层深度的散土约500 g带回实验室,每个小区采集9袋散土样品,共计45袋散土样品。采集的散土在室内沿土壤的自然结构轻轻地剥开,将土样剥成直径约10 mm的小土块,同时剔去粗根和小石块。将土样摊平在透气通风处让其自然风干用于团聚体组成测定。

1.3.2 土壤团聚体的组成测定 土壤团聚体组成包括风干团聚体组成和水稳性团聚体组成,采用萨维诺夫法(干筛法和湿筛法)测定^[16],每袋散土样品进行2

次重复测定。风干团聚体组成测定(干筛法):采用 GZS-1 高频振筛机测定,具体操作为取 150~200 g 风干土置于一组不同孔径(5, 2, 1, 0.5, 0.25 mm)的土壤筛中,振筛机筛分 5 min,分离出 >5, 5~2, 2~1, 1~0.5, 0.5~0.25, <0.25 mm 的土壤团聚体,分别称重并装入自封袋内,准确至 0.01 g。水稳性团聚体组成测定(湿筛法):采用 TTF-100 型土壤团粒结构分析仪测定,由干筛求得的各级团聚体百分含量,按比例配成 50 g 风干土样,然后将配好的土样小心放入自上而下置有 5, 2, 1, 0.5, 0.25 mm 共 5 个筛子的沉降筒内,使水面刚好淹没土样,静置 3 min,设置沉降时间为 15 min,振幅为 3 cm,筛分结束后,将已湿筛好的筛组拆开,留在各级筛子上的团聚体用细水流洗入已有编号的小烧杯中,倾去上清液,烘干并称重,准确至 0.01 g。

1.3.3 相关指标的计算 土壤结构稳定性是指团聚体抵抗外力分散的性能,常用团聚体保存机率、稳定性指数、结构体破坏率、平均重量直径、几何平均直径和平均重量比表面积等指标进行评价^[17]。计算团聚体保存机率和稳定性指数采用石辉^[18]提出的转移矩阵法,将 i 个粒级范围的风干团聚体百分含量构成一个矩阵 M_i ,湿筛后对应的团聚体百分含量为矩阵 N_i ,每个筛径在筛分时保存在原筛径范围内的机率为 $X_1, X_2, \dots, X_i$,则 $MX=N$,那么稳定性指数则为:

$$ASI = X_1 + X_2 + \dots + X_i \quad (1)$$

式中:ASI 为团聚体稳定性指数; X_i 为各粒级团聚体保存机率。

$$PAD = (W_d - W_w) / W_d \times 100\% \quad (2)$$

式中:PAD 为结构体破坏率(%); W_d 为风干团聚体中 >0.25 mm 粒级所占的比例(%); W_w 为水稳性团聚体中 >0.25 mm 粒级所占的比例(%)。

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (3)$$

式中:MWD 为平均重量直径(mm); 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径(mm)。

$$GMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (4)$$

式中:GMD 为几何平均直径(mm); w_i 为第 i 级团聚体质量百分数(%); x_i 为相邻两粒级团聚体平均粒径(mm)。

$$MWSSA = \sum_{i=1}^n \frac{6w_i}{\rho_i x_i} \quad (5)$$

式中:MWSSA 为平均重量比表面积(cm^2/g); $\rho_i = \rho_n = 2.65 \text{ g/cm}^3$; x_i 为相邻两粒级团聚体平均粒径(mm); w_i 为第 i 粒级团聚体质量百分数(%)。

矩估计法统计团聚体组成特征参数标准差 σ 、偏度

系数 C_S 和峰凸系数 C_E 的计算公式见参考文献^[19]:

$$\sigma = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 w_i} \quad (6)$$

$$C_S = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \sigma^{-3} \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 w_i \quad (7)$$

$$C_E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 = \sigma^{-4} \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 w_i - 3 \quad (8)$$

式中: μ_2, μ_3 和 μ_4 分别为二阶、三阶和四阶中心距; x_i 为相邻两粒级团聚体的平均粒径(mm); $\bar{x}$ 为所有粒级团聚体平均粒径(mm); w_i 为第 i 粒级团聚体质量百分数(%)。

土壤团聚体敏感性指标计算公式见参考文献^[20]:
敏感性指标 = (变量最大值 - 变量最小值) / 变量最小值
(9)

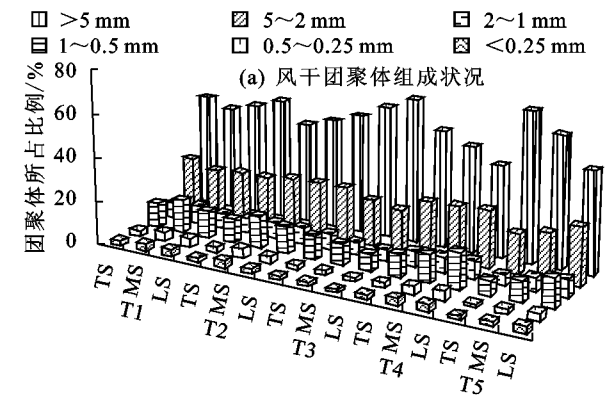
2 结果与分析

2.1 篱前淤积带土壤风干团聚体和水稳性团聚体的分布特征

由图 1 可知,不同试验小区各粒级篱前淤积带(对照小区相应位置称为对应带)土壤风干团聚体含量分布较为均匀,均以 >5, 5~2, 1~0.5 mm 粒级为主,其中 >5 mm 粒级为优势粒级,5~2 mm 粒级为次优势粒级,>5 mm 风干团聚体在 0~20 cm 耕层分布在 46.15%~67.78%。>0.25 mm 风干团聚体含量均较高,为 96.32%~98.59%。通过湿筛法获得的水稳性团聚体含量可直接反映不同试验小区在降雨、径流作用下的水稳性特征^[21],由图 1 还可知,不同小区篱前淤积带土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体含量均较 >0.25 mm 风干团聚体含量明显降低,说明土壤团聚体在经过降雨、径流作用后较易分散,>0.25 mm 水稳性团聚体含量最高为 T3 坡下(70.78%),最低为 T4 坡上(45.29%)。总体来看,同一坡位情况下,不同小区篱前淤积带土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体含量均表现为 T3>T2>T1、T5>T4,由此可见,T3 和 T2 小区篱前淤积带土壤抗分散能力强于 T1 小区对应带土壤,T5 小区篱前淤积带土壤抗分散能力强于 T4 小区对应带土壤,香根草植物篱对团聚体水稳定性的强化效应大于新银合欢篱。

>1 mm 的水稳性团聚体对调节土壤通气、持水状况和营养平衡释放具有重要作用,其含量高低与土壤肥力水平密切相关^[22]。坡度为 10°时,T1 小区坡上、中、下篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量分别为 45.76%,28.76%和 43.37%,T2 小区的分别为 50.81%,39.59%和 49.21%,T3 小区的分别为 48.84%,49.75%和 53.94%。坡度为 15°时,T4 小区坡上、中、下篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量分别为 24.52%,34.40%和 31.78%,T5

小区的分别为 26.77%,35.29%和 39.44%。总体来看,同一坡位情况下,T2 和 T3 小区篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量均明显大于 T1 小区,T5 小区篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量略微大于 T4 小区,但不明显。这说明在降雨和径流作用下,较之 T1 小区,T2 和 T3 小区的植物篱发挥了显著的保土减沙效应^[13],改善了篱前淤积带的土壤通气和持水状况,提高了该带的土壤肥力水平。研究还发现,10°坡度时,除坡上位置外,T3 小区的坡中、下篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量均大于 T2 小区的相应坡位,说明香根草植物篱的保



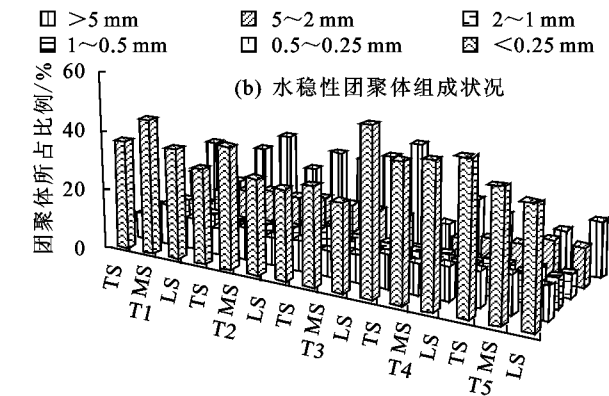
注:TS、MS 和 LS 分别表示坡上、坡中和坡下。

图 1 不同小区植物篱篱前淤积带土壤团聚体组成状况

2.2 篱前淤积带土壤团聚体保存机率、稳定性指数和结构破坏率

土壤团聚体保存机率描述了大团聚体在筛分过程中破碎到下一粒级的特点,通过计算各粒级团聚体的保存机率,可以评价稳定性特征^[23]。本研究将 <0.25 mm 粒级划定为最小粒级,故 <0.25 mm 粒

土效果优于新银合欢植物篱,根据何丙辉等^[6]在本试验区的相关研究,这是因为香根草植物篱的篱带闭合度大于新银合欢植物篱。根据先前湛芸等^[13]在本试验区的植物篱水土保持效应研究,定植植物篱初期(2011 年),大坡度对径流泥沙的影响显著于植物篱对径流泥沙的影响,但随着定植时间的延长,二者的影响差距可能会逐渐缩小。故于 2016 年(定植植物篱 6 年)取样分析时发现,坡度为 15°的 T5 小区(与 15°对照小区 T4 相比较),其栽植香根草植物篱的保土减沙正效应开始略大于大坡度的负效应,此过程需要约 6 年的时间才能显现。



级团聚体保存机率为 1。不同小区篱前淤积带土壤各粒级团聚体保存机率存在差异(表 1),保存机率在 0.09~0.54 范围内变化。总体而言,>5 mm 粒级团聚体保存机率最高(T4 和 T5 坡上除外),这是因为孔隙状况与大团聚体的稳定性紧密关联,能够有效地维持团聚体结构。

表 1 不同小区篱前淤积带土壤团聚体保存机率及稳定性指数

小区	坡位	团聚体保存机率						稳定性指数	结构体破坏率/%
		>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm		
T1	坡上	0.45	0.28	0.20	0.21	0.25	1.00	2.39	35.24
	坡中	0.22	0.17	0.17	0.23	0.30	1.00	2.09	43.21
	坡下	0.47	0.23	0.22	0.22	0.30	1.00	2.44	34.85
T2	坡上	0.54	0.27	0.23	0.22	0.28	1.00	2.54	30.64
	坡中	0.43	0.25	0.20	0.20	0.28	1.00	2.36	38.54
	坡下	0.53	0.25	0.18	0.20	0.28	1.00	2.45	30.02
T3	坡上	0.49	0.25	0.24	0.28	0.34	1.00	2.60	28.76
	坡中	0.48	0.26	0.20	0.22	0.26	1.00	2.42	31.40
	坡下	0.54	0.30	0.24	0.25	0.30	1.00	2.63	28.21
T4	坡上	0.13	0.13	0.09	0.14	0.20	1.00	1.69	54.03
	坡中	0.32	0.14	0.14	0.20	0.24	1.00	2.04	44.02
	坡下	0.33	0.18	0.15	0.20	0.27	1.00	2.13	45.34
T5	坡上	0.17	0.15	0.14	0.21	0.25	1.00	1.92	48.32
	坡中	0.29	0.23	0.18	0.20	0.29	1.00	2.19	40.56
	坡下	0.44	0.27	0.23	0.24	0.30	1.00	2.48	36.86

团聚体稳定性指数为各粒级团聚体保存机率之和,亦可表征团聚体稳定性特征^[17]。由表 1 可知,同一坡度和坡位情况下,不同小区篱前淤积带土壤团聚体稳定性指数均表现为 $T3 > T2 > T1$ 、 $T5 > T4$,这说明 $T3$ 和 $T2$ 篱前淤积带土壤结构较 $T1$ 对应带、 $T5$ 篱前淤积带土壤结构较 $T4$ 对应带具有良好的通透性,抗侵蚀能力强。

结构体破坏率是表征土壤团聚体结构特征的重要指标之一,反映了团聚体对水的稳定性,结构体破坏率越小,土壤结构越稳定^[20]。同一坡度和坡位情况下,不同试验小区篱前淤积带团聚体结构破坏率均表现为 $T1 > T2 > T3$ 、 $T4 > T5$,由此可见, $T3$ 和 $T2$ 小区篱前淤积带土壤结构稳定性强于 $T1$ 小区对应带土壤, $T5$ 小区篱前淤积带土壤结构稳定性强于 $T4$ 小区对应带土壤, $T3$ 小区香根草植物篱对篱前淤积带土壤结构稳定性的强化效应大于 $T2$ 小区新银合欢植物篱,这与上文的研究结果一致。

2.3 篱前淤积带土壤团聚体 MWD、GMD 和 MWSSA 的变异特征

团聚体的平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)和平均重量比表面积(MWSSA)均为评价其结构特征常用的代表性指标。一般来讲,MWD 和 GMD 的值越大,表示团聚体的团聚程度越高,稳定性越强^[20];MWSSA 的值越大,表示土壤质地越细,分散性越强^[24]。由表 2 可知,同一坡位情况下,基于干、湿筛的 MWD 和 GMD 均表现为 $T3 > T2 > T1$ 、 $T5 > T4$,MWSSA 均表现为 $T1 > T2 > T3$ 、 $T4 > T5$,说明篱前淤积带土壤团聚程度较对照小区对应带土壤高,分散性较对照小区的低,篱带对径流泥沙有一定的拦截作用,同时植物篱地下部分密集分布的根系可增加土壤的通透性和保水性,发挥应有的固土性能,这对于增强团聚体的抗机械稳定性和水稳定性有利。根据 Csilla 等^[25]和 Amezketa^[26]的观点,分析原因:一是植物篱密集根系可增加根系与土粒接触的面积,大量根系分泌物可充分胶结、笼络根系周围的细小土壤颗粒,增大了根系与细小土壤颗粒之间的范德华吸引力,这可能对于形成土壤团聚结构有利;二是细根萎缩腐解转化为腐殖质,腐殖质可作为“胶结剂”与细小土壤颗粒以多价阳离子为“键桥”而“粘”在一起,使得篱前淤积带土壤团聚体结构稳定性较之对照小区有所增强。研究还发现,同一坡位情况下,无论是植物篱小区还是对照小区,湿筛处理的 MWD 和 GMD 均较干筛处理有一定程度地降低,但湿筛的 MWSSA 较干筛处理均大幅度增加(最大

增幅达 98.05 g/cm^2 ,最小增幅达 53.85 g/cm^2),说明所有的小区篱前淤积带土壤团聚体的稳定性普遍较弱,经实际调查发现,主要是因为 2016 年 9 月前工人对植物篱进行了平茬措施(即从根颈处全部剪截去上面的枝条),农机器具的扰动土壤和工人对篱前淤积带的踩踏可能造成原有土壤团聚结构发生了一定程度上的破坏。

2.4 篱前淤积带土壤团聚体的矩估计法统计特征

矩估计法在使用时可以不知总体的分布,原理简单,使用方便,且具有严密的数学逻辑,被广泛应用于土壤颗粒组成特征分析。土壤团聚体组成与颗粒组成存在着很强的相似性,因此用矩估计法统计参数(偏度系数 C_s 和峰凸系数 C_E)表征团聚体组成特征具有理论可行性^[19]。偏度系数 C_s 表征团聚体分布曲线的对称性,反映了团聚体平均直径两侧分布平衡与否,当 $C_s > 0$ 表示团聚体分布为正偏态,即含量占优势的团聚体直径大于平均直径,团聚程度强, $C_s < 0$ 则相反;峰凸系数 C_E 表征团聚体分布的集中程度,反映了分布曲线形状的“高瘦”或“矮胖”, $C_E > 0$ 表示团聚体分布相对集中, $C_E < 0$ 表示团聚体分布相对均匀。从表 2 可以看出,同一坡位情况下,基于干筛处理的篱前淤积带土壤团聚体分布偏度系数 C_s 表现为 $T3 > T2 > T1$ 、 $T5 > T4$,说明较之对应带,篱前淤积带土壤大于平均直径的风干团聚体含量较高,团聚作用较强,这与前面的 MWD、GMD 研究结论一致。但风干团聚体经湿筛分离后,所有小区的水稳性团聚体分布偏度系数 C_s 普遍降低为负值且相差不大,介于 $-1.05 \sim -0.93$,说明植物篱进行平茬措施期间,农机器具的扰动土壤和人为的踩踏可能一定程度上破坏了土壤原有团聚结构,使得篱前淤积带土壤团聚体水稳性降低,极易受到降雨径流的破坏,导致许多大粒径团聚体破裂为小粒径团聚体。基于干筛,土壤团聚体分布峰凸系数 C_E 均为负值,变幅为 0.12 ,说明不同小区篱前淤积带土壤团聚体优势粒级不明显;湿筛分离后峰凸系数 C_E 均进一步减小,这说明湿筛分离使得各粒级范围团聚体含量分布更加趋于均匀。

2.5 敏感性分析

为了减少后续研究中评价指标的选取,以便从多个评价指标中更直观地筛选出敏感性指标,本文对不同小区篱前淤积带土壤干、湿筛处理前后的各个指标进行了敏感性分析。由表 3 可以看出,同一坡位情况下,PAD 的敏感性高于稳定性指数,可作为敏感性指标之一。同一坡位下,基于干筛处理的 C_s 敏感性均高于其他指标(稳定性指数和 PAD 除外);基于湿筛

处理的 MWD 和 GMD 敏感性高于 MWSSA 和 C_s 。综上所述,建议后续研究中,可以考虑将 PAD 作为描述干、湿筛处理前后的团聚体稳定性评价指标,将基于干筛处理的 C_s 作为描述风干团聚体抗机械稳定性的最佳评价指标,将基于湿筛处理的 MWD 和 GMD 作为描述团聚体水稳定性的评价指标。而刘梦云等^[20]的研究认为,偏度系数 C_s 能够较好地描述团聚体的水稳定性,本研究对团聚体水稳定性评价指标的敏感性判别结果与此不同,这与不同研究区域的土壤团聚体组成状况和稳定性迥异有关。

表 2 不同小区篱前淤积带土壤团聚体的特征参数

小区	坡位	处理 方式	MWD/ mm	GMD/ mm	MWSSA/ ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	C_s	C_E
T1	坡上	干筛	4.57	3.03	13.04	0.33	-1.50
		湿筛	2.19	0.68	85.28	-1.01	-1.66
	坡中	干筛	4.54	3.01	17.06	0.29	-1.52
		湿筛	1.75	0.57	95.80	-1.03	-1.82
	坡下	干筛	4.81	3.35	15.85	0.26	-1.56
		湿筛	2.47	0.79	78.70	-1.02	-1.70
T2	坡上	干筛	5.10	3.41	12.05	0.37	-1.49
		湿筛	2.73	0.98	69.99	-0.97	-1.64
	坡中	干筛	4.85	3.61	12.53	0.38	-1.49
		湿筛	2.52	0.83	77.12	-0.99	-1.72
	坡下	干筛	4.96	3.80	14.18	0.44	-1.47
		湿筛	2.79	0.97	68.96	-0.98	-1.64
T3	坡上	干筛	5.13	4.07	9.55	0.51	-1.46
		湿筛	2.93	1.02	66.82	-0.97	-1.66
	坡中	干筛	5.84	4.68	11.57	0.62	-1.47
		湿筛	2.87	0.99	68.53	-0.95	-1.64
	坡下	干筛	5.71	4.52	9.82	0.51	-1.46
		湿筛	3.26	1.18	63.67	-0.93	-1.61
T4	坡上	干筛	4.61	3.75	17.08	0.28	-1.47
		湿筛	1.34	0.40	110.58	-1.05	-1.83
	坡中	干筛	4.70	3.23	15.96	0.23	-1.51
		湿筛	1.28	0.47	102.28	-1.04	-1.77
	坡下	干筛	4.30	2.81	18.34	0.17	-1.55
		湿筛	1.46	0.43	97.00	-1.04	-1.78
T5	坡上	干筛	5.38	3.81	11.83	0.40	-1.48
		湿筛	1.99	0.52	93.42	-1.02	-1.82
	坡中	干筛	5.35	3.99	12.34	0.39	-1.47
		湿筛	1.80	0.57	89.90	-1.01	-1.75
	坡下	干筛	5.07	3.18	15.95	0.40	-1.44
		湿筛	2.13	0.68	83.39	-1.02	-1.72

表 3 篱前淤积带土壤团聚体评价指标的敏感性

坡位	处理 方式	稳定性 指数	PAD	MWD	GMD	MWSSA	C_s	C_E
坡上	干筛	0.54	0.88	0.18	0.34	0.79	0.82	0.03
	湿筛			1.19	1.55	0.67	0.08	0.10
坡中	干筛	0.17	0.40	0.27	0.55	0.47	1.70	0.03
	湿筛			1.24	1.11	0.49	0.09	0.09
坡下	干筛	0.23	0.61	0.33	0.61	0.87	2.00	0.07
	湿筛			1.23	1.74	0.52	0.11	0.10

3 结 论

- (1)通过对比各个小区篱前淤积带土壤团聚体分布特征可知,风干团聚体含量均以 $>5,5\sim2,1\sim0.5$ mm 粒级为主,其中 >5 mm 粒级为优势粒级, $5\sim2$ mm 粒级为次优势粒级。同一坡位情况下,T2 和 T3 小区篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量均明显大于 T1 小区,T5 小区篱前淤积带土壤 >1 mm 的水稳性团聚体含量略微大于 T4 小区,但不明显。较之对照小区,试验小区植物篱有利于增加 >1 mm 的水稳性团聚体含量。植物篱对大坡度(15°)紫色土起到保土减沙作用有个前期过程,这个过程时间约为 6 年。
- (2)各个小区篱前淤积带土壤团聚体保存机率介于 $0.09\sim0.54,>5$ mm 粒级的保存机率最高。同一坡位情况下,团聚体稳定性指数表现为 $T3>T2>T1,T5>T4$,而结构体破坏率则表现为 $T1>T2>T3,T4>T5$ 。试验小区植物篱篱前淤积带土壤团聚体结构稳定性和抗侵蚀性均强于对照小区,香根草植物篱对篱前淤积带土壤结构稳定性的强化效应大于新银合欢植物篱。
- (3)同一坡位情况下,基于干、湿筛的 MWD 和 GMD 均呈现 $T3>T2>T1,T5>T4$,MWSSA 均呈现 $T1>T2>T3,T4>T5$,湿筛处理的 MWD 和 GMD 均较干筛处理有一定程度地降低,但湿筛的 MWSSA 均较干筛处理大幅度增加。较之干筛,湿筛的团聚体分布偏度系数 C_s 均普遍降低为负值且相差不大,介于 $-1.05\sim-0.93$ 。基于干筛的团聚体分布峰凸系数 C_E 均为负值,优势粒级不明显;湿筛分离后 C_E 均进一步减小,各粒级范围团聚体含量分布更加趋于均匀。
- (4)PAD 能较好地描述干、湿筛处理前后的团聚体稳定性,基于干筛处理的偏度系数 C_s 可作为描述风干团聚体抗机械稳定性的最佳评价指标,而基于湿筛处理的 MWD 和 GMD 可以更好地表达团聚体水稳定性。稳定性指数、峰凸系数 C_E 和 MWSSA 则不利于土壤团聚体侵蚀敏感性的表达。

参考文献:

[1] 刘刚才. 紫色土侵蚀规律及防治技术[M]. 成都: 四川大学出版社,2008.

[2] 刘卉芳,鲁文,王昭艳,等. 植物篱在坡耕地水土保持中的作用研究综述[J]. 中国农村水利水电,2015(10):31-34.

[3] Sudhishri S, Dass A, Lenka N K. Efficacy of vegetative barriers for rehabilitation of degraded hill slopes in eastern India [J]. Soil and Tillage Research,2008,99(1):98-107.

[4] 尹迪信,唐华彬,罗红军,等. 植物篱技术发展回顾和贵州省的研究进展[J]. 水土保持研究,2006,13(1):15-17.

[5] 赵纯清. 植物篱拦挡对沟道径流水力特性及挟沙力影响

- 的模拟研究[D]. 武汉:华中农业大学,2014.
- [6] 何丙辉,陈晶晶,向明辉,等. 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[J]. 三峡生态环境监测,2016,1(1):36-45.
- [7] 杨璞,向志海,胡夏嵩,等. 根对土壤加强作用的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版),2009,49(2):305-308.
- [8] 李建兴,何丙辉,谌芸,等. 不同护坡草本植物的根系分布特征及其对土壤抗剪强度的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(10):144-152.
- [9] 张洋,樊芳玲,周川,等. 三峡库区农桑配置对地表氮磷流失的影响[J]. 土壤学报,2016,53(1):189-201.
- [10] 谌芸,马云,何丙辉. 植物篱对紫色土物理性质及养分的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(6):59-63.
- [11] 蒲玉琳,林超文,谢德体,等. 植物篱—农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征[J]. 应用生态学报,2013,24(1):122-128.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 许峰,张光远. 香根草植物篱控制坡地侵蚀与养分流失研究[J]. 山地农业生物学报,2000,19(2):75-78.
- [15] 蔡立群,齐鹏,张仁陟. 保护性耕作对麦—豆轮作条件下土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(2):141-145.
- [16] 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.
- [17] 汪三树,黄先智,史东梅,等. 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究[J]. 生态学报,2013,33(18):5589-5598.
- [18] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体的稳定性[J]. 水土保持通报,2006,26(3):91-95.
- [19] 祁迎春,王益权,刘军,等. 不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J]. 农业工程学报,2011,27(1):340-347.
- [20] 刘梦云,吴健利,刘丽雯,等. 黄土台塬土地利用方式对土壤水稳性团聚体稳定性影响[J]. 自然资源学报,2016,31(9):1564-1576.
- [21] 成艳红,武琳,孙慧娟,等. 稻草覆盖和香根草篱对红壤水稳性团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. 生态学报,2016,36(12):3518-3524.
- [22] 丁文斌,蒋平,史东梅,等. 紫色土坡耕地耕层蓄水保土及耕性特征研究[J]. 水土保持学报,2016,30(6):24-29.
- [23] 吕文星,张洪江,王伟,等. 重庆四面山不同林地土壤团聚体特征[J]. 水土保持学报,2010,24(4):192-197.
- [24] 卢嘉,郑粉莉,安娟,等. 降雨侵蚀过程中黑土团聚体流失特征[J]. 生态学报,2016,36(8):2264-2273.
- [25] Csilla H, Silvia S, Michele D, et al. Quantifying the contribution of the root system of alpine vegetation in the soil aggregate stability of moraine[J]. International Soil and Water Conservation Research,2017,5(1): 36-42.
- [26] Amezketa E. Soil aggregate stability: A review[J]. Journal of Sustainable Agriculture,1999,14(2/3):83-151.
- (上接第 183 页)
- [16] 徐丽宏,时忠杰,王彦辉,等. 六盘山主要植被类型冠层截留特征[J]. 应用生态学报,2010,21(10):2487-2493.
- [17] 崔启武,边履刚,史继德,等. 林冠对降水的截留作用[J]. 林业科学,1980,16(2):141-146.
- [18] 马雪华. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994:143-172.
- [19] 栾好安,王晓雨,韩上,等. 三峡库区橘园种植绿肥对土壤养分流失的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(2):68-72.
- [20] 俞巧钢,叶静,马军伟,等. 山地果园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(2):6-10.
- [21] 吕鹏超,隋方功,梁斌,等. 不同覆盖方式鼠茅草养分吸收规律[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2015,32(2):137-140.
- [22] 王建林,王忠红,张宪洲,等. 不同植被对高寒草原生态系统土壤有机碳组成和水稳性团聚体含量的影响[J]. 草地学报,2010,18(6):749-757.
- [23] 孙佳美,樊登星,梁洪儒,等. 黑麦草调控坡面水沙输出过程研究[J]. 水土保持学报,2014,28(2):36-39.
- [24] 王小博,朱永清,吴宜进,等. 不同植被下降雨类型对红壤坡地土壤侵蚀特征的影响[J]. 水土保持研究,2017,24(2):6-11.
- [25] Kaspar T C, Jaynes D B, Parkin T B, et al. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water[J]. Agricultural Water Management,2012,110(7):25-33.
- [26] 黄河仙,谢小立,王凯荣,等. 不同覆被下红壤坡地地表径流及其养分流失特征[J]. 生态环境学报,2008,17(4):1645-1649.