

不同植物篱模式下土壤物理变化及其减流减沙效应研究^①

彭 熙, 李安定, 李苇洁, 卢 兰*

(贵州科学院贵州省喀斯特资源与环境发展研究中心, 贵阳 550001)

摘要: 生物措施既能改善景观环境, 又解决生态问题, 是贵州缓解水土流失及农业非点源污染的重要措施。本文主要研究了植物篱模式与非植物篱模式下的土壤物理变化特征及减流减沙效果, 分析了各物理量变化的水土保持机理。研究发现, 供试的 3 种植物篱带均形成一定高度的土坎, 有梯化坡地的效果, 其微地貌变化大小顺序依次为: 黄荆 (*Vitex negundo*) > 新银合欢 (*Leucaena leucocephala*) > 马桑 (*Coriaria sinica*); 不同植物篱模式及不同取样位置的土壤样品体积质量 (容重)、饱和导水率、雨水入渗速率及自然含水率均有较大差异, 且各物理量之间有紧密关系; 不同植物篱模式均有较明显的减流减沙效果, 且植物篱对减少土壤侵蚀量的效果比减少径流更明显, 其效果依次为免耕覆膜植物篱 > 植物篱 > 传统模式。

关键词: 植物篱; 物理量; 水土流失; 机理

中图分类号: S152.7; S157.4

贵州山高坡陡, 水土流失严重, 导致土壤大量退化, 水体被污染, 已经到了非治不可的地步。植物篱以其优良的水土保持效果及低价、快速的造林特点成为贵州治理生态问题的主要模式。植物篱结构能有效改善该系统的水热条件, 抑制杂草生长, 拦蓄沙土、加强渗透水流、减少地表径流, 从而达到控制坡耕地水土流失的效果。20 世纪末, 国外已经在植物篱的水土保持方面作了较多研究, 包括植物篱控制土壤侵蚀^[1]、面源污染^[2]及对微地貌的影响^[3]等, 国内对其带间距、带内结构及其效应也进行了研究^[4], 许峰等^[5]还对微地貌变化下的径流等进行了研究, 但缺乏从土壤体积质量 (容重) 的角度分析径流与侵蚀原理的研究。由于坡面表层土壤体积质量和土壤导水能力对坡地土壤的入渗性能和抗侵蚀能力具有重要的影响^[6], 因此, 本文以此为切入点, 较多研究植物篱模式下土壤物理指标变化、变化原理及其减流减沙效应, 希望借此找出其中一些重要的数量关系, 为我国广大山区的经济发展和环境保护提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于毕节市鸭池镇, 境内为高中山和中山地貌, 海拔高度多为 1500 m 左右, 属中亚热带季风湿润气候区, 年平均温 12.8℃, 年降水量 954 mm, 年日照 1391 h。区内土壤主要有黄壤、石灰土、紫色土。

由于区内地势较陡, 农业耕地集中, 垦殖系数高, 人为干扰作用明显, 缺乏有效的保护措施, 土层流失严重, 土地生产力下降, 农业生产面临着以水土保持为中心的生态环境建设与社会经济持续发展的双重压力。因而在此地开展等高植物篱的水土保持作用方面的研究有较大的现实意义。

2 研究内容与方法

主要通过对比分析的方法, 研究环境条件相近情况下植物篱地带与对照 (传统坡耕地) 土壤物理特性差异, 不同植物篱模式 (传统模式、植物篱模式、免耕覆膜模式) 水土保持的效果以及不同植物篱 (黄荆、新银合欢、马桑) 带间微地貌变化, 并分析差异产生的原因, 从而得出植物篱水土保持作用的机理。主要观测项目有^[7]: 对照区域与植物篱地带径流量、土壤侵蚀量、土壤导水率、体积质量、自然含水量、植物篱带不同位置积土量。

2.1 植物篱及样点布设

(1) 植物篱带间距的确定: 最大带间距的确定采用常见的简化设计理论公式为^[8]:

$$L = 4H / \sin\alpha$$

式中, H 为坡地土层平均厚度, $\alpha = 20^\circ$, $H = 0.6$ m, 由此确定 $L = 7$ m。

(2) 植物篱篱树种选择: 根据当地气候土壤条件和

①基金项目: 国家 973 计划子项目 (2006CB403204)、贵州省省长专项基金项目 (黔省专合字[2007]87) 和湖南省科技计划项目 (湘科计字[2007]103 号) 资助。

* 通讯作者

作者简介: 彭熙 (1978—), 男, 四川大英人, 硕士, 助研, 主要从事水土资源开发利用及生态环境恢复与重建方面的研究。E-mail: pengxi7979@163.com

市场分析, 结合当地农户种植习惯, 选择生长习性适宜的常用品种: 新银合欢、马桑及黄荆作为植物篱进行对比试验。

(3) 样点布设: 在每种植物篱带上设置 3 次重复, 并用数字编号, 各重复之间间隔 20 m。在每个重复的带前、带中间、植株下和带下侧分别设置测量点, 间距 50 cm。

2.2 指标测定方法

(1) 微地貌指标测定: 以植株为参照, 带前 50 cm、100 cm、带下 50 cm 三处分别在待监测点两侧钉两根带刻度线的铁棒, 植株下直接在植株上涂漆, 每月月底测量土壤堆积及流失状况。

(2) 降雨、径流、泥沙量测定: 降雨量采用虹吸式日记雨量计测定; 径流量用 SW40 型日记式水位计结合 45° 三角堰流量查算表计算; 泥沙含量采用烘干称重法测定。

(3) 土壤理化性质测定根据中国科学院南京土

壤研究所编写的《土壤理化分析》中的常规方法测定^[9]。

3 结果与分析

3.1 不同植物篱条件下坡形变化分析

通过种植植物篱后, 发现在植物篱上侧拦截了较多的泥沙, 在植物篱根部堆集成垄, 植物篱下侧形成侵蚀较为明显, 上、下侧之间形成一定高度的坎, 植物篱的带间坡度整体上比种植前稍有减小, 这在一定程度上说明植物篱有梯化坡地的效果。

3.1.1 植物篱与非植物篱区微地貌变化差异 从表 1 可以看出, 3 种植物篱模式带上侧与下侧均形成不同高度的土坎和坡度, 每年形成土坎一般在 7 ~ 27 cm, 坡度平均减小 1° ~ 2°。而非植物篱模式的对照区缺乏植被的阻挡作用, 因而都不会形成土坎, 也没有坡度变化, 测量数据显示, 在其它条件相同的情况下, 对照区坡度基本保持不变。

表 1 不同植物篱区坡度及坎高变化对照表

Table 1 Contrast of micro-physiognomy changes under different plant systems

处理	样点	原始坡度 (°)			两年后坡度 (°)			年坡度差 (%/a)	坎高 (cm/a)		
		中下段	上段	平均	中下段	上段	平均		上	下	平均
新银合欢植物篱	1	25.0	31.0	28.0	23.0	27.0	25.0	1.5	16.5	15.0	15.8
	2	25.0	28.0	26.5	22.0	27.0	24.5	1.0	14.0	11.8	12.9
	3	22.0	25.0	23.5	23.0	23.5	23.3	0.1	16.0	17.5	16.8
马桑植物篱	1	27.0	30.0	28.5	25.3	29.0	27.2	0.7	15.0	7.0	11.0
	2	28.0	30.0	29.0	28.5	25.5	27.0	1.0	11.5	2.0	6.8
	3	28.5	26.5	27.5	27.5	26.5	27.0	0.3	3.0	5.0	4.0
黄荆植物篱	1	32.5	28.0	30.3	30.0	29.0	29.5	0.4	35.0	30.0	22.5
	2	28.0	33.0	30.5	26.0	27.5	26.8	1.9	30.0	24.0	27.0
	3	26.0	33.0	29.5	20.0	27.5	23.8	2.9	34.0	28.0	31.0
对照	1	22.0	27.0	24.5	21.0	29.0	25.0	-0.2	-	-	-

3.1.2 不同植物篱模式的效果对比 从表 1 中可以看出, 试验的 3 种植物篱均在一定程度减缓坡度, 其比较结果为: 黄荆 > 新银合欢 > 马桑, 其中效果最为明显的黄荆植物篱平均每年减小坡度 1.7°。坡度总体不变而形成的局部梯化必然会导致土坎的形成。数据还显示, 各种植物篱形成的土坎与减缓的坡度相一致, 以黄荆植物篱最高, 平均每年 26.8 cm, 新银合欢和马桑分别增加土坎 15.2 cm 和 7.3 cm。

3.1.3 微地貌变化过程及原因 在未遇植物篱前, 径流在坡面上汇集, 土壤一直处于被侵蚀状态, 但侵蚀面积宽, 径流流速慢, 侵蚀力弱, 因而当径流遇到

植物篱时, 径流中携带的泥沙可能大部分沉积下来, 从而形成明显的垄。此后, 径流每越过一条植物篱带, 总有一定的泥沙被拦截, 从而形成一定高差。淤积带前带间坡度有所变缓, 但减少的坡度对水流侵蚀动能的影响有限, 而接近水平的篱前淤积带则能明显减缓径流流速, 其对带间土壤及养分流失有着重要作用^[10]。随着植物篱带的成长密闭, 植物篱对径流的阻滞拦截能力进一步增加, 促进篱前淤积带的发展, 后者和带间坡度的变缓则进一步减轻了带间径流的侵蚀力, 增强植物篱的减流减沙效果。

3.2 不同植物篱模式土壤物理量差异性及相关性分析

从表 2 可以看出: 土壤物理性质与它所处的相对

表 2 不同植物篱模式的土壤物理指标
Table 2 Soil physical properties under different plant systems

处理	0 ~ 20 cm		20 ~ 50 cm		50 ~ 80 cm		平均饱和 导水率 (ml/m)	平均体 积质量 (g/cm ³)	含水率 (%)	就地入 渗率 (%)
	饱和导水率	体积质量	饱和导水率	体积质量	饱和导水率	体积质量				
	(ml/m)	(g/cm ³)	(ml/m)	(g/cm ³)	(ml/m)	(g/cm ³)				
对照模式	41.7	1.35	9.7	1.45	7.8	1.51	19.73	1.44	25.1	0.36
植物篱 模式										
带上侧	46.5	1.27	10.5	1.39	8.7	1.47	21.90	1.38	25.6	0.42
带中间	41.9	1.35	11.1	1.36	11.2	1.44	21.40	1.38	28.8	0.46
植株下	66.3	1.25	14.2	1.31	11.7	1.43	30.73	1.33	26.9	0.54
带下侧	49.2	1.35	9.0	1.47	9.5	1.45	22.57	1.42	27.4	0.35

位置有关，主要包括取样点与植株体间的相对位置以及取样的垂直深度，在一定程度上反映出土壤体积质量与饱和导水率、就地入渗率以及土壤层次之间的相关关系。

3.2.1 土壤结构与地表作物间的关系 由表 2 可以看出，植物篱带土壤体积质量与对照相比有不同程度的减小，特别是植株体下的表层土与对照处理的差异较大，仅为对照的 92.59%；与植物篱的相对位置差异也影响土壤水分的就地入渗，其中以植株体下及植物带中间表现最为明显，这是由于在植物篱根系的穿插与分泌作用下，土壤养分状况和土壤生物活性得到改善^[1]，有效孔径增多，土壤基质势增大，土壤水吸

力也随之增大^[12]，因而入渗速率加快。

3.2.2 土壤体积质量与饱和导水率关系 将各层土壤体积质量与导水率间作相关分析(图 1)后发现：二者存在明显的负相关关系，即土壤体积质量越大，其饱和导水率越低，深层土壤规律性明显强于表层土壤，这说明表层土壤饱和导水率并不规律。表 2 检测结果反映，植株体下部导水率与其它位置差异明显，这进一步说明上面得出的植物改善土壤结构性这一结论的正确性。这也进一步说明种植植物篱后，土壤结构状况发生变化，体积质量降低，饱和导水率及就地入渗率增加，地表径流减少，因而能达到较好的保持水土的作用。

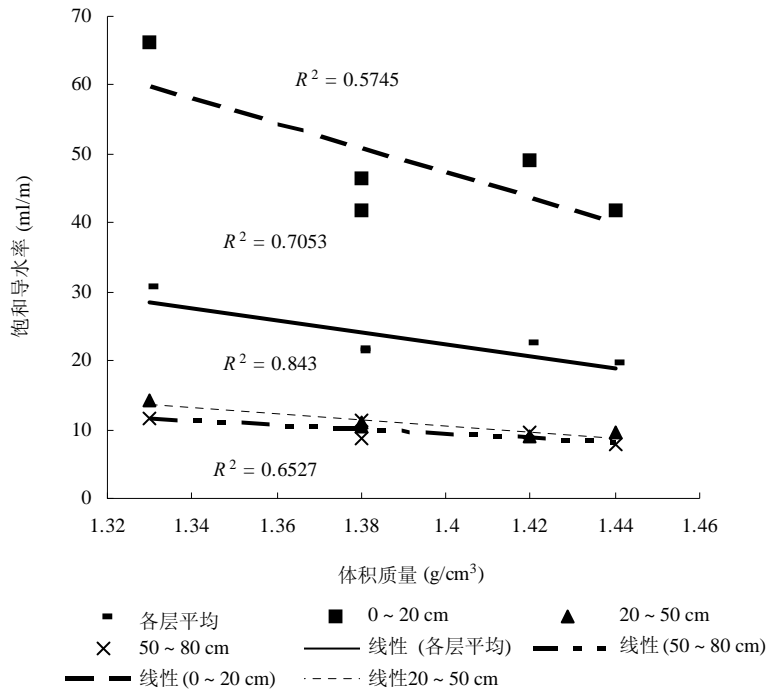


图 1 不同层次土壤体积质量与饱和导水率间的关系

Fig. 1 Correlations between the bulk density and saturated hydraulic conductivity in different layer

3.2.3 不同土壤层次饱和导水率差异 植物篱下面与对照作物带下部的表层土壤饱和导水率均明显地高于深层土壤,这是由于植物篱培育时间短,根系分布区域以表层居多,饱和导水率由于土壤质地、体积质量、孔隙分布以及有机质含量等空间变量的影响空间变异强烈^[13-14],因而表层变化大而深层变化弱。

3.2.4 不同水平位置土壤饱和导水率差异 综合各层土壤的饱和导水率,总体情况是植物篱植株体下最大,带下侧最小,带间和带上侧处于中间水平,这主要是由于侵蚀的土壤颗粒在带上侧沉积,使坡度相对变缓,且在植株体下部形成土坎,所以带下侧土壤侵蚀较大,疏松表层减少,因而上下有较大差异。

3.3 不同植物篱模式的减流减沙效果分析

3.3.1 不同植物篱模式减流减沙效果 由图 2 和图 3 可以明显看出,不同植物篱模式的减流减沙效果相差较大。对照模式无论是径流量还是土壤侵蚀量均远远大于植物篱模式,说明植物篱可以显著减少坡耕地地表径流和土壤侵蚀,3 种模式的平均径流比为 5:3:2,而土壤侵蚀量之比为 10:3:1。其减流减沙机理

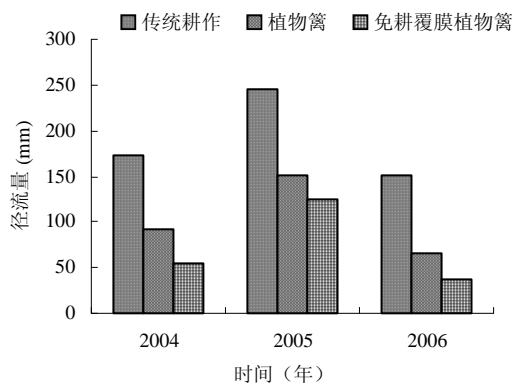


图 2 不同植物篱模式土壤径流量

Fig. 2 Runoff under different hedgerow systems

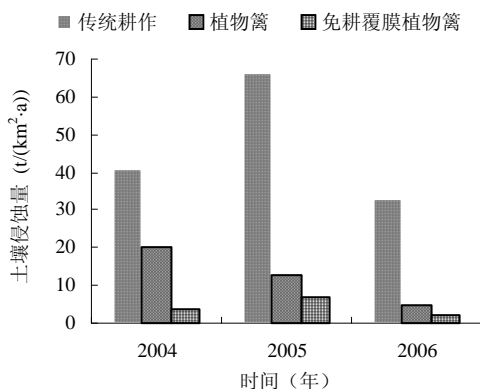


图 3 不同植物篱模式土壤侵蚀量

Fig. 3 Soil loss under different hedgerow systems

主要在于植物篱及基部前置茎秆的机械阻滞作用^[15]和坡形变缓的影响^[16]以及覆盖作用,前者截断连续坡面,直接减低了坡面水流流速与冲刷力,坡形包括带间坡度变缓及篱积带的粘滞作用,覆盖则减少雨滴的击溅动能^[17]。这 3 个因素都削弱了水流的动能,增加坡面水流的入渗时间,使其不易于纵向汇集和加速,从而降低单位面积坡面上水流的侵蚀能力。多年试验证明此方法水土保持效果较好,4 年后基本无泥沙流失,保水保土效应明显^[15]。

3.3.2 径流量与侵蚀量关系 从上面的分析中看到,即使同种模式下减少的土壤侵蚀量与径流量并不是等比例减少,而是表现为随着径流的减少,侵蚀量大大减少,即土壤侵蚀量减少比例要大于径流减少比例,这就说明在采用植物篱模式后,土壤侵蚀量减少效果更加明显,其主要原因在于篱笆根部阻挡水流,减缓流速,减小水流的泥沙携带能力,细沟也不易形成,从而减少土壤侵蚀^[5],所以出现径流量和土壤侵蚀量减少程度不成比例的结果,由此可见,植物篱起到了明显的水土保持作用。

4 结论

(1) 土壤各物理量数量大小与它与植物篱的相对位置有关,也与检测样品的土壤层次有关。

(2) 土壤体积质量大小表现为:上层土壤小于下层,植物篱表层小于非植物篱表层,深层则无明显差异。

(3) 饱和导水率与体积质量呈负相关关系,下层土壤相关性更明显,表层土相关性相对较低的主要原因是植物篱根系穿插及其分泌物改变土壤结构性及各级孔隙比例。

(4) 植物篱模式有显著减流减沙效果,几种模式效果依次为免耕覆膜植物篱>植物篱>传统模式。

(5) 在植物篱模式下,土壤侵蚀量与径流量比非植物篱的传统耕作模式小,且土壤侵蚀量减少的比例要远远超过径流,因而植物篱起到了明显的防治土壤侵蚀的作用。

(6) 每种植物篱均有一定程度的减缓坡度的作用,其中黄荆植物篱的效果最为明显,3 种供试植物篱的效果为:黄荆>新银合欢>马桑。

参考文献:

- [1] Raffaella Jr JB, McGregor KC, Foster GR. Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland. Transactions of the ASAE, 1997, 40(6):1581-1587
- [2] Chaubey I, Edwards DR, Daniel TC, Moore Jr PA, Nichols DJ.

- Effectiveness of vegetative filter strips in controlling losses of surface applied poultry litter constituents. Transactions of the ASAE, 1995, 38 (6):1687-1692
- [3] Dabney SM, Meyer LD ,McGregor KC. Sediment control and landscape modification with grass hedges. Proceeding of the Conference on Management of Landscapes Distributed by Channel Incision, 1997, 1093-1099
- [4] 王玲玲, 何丙辉, 李贞霞. 等高植物篱技术研究进展. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 131-133
- [5] 蔡强国, 黎四龙. 植物篱减少侵蚀的原因分析. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 55-60
- [6] 肖培青, 郑粉莉. 上方汇水汇沙对坡面侵蚀过程的影响. 水土保持学报, 2003, 17(1): 25-28
- [7] 赵爱军, 许克翠, 彭业轩. 紫色土坡耕地栽种植物篱防治水土流失的试验初报. 中国水土保持, 2004(11): 23-26
- [8] 施迅. 坡地改良利用中活篱笆的种类选择和水平空间结构初步研究. 生态农业研究, 1995, 3(2): 49-53
- [9] 中科院南京土壤研究所. 土壤物理化学分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- [10] 许峰, 蔡强国, 吴淑安. 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
- [11] 田茂洁. 等高植物篱模式下土壤物理性质变化与水土保持效果研究进展. 土壤通报, 2006, 37(2): 383-386
- [12] 张国盛. 耕作方式对农田表层土壤结构及有机碳影响的研究(博士学位论文). 兰州: 甘肃农业大学, 2004
- [13] Jury WA, Gardner WR, Gardner WH. Soil Physics. New York: John Wiley & Sones, 1991
- [14] Warrick AW, Nielsen DR. Spatial variability of soil physical properties in the field // Applications of Soil Physics. New York: Academic Press, 1980: 319-344
- [15] 陈正刚, 朱青, 王文华, 邓晓智, 郭永清, 李治, 彭云. 坡改梯经济植物篱技术的示范效果. 耕作与栽培, 2006(2): 61-62
- [16] 许峰, 蔡强国, 吴淑安. 等高植物篱带间距对表土养分流失的影响. 土壤侵蚀与水土保持学, 1999, 5(2): 23-29
- [17] Bohm P, Gerold G. Pedo-hydrological and sediment responses to simulated rainfall on soils of the Kenya uplands(Turkey). Catena, 1995, 25: 63-76

Changes of Soil Physical Properties, Runoff and Soil Erosion Under Different Hedgerow System

PENG Xi, LI An-ding, LI Wei-jie, LU Lan

(Research Center of Karst, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

Abstract: Biologic measures can improve the landscape environment and solve ecological problems. It is an important method in alleviating soil erosion and agricultural non-point pollution. This article mainly studied the changes of soil physical property, runoff and soil erosion under hedgerow systems, and also discussed the corresponding mechanism of water and soil conservation. We discovered that micro-physiognomy and gradient changes under all the three kinds of hedgerow systems is in the order of *Vitex neg undo* > *L eucau na leucocep hala* > *Coriaria sinicathe*; and the bulk density, the saturated hydraulic conductivity and the infiltrate ratio changes obviously under different hedgerow system and sampling location. Each Hedgerow system can reduce effectively runoff and soil erosion, which is in the order of the tectorial hedgerow without ploughs> the hedgerow > the traditional system. The hedgerow can reduce the soil erosion more obviously than runoff.

Key words: Hedgerow, Physical properties, Runoff and soil erosion, Mechanism