

长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质*

黎建强 张洪江** 程金花 王 幸 吕文星

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘 要 在长江上游现有植物篱调查的基础上,对3种不同植物篱(乔木类、灌木类和草本类)不同位置的土壤物理性质进行了分析.结果表明:与植物篱带间相比,研究区3种不同类型植物篱带内土壤物理性质均得到了显著改善和提高;乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤孔隙度、含水量、饱和导水率、水稳性团聚体含量、抗蚀指数、抗冲指数和土壤粘粒含量平均值分别提高了18.8%、30.1%、12.9%、139.3%、108.3%、95.9%和25.5%,土壤容重和土壤沙粒含量分别平均减小17.3%和9.6%;3种不同植物篱带内的土壤物理性质存在差异性,乔木类植物篱带内土壤抗冲性指数最大,灌木类植物篱带内土壤孔隙度、含水量、饱和导水率、抗蚀指数、水稳性团聚体含量、土壤粘粒含量高于乔木类和草本类,其土壤容重则低于乔木类和草本类;植物篱对植物篱-坡耕地系统内不同位置土壤物理性质影响程度的差异导致了土壤物理性质各指标在植物篱带内、带上、带下和带间坡耕地也存在一定的变异性,乔木类植物篱土壤水分含量、抗蚀指数、饱和导水率和土壤粘粒含量的变异系数大于灌木类和草本类植物篱,灌木类植物篱土壤容重、孔隙度、水稳性团聚体含量和抗冲指数的变异系数高于乔木类和草本类植物篱.

关键词 土壤物理性质 植物篱 水平变异 长江上游

文章编号 1001-9332(2011)02-0418-07 **中图分类号** S151, S157 **文献标识码** A

Soil physical properties of different hedgerow systems in upper reaches of Yangtze River. LI Jian-qiang, ZHANG Hong-jiang, CHENG Jin-hua, WANG Xing, LÜ Wen-xing (College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(2): 418-424.

Abstract: Based on the investigation of present hedgerows in the upper reaches of Yangtze River, this paper analyzed the soil physical properties at different positions of three kinds of hedgerows (arbor, shrub, and grass). Comparing with those between the hedgerows, the soil physical properties within the hedgerows improved significantly. The average values of soil porosity, moisture content, saturated conductivity, water stable aggregates content, anti-erodibility index, anti-scourability index, and clay content within the arbor, grass, and shrub hedgerows increased by 18.8%, 30.1%, 12.9%, 139.3%, 108.3%, 95.9%, and 25.5%, and the soil bulk density and sand content averagely decreased by 17.3% and 9.6%, respectively. The soil properties within the three hedgerows differed significantly. The soil anti-scourability index within arbor hedgerow was the highest; the soil porosity, moisture content, saturated conductivity, anti-scourability index, water-stable aggregates content, and clay content within the shrub hedgerow were higher than those within the tree and grass hedgerows; while the soil bulk density within the shrub hedgerows was lower than that within the tree and grass hedgerows. Because of the differences in the affecting degree of hedgerow on the soil physical properties at different positions of the three hedgerow systems, the related parameters presented definite horizontal variation at steep lands within, before, and behind the hedgerows, and between the hedgerows. The coefficient of variation (CV) of soil moisture content, anti-erodibility index, saturated conductivity, and clay content of arbor hedgerows was bigger than that of shrub and grass hedgerows, while the CV of soil bulk density, porosity, water-stable aggregates content, and anti-scourability index of shrub hedgerow was bigger than that of arbor and grass hedgerows.

Key words: soil physical property; hedgerow; horizontal variance; upper reaches of Yangtze River.

* 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2008BAD98B01-03, 2006BAD03A1304)资助.

** 通讯作者. E-mail: zhanghj@bjfu.edu.cn

2010-04-15 收稿, 2010-11-01 接受.

由于人口增加和经济发展的压力,19 世纪 80 年代我国西部地区越来越多的坡地被开垦为农地^[1]. 坡耕地水土流失是世界许多国家所面临的环境问题之一,坡耕地土壤退化严重制约了土地的生产力,土地的退化过程与坡耕地严重的土壤侵蚀密切相关^[2]. 坡耕地严重的水土流失不仅破坏耕地资源,更威胁到国家生态与粮食安全. 坡耕地水土流失导致土地生产力下降的同时,也加剧了江、河、湖、库的淤积和污染,对防洪安全形成威胁,影响水资源的有效利用. 坡耕地的合理开发、利用以及采取相应的保护模式是防治坡耕地水土流失、实现山区农业可持续发展的关键^[3]. 20 世纪 90 年代初期,植物篱间作(hedgerow intercropping)模式作为防治坡耕地水土流失的农林复合措施被引进我国^[1],在三峡地区、长江上游和干热河谷地区坡耕土壤侵蚀防治方面展开了试验和应用研究^[4-5].

尽管目前对于地下植物篱根系和农作物对水、肥的竞争仍存在争议^[6-7],但植物篱间作仍是控制土壤侵蚀、增加土壤养分和改善土壤物理性质比较有效的重要农林复合措施之一^[8-11]. 植物篱间作模式的水土保持效果显著^[12],可以影响土壤物理性质和坡耕地农业系统的水分状况^[9,13],从而改善和提高坡耕地生态系统的土地生产力. 植物篱通过对土壤颗粒、地表径流的拦截以及对土壤物理性质的改善,能有效保持水土^[14];植物篱通过其死亡根系腐殖质化、刈割枝叶的还田,可显著增加土壤有机质^[15-16],进而改善土壤团粒结构、土壤养分状况和土壤生物活性,从而影响土壤物理性质和土壤水分参数(如土壤含水量和导水率等)^[17],并且土壤物理性质随距植物篱距离的不同而变化;植物篱通过提高土壤饱和导水率、吸渗率和稳定入渗率,提高低吸力段土壤比水容量和土壤饱和含水量,从而有效改善坡地退化土壤的水分入渗性能和水分状况^[16].

土壤侵蚀导致土壤退化,集中表现为土壤的一系列理化性状变差,特别是土壤物理性质的明显恶化;同时,土壤物理性质的好坏在某种程度上又能反映土壤侵蚀的强弱^[18],土壤物理性质的改善与水土保持功能密切相关. 目前,对于植物篱间作模式的研究主要集中在改善土壤物理性质和保持土壤功能方面,对于植物篱物种选择和植物篱建设模式的研究较少. 为此,本文在调查长江上游现有坡耕地不同植物篱的基础上,分析了不同配置植物篱-坡耕地系统的土壤物理性质,以期对长江上游坡耕地地埂植物篱植物的选择和植物篱建设技术提供参考依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究调查样地位于重庆市江津区. 重庆市江津区(28°28′—29°28′ N,105°49′—106°38′ E)位于长江中上游、三峡库区尾端,地形南高北低,以丘陵兼低山地貌为主,分平阶地、丘陵地和山地. 江津区属北半球亚热带季风气候,年均气温 18.4 ℃,冬季平均气温 7.7 ℃,夏季平均气温 28.5 ℃. 年日照时数 1273.6 h,年均降雨量 1030.7 mm,无霜期 341 d,年均湿度 81%,太阳总幅射量 302 kJ·cm⁻². 土壤主要为沙溪庙组沙页岩发育形成的紫色土和水稻土^[19].

1.2 调查样地和土壤采样点的布设

按不同的植物篱类型(表 1),确定调查样地,进行土壤物理性质相关指标的测定. 调查区内植物篱种植年限为 5~7 a,盖度均>90%,带间耕地平均宽度在 4~6 m,农作物以玉米(*Zea mays*)和红薯(*Ipomoea batatas*)为主,调查样地均布设于坡面中部. 本研究在调查区内随机布设调查样地 49 个,其中乔木类植物篱 18 个、灌木类植物篱 16 个、草本类植物篱 15 个. 在每个调查样地内,分别于植物篱带上(冠层投影带上±20 cm 范围内)、植物篱带内(冠层投影中点处)、植物篱带下(冠层投影带下±20 cm 范围内)和植物篱带间坡耕地(两植物篱带间距的中点处)各布设 1 个土壤采样点(图 1),在每个土壤采样点的土壤耕层(0~20 cm)采集土样,每个采样点重复 3 次,对土壤物理性质的相关指标进行测定.

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤抗蚀性 通过测定土壤团聚体在静水中

表 1 不同类型植物篱种类的描述
Table 1 Description of different hedgerow intercroppings

植物篱 种类 Hedgerow type	带宽 Inter- hedgerow width (m)	高度 Height (m)	物种 Species
乔木类 Tree	2.0~3.0	2.0~5.0	桑树 <i>Morus alba</i> , 柑橘 <i>Citrus reticulata</i> , 花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i> , 梨树 <i>Pyrus sorotina</i> , 李子 <i>Prunus cerasifera</i>
灌木类 Shrub	1.0~1.5	1.0~1.5	黄荆 <i>Vitex negundo</i> , 臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> , 八角枫 <i>Alangium chinense</i>
草本类 Grass	0.5~1.0	<0.5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i> , 旱菜 <i>Herba rorippae</i> , 空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>

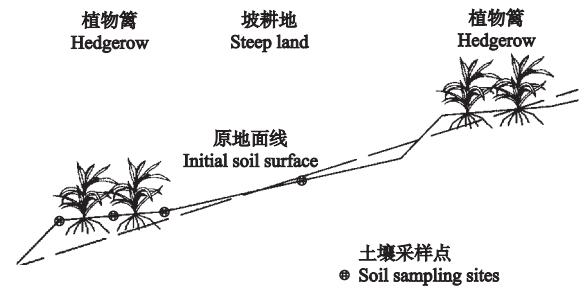


图1 土壤采样点布设示意图
Fig.1 Sketch map of the placement for the soil sampling sites.

的分散程度来比较土壤的抗蚀性能,并用水稳性指数(K)表示.土壤水稳性指标的测定方法是将风干土进行筛分,选取粒径5~7 mm的土粒25颗,均匀放在孔径2 mm的金属网格上,然后置于静水中进行观测,以1 min为间隔,分别记录分散土粒的数量,连续观测10 min,其总和即为10 min内完成分散的土粒总数(包括半分散数)^[20-23].每个土样4次重复.按下式计算水稳性指数:

$$K = \frac{\sum P_i K_i + P_j}{A} \tag{1}$$

式中: K 为水稳性指数; i 为持续时间; P_j 为10 min内没有分散的土粒数; P_i 为第*i*分钟的分散土粒数; K_i 为第*i*分钟的校正系数; A 为总土粒数.

1.3.2 土壤抗冲性 采用原状土冲刷水槽法测定土壤抗冲性^[24-26].用自制取土器(20 cm×10 cm×5 cm)取原状土为冲刷样本,并在冲刷前浸泡12 h,使其达到水分饱和状态.冲刷选取坡度为15°,以当地常见暴雨雨强在标准小区(5 m×20 m)内产生的最大流量计算单宽流量,作为冲刷流量(2.1 L·min⁻¹).试验测定时长为10 min,冲刷的泥沙用积样器收集,过滤后烘干称量,按下式计算抗冲指数:

$$C = Qt/m \tag{2}$$

式中: C 为土壤抗冲性系数(L·min·g⁻¹); Q 为冲刷所需水量(L); t 为冲刷历时(min); m 为冲走的干土质量(g).

将土体内的根系洗出,烘干称量,计算根系密度:

$$Rd = m/v \tag{3}$$

式中: Rd 为土壤根系密度(g·cm⁻³); m 为根系干质量(g); v 为对应的单位土体体积(cm³).

1.3.3 土壤容重 采用环刀法测定土壤容重^[27].土壤水分含量采用TDR 100测定.土壤总孔隙度利用下式计算:

$$f = 1 - (\rho_b / \rho_s) \tag{4}$$

式中: f 为土壤总孔隙度; ρ_b 为土壤容重; ρ_s 为土粒密度.

1.3.4 土壤饱和导水率 土壤饱和导水率采用定水头法^[28]测定.土壤水稳性团聚体含量采用Yoder法^[27]测定.土壤颗粒组成采用激光颗粒分析仪(Fritsch Particle Sizer Analysette 22)测定^[29].

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2007和SPSS 11.5软件进行数据处理.采用单因素方差分析(one-way ANOVA)进行差异显著性检验,利用Pearson相关系数评价土壤有机质及土壤物理性质各指标之间的相关性.

2 结果与分析

2.1 长江上游不同植物篱的土壤物理性质

研究区不同类型植物篱系统中,植物篱带内土壤比带间坡耕地土壤的物理性质有显著改善和提高(表2).乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤比带间坡耕地土壤容重分别减小16.2%、14.2%和21.6%;带内土壤孔隙度比带间坡耕地土壤分别增加16.8%、16.8%和22.7%;带内土壤含水量比带间坡耕地分别增加39.0%、17.6%和33.7%;带内土壤饱和导水率分别为45.8、40.9和65.2 mm·h⁻¹,比带间坡耕地土壤分别提高113.8%、99.6%和204.5%;灌木类植物篱带内土壤水稳性团聚体含量最大,为51.7%,其次为乔木类和草本类植物篱,且灌木类和乔木类植物篱带内土壤水稳性团聚体含量均显著高于带间坡耕地;乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤抗蚀性指数分别比带间坡耕地高15.2%、11.0%和24.5%;3种植物篱带间坡耕地土壤抗冲指数在32.9~40.9 L·min·g⁻¹,乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤抗冲指数分别为82.9、60.2和78.0 L·min·g⁻¹,3种不同植物篱带内与带间坡耕地土壤抗冲指数间均存在显著差异,说明植物篱能显著改善带内土壤的抗冲性能.

研究区3种植物篱带内土壤的沙粒含量均显著小于带间坡耕地,粘粒含量显著增加(表3).乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤沙粒含量分别为45.4%、46.3%和46.3%,比带间坡耕地土壤分别减小10.3%、9.9%和8.5%;带内土壤粘粒含量分别比带间坡耕地增加25.4%、29.5%和21.6%.

2.2 长江上游不同植物篱土壤物理性质的水平变异

研究区不同类型植物篱坡耕地系统中,土壤物

表 2 研究区不同类型植物篱土壤物理性质及其水平变异
Table 2 Soil physical properties and their horizontal variance of hedgerow intercropping involving different species in the study area (mean±SD)

植物篱类型 Hedgerow type		土壤容重 Bulk density (g·cm ⁻³)	孔隙度 Porosity (%)	土壤含水量 Soil water content (%)	饱和导水率 Saturated conductivity (mm·h ⁻¹)	水稳性 团聚体含量 Water stable aggregate content (%)	抗蚀指数 Anti- erodibility (%)	抗冲指数 Anti- scourability (L·min· g ⁻¹)
乔木类 Tree (n=18)	Inter-H	1.36±0.12a	48.7±4.7c	29.2±6.0c	21.4±9.5b	42.7±6.3b	16.7±8.9b	40.9±12.2b
	BH	1.24±0.12b	53.0±4.5b	34.4±4.8bc	—	47.0±6.0a	29.0±12.3a	—
	Intra-H	1.14±0.12c	56.8±4.5a	40.5±6.0a	45.8±17.6a	48.9±8.0ab	31.9±12.1a	82.9±19.1a
	AH	1.35±0.08a	49.0±3.2c	31.5±5.6b	—	45.2±6.6ab	20.3±9.3b	—
	CV(%)	11.1	10.3	20.5	55.4	15.2	49.8	42.9
草本类 Grass (n=15)	Inter-H	1.42±0.06a	46.6±2.1c	30.1±4.1b	20.5±6.1b	39.2±6.7a	18.1±6.3b	32.9±8.0b
	BH	1.32±0.05b	50.2±2.0b	33.3±6.2ab	—	42.3±4.5a	25.5±7.2a	—
	Intra-H	1.21±0.09c	54.4±3.5a	35.4±5.8a	40.9±12.2a	44.8±5.6a	29.1±9.0a	60.2±15.7a
	AH	1.36±0.04ab	48.8±1.5bc	32.0±3.5ab	—	39.8±8.3a	23.0±6.1ab	—
	CV(%)	7.4	7.6	15.3	45.8	13.0	33.6	40.0
灌木类 Shrub (n=16)	Inter-H	1.34±0.17a	49.4±6.4c	31.5±6.8c	21.4±11.3b	47.0±8.5b	14.1±4.1c	38.6±17.2b
	BH	1.07±0.08c	59.7±3.1a	39.5±4.3ab	—	51.2±7.5a	26.8±9.9b	—
	Intra-H	1.05±0.09c	60.6±3.2a	42.1±4.4a	65.2±10.0a	51.7±6.8a	38.6±6.8a	78.0±18.4a
	AH	1.20±0.15b	54.7±5.7b	34.2±3.7bc	—	48.2±7.0b	26.4±7.5b	—
	CV(%)	14.7	11.5	17.8	52.3	20.7	34.7	51.9

相同植物篱类型中同列不同字母表示差异显著($P<0.05$) Different letters within the same column in the same hedgerow intercropping indicated significant difference at 0.05 level. Inter-H: 带间坡耕地 Steep land between hedgerows; BH: 植物篱带上 Before the hedgerows; Intra-H: 植物篱带内 Within the hedgerows; AH: 植物篱带下 Behind the hedgerows. 下同 The same below.

表 3 研究区不同类型植物篱土壤颗粒组成及其水平变异
Table 3 Particle fraction and horizontal variance of hedgerow intercropping involving different species in the study area

植物篱类型 Hedgerow type		土壤颗粒组成 Particle fraction (%)		
		>0.02 mm	0.002 ~ 0.02 mm	<0.002 mm
乔木类 Tree (n=18)	Inter-H	50.6±4.0a	42.6±4.5a	6.7±1.4c
	BH	46.2±3.5b	46.0±4.4a	7.8±1.1ab
	Intra-H	45.4±3.7b	46.2±4.5a	8.4±1.4a
	AH	49.3±7.5ab	43.3±8.2a	7.4±1.1bc
	CV(%)	11.0	12.8	17.9
草本类 Grass (n=15)	Inter-H	50.6±4.4a	43.3±4.8a	6.1±1.9b
	BH	45.7±3.2b	46.4±4.0a	7.9±1.3a
	Intra-H	46.3±4.3b	45.7±5.2a	7.9±1.2a
	AH	47.5±4.8ab	45.8±5.5a	6.7±1.5ab
	CV(%)	9.4	10.8	23.3
灌木类 Shrub (n=16)	Inter-H	51.4±2.5a	41.2±2.8b	7.4±0.3d
	BH	44.6±0.2c	45.7±0.1a	9.7±0.4a
	Intra-H	46.3±1.1d	44.7±1.1a	9.0±0.1b
	AH	49.2±1.5b	42.6±1.5b	8.2±0.1c
	CV(%)	6.3	5.5	10.4

理性质在带间坡耕地、植物篱带上、带内和带下均表现出一定的变异性(表 2)。3 种植物篱类型中,灌木类植物篱土壤容重和孔隙度的变异系数均最大,分别为 14.7% 和 11.5%,草本类植物篱土壤容重和孔隙度的变异系数均最小,分别为 7.4% 和 7.6%;3 种植物篱类型土壤含水量的变异系数在 15.3% ~ 20.5%;草本类植物篱水稳性团聚体含量的变异系数最小,为 13.0%,灌木类植物篱最大,为 20.7%;3

种植物篱类型饱和导水率、抗蚀性指数和抗冲性指数的变异系数均高于其他土壤物理性质的变异系数。沙粒和粘粒含量在不同植物篱-坡耕地系统中也存在一定差异(表 3),乔木类、草本类和灌木类土壤沙粒含量的变异系数分别为 11.0%、9.4% 和 6.3%,粘粒含量的变异系数分别为 17.9%、23.3% 和 10.4%。在植物篱-坡耕地系统内,植物篱带内和带上土壤的容重、孔隙度、含水量、饱和导水率、抗冲指

表 4 研究区土壤有机质与土壤物理性质各指标之间的相关系数
Table 4 Correlation coefficients between soil organic matter and soil properties in the study area

	OM	BD	SP	WC	SC	AS	AE	WSA	SAND	SILT	CLAY
OM	1										
BD	-0.450 **	1									
SP	0.449 **	-0.998 **	1								
WC	0.575 **	-0.671 **	0.671 **	1							
SC	0.635 **	-0.460 **	0.460 **	0.504 **	1						
AS	0.549 **	-0.394 **	0.393 **	0.537 **	0.703 **	1					
AE	0.288 **	-0.307 **	0.307 **	-0.026	0.502 **	0.308 *	1				
WSA	0.420 **	-0.233 *	0.233 *	0.598 **	0.681 **	0.561 **	-0.037	1			
SAND	-0.086	0.323 **	-0.323 **	-0.01	-0.218	-0.299	-0.451 **	0.301 **	1		
SILT	-0.025	-0.221 *	0.221 *	-0.139	-0.037	0.094	0.401 **	-0.522 **	-0.960 **	1	
CLAY	0.376 **	-0.288 **	0.287 **	0.528 **	0.709 **	0.559 **	0.069	0.858 **	0.096	-0.370 **	1

* $P<0.05$; ** $P<0.01$. OM: 土壤有机质 Soil organic matter; BD: 土壤容重 Soil bulk density; SP: 土壤孔隙度 Soil porosity; WC: 土壤含水量 Soil water content; SC: 土壤饱和导水率 Soil saturated water conductivity; AS: 土壤抗冲指数 Anti-scourability; AE: 土壤抗蚀指数 Anti-erodibility; WSA: 土壤水稳性团聚体含量 Water stable aggregate content; SAND: 土壤沙粒含量 Soil sand content; SILT: 土壤粉粒含量 Soil silt content; CLAY: 土壤粘粒含量 Soil clay content.

数、沙粒和粘粒含量均与植物篱带间坡耕地土壤存在显著差异($P<0.05$),此外,植物篱带内和带上土壤物理性质各指标与植物篱带下土壤也存在一定程度的差异性,说明距植物篱位置不同,土壤物理性质各指标存在一定的差异.

3 讨 论

3.1 不同植物篱对土壤物理性质的影响

土壤抗冲性(anti-scourability, AS)指土壤抵抗径流机械破坏和推移的能力. 本文采用土壤抗冲系数(C)^[30]来评价土壤抗冲性能. 土壤抗蚀性(anti-erodibility)指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力^[24],是评定土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一^[31]. 水稳性团聚体(water stable aggregate, WSA)指由性质稳定的胶体胶结团聚而形成的具有抵抗水破坏的能力,在水中浸泡、冲洗而不易崩解的 $>0.25\text{ mm}$ 的土壤团粒^[28]. 水稳性团聚体具有较高的稳定性,能抵抗雨滴的冲击,可增强土壤渗透性,其含量是评价土壤抗蚀性的重要指标,其含量越高,土壤抗侵蚀能力越强^[32]. 土壤抗冲性、抗蚀性和水稳性团聚体含量共同反映了土壤的水土保持特性. 土壤容重、含水量、孔隙度、导水率和土壤颗粒组成是衡量土壤物理性质的重要指标,共同反映了土壤水、气、结构和渗透状况等综合物理性状,直接影响植物根系生长和水分循环,对坡耕地生态系统的土壤侵蚀过程具有重要意义.

研究区植物篱带内土壤物理性质得到了显著改善,植物篱带内各土壤物理性质指标均优于带间坡耕地(表2),其主要原因为:坡耕地营造植物篱后,

植物篱带输入大量植物篱的刈割枝叶和凋落物,土壤中植物篱根系和植物残体的腐殖质化增加了植物篱带土壤的有机质含量,有利于土壤团聚结构的形成,使土壤中粘粒和石英颗粒粘聚而形成团粒结构^[33-34],土壤良好结构的形成使土壤物理性质得以改善,增强了土壤抵抗径流的破坏、推移以及水的分散、悬浮的能力,从而增强了土壤的抗冲性和抗蚀性;土壤有机质含量与土壤物理性质各指标(除沙粒和粉粒含量外)具有显著的相关性^[35](表4). 植物篱植物根系在改善土壤物理性质方面也具有显著作用:植物篱带内土壤根系密度比带间坡耕地土壤平均增加了2.5倍,植物根系的穿插生长及其在生长过程中促进微生物的活动有利于增加土壤孔隙度,使土壤容重减小、饱和导水率增加,从而利于土壤水分的入渗;根系对土壤抗冲性具有增强效应,因此根系密度的增加有利于土壤抗冲性的增强;植被覆盖度的提高可减轻土壤侵蚀的发生,在一定程度上改善了植物篱带内的土壤物理性质,使土壤形成良好的结构. 植物篱拦截径流中泥沙的作用是造成土壤粘粒和沙粒含量在植物篱系统中变化的主要原因,由于植物篱可增加地表糙率、减缓地表径流流速,使径流中携带的土壤细颗粒在植物篱带内和植物篱带前发生沉积^[36],从而导致植物篱带内土壤粘粒含量增加、沙粒含量减小. 植物篱带内土壤粘粒的增加有利于形成土壤胶体、增加土壤对水分的吸力^[37],进而改善植物篱带内的土壤物理性质.

本文中3种不同植物篱带内土壤的物理性质存在差异. 除乔木类植物篱带内土壤抗冲指数高于灌木类和草本类植物篱外,灌木类植物篱带内土壤容

重、孔隙度、含水量、饱和导水率、抗蚀指数、水稳性团聚体含量和土壤粘粒含量均优于乔木类和草本类植物篱带内土壤。引起不同植物篱带内土壤物理性质差异的原因可能在于, 乔木类植物篱主要以经济树种为主, 如柑橘、花椒、李子、梨树和桑树等, 其主要生物量以果实的形式输出, 修剪的枝叶作为薪柴也被输出植物篱-坡耕地系统; 草本类植物篱生物量较小, 输入植物篱带内的植物残体量较少, 导致土壤有机质含量较小; 灌木类植物篱带内密度较大, 输入植物篱带的植物残体量相对较高, 并且灌木类植物带内由于植物残体多, 导致其拦截土壤细颗粒的能力较强, 因此灌木类植物篱改善土壤物理性质的能力比乔木类和灌木类植物篱显著。3 种不同植物篱的根系活性和活动范围在空间上有所差异, 乔木类植物篱主要为深根性植物, 对表层土壤影响较小, 而草本类植物篱以须根为主, 垂直分布不发达, 且根系密小, 因此不同植物篱对带内土壤物理性质的影响程度和强度存在差别。

3.2 不同植物篱对土壤物理性质水平变异的影响

3 种植物篱系统中土壤物理性质的变异系数不同, 说明不同植物篱对植物篱系统中不同位置土壤物理性质的影响程度存在差异。乔木类植物篱土壤水分含量、抗蚀指数、饱和导水率和土壤粘粒含量的变异系数大于灌木类和草本类植物篱, 灌木类植物篱土壤容重、孔隙度、水稳性团聚体含量和抗冲指数的变异系数高于乔木类和草本类植物篱。土壤物理性质各指标在植物篱带内、带上、带下和带间坡耕地所表现出来的差异一方面是由于植物篱引入坡耕地后, 植物篱的等高带状分布形式所引起; 植物篱通过植被覆盖、刈割枝叶和凋落物、死亡根系的腐殖质化和根系生长影响植物篱-坡耕地系统内不同位置土壤的物理性质; 植物篱根系在植物篱-坡耕地系统内不同位置的活动范围和深度不同; 植物篱对植物篱-坡耕地系统中不同位置输入的刈割枝叶和凋落物的量也存在差异, 从而使植物篱对植物篱-坡耕地系统内不同位置土壤的响应程度存在差异。另一方面, 植物篱的拦截作用局部影响着土壤侵蚀发生的强度和途径, 从而影响径流泥沙在坡面的搬运-沉积过程, 改变坡面土壤颗粒的再分配模式, 使土壤粘粒在植物篱带前和带内富集, 而带间坡耕地的土壤粘粒含量减小, 不同位置土壤颗粒含量的改变也是引起土壤物理性质在植物篱-坡耕地系统内不同位置产生变异的重要原因。

参考文献

- [1] Sun H, Tang Y, Xie JS. Contour hedgerow intercropping in the mountains of China: A review. *Agroforestry Systems*, 2008, **73**: 65–76
- [2] Isaac L, Wood CW, Shannon DA. Pruning management effects on soil carbon and nitrogen in contour hedgerow cropping with *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit on sloping land in Haiti. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, **65**: 253–263
- [3] Ni J-P (倪九派), Fu T (傅 涛). Study on exploitation and utilization and protection pattern of steep land. *Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation* (水土保持科技情报), 2001(5): 35–37 (in Chinese)
- [4] Tang Y (唐 亚). Contour Hedgerow – Steep Land Agroforestry Management. Beijing: Science Press, 1994 (in Chinese)
- [5] Shen Y-C (申元村). Study on soil and water conservation benefit of agricultural technology of hedgerows in the Three Gorges Areas. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation* (土壤侵蚀与水土保持学报), 1998, **4**(2): 61–66 (in Chinese)
- [6] Sanchez PA. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 1995, **30**: 5–55
- [7] Imo M, Timmer VR. Vector competition analysis of a *Leucaena*-maize alley cropping system in western Kenya. *Forest Ecology and Management*, 2000, **126**: 255–268
- [8] Kang BT, Reynold L, Atta-krah AN. Alley farming. *Advanced in Agronomy*, 1990, **43**: 315–359
- [9] Lal R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. II. Water runoff, soil erosion, and nutrient loss. *Agroforestry Systems*, 1989, **8**: 97–111
- [10] Alegre JC, Rao MR. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1996, **57**: 17–25
- [11] Lupwayi NZ, Haque I. Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from *Sesbania* and *Leucaena* leaves varying in chemical composition. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, **30**: 337–343
- [12] Agus F, Cassel DK, Garrity DP. Soil-water and soil physical properties under contour hedgerow systems on sloping oxisols. *Soil and Tillage Research*, 1997, **40**: 185–199
- [13] Sun H (孙 辉), Tang Y (唐 亚), Zhao Q-G (赵其国), et al. Study on dynamics of soil moisture under contour hedgerow system in dry valley area of Jinsha River. *Journal of Soil Water Conservation* (水土保持学报), 2002, **16**(1): 84–103 (in Chinese)
- [14] Sun H (孙 辉), Tang Y (唐 亚), He Y-H (何永华), et al. Studies on soil nutrient redistribution under contour hedgerow system. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2002, **10**(2): 79–82 (in Chinese)
- [15] Sun H (孙 辉), Tang Y (唐 亚), Chen K-M (陈克明), et al. Effect of contour hedgerow system of nitrogen fixing tree on soil fertility improvement of degraded sloping agricultural lands. *Chinese Journal of Applied*

- and *Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 1999, **5**(5): 473–477 (in Chinese)
- [16] Sun H (孙 辉), Xie J-S (谢嘉穗), Tang Y (唐亚), *et al.* Impacts of hedgerow intercropping on soil water parameters of degraded slope land in dry valley of the Jinsha River. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2004, **11**(3): 25–27 (in Chinese)
- [17] Tian M-J (田茂洁). Review on changes in soil physical properties and water and soil conservation under contour hedgerow intercropping system. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2006, **37**(2): 383–386 (in Chinese)
- [18] Cheng S-D (程圣东), Li Z-B (李占斌), Li Q (李强). Effect of soil physical properties to soil erosion in dry and hot valley of Jin Shajiang River. *Journal of Water Resources and Water Engineering* (水资源与水工程学报), 2008, **19**(5): 38–41 (in Chinese)
- [19] Zhu Y-L (朱益玲), Liu H-B (刘洪斌), Jiang X-L (江希流). Investigation of the spatial variability of nitrogen and phosphorus in purple soils in Jiangjing City, Sichuan, China. *Environmental Science* (环境科学), 2004, **25**(1): 138–143 (in Chinese)
- [20] Bureau of Rural Water Conservancy and Water and Soil Conservation, Ministry of Water Conservancy and Electric Power (水利电力部农村水利水土保持司). Soil and Water Conservation Testing Specification. Beijing: China Water Power Press, 1988 (in Chinese)
- [21] Zhou L-J (周利军), Qi S (齐 实), Wang Y-Q (王云琦). Research on forest soil anti-erosion and anti-scourability of typical forests in Three Gorges Reservoir Areas. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2006, **13**(1): 186–216 (in Chinese)
- [22] Wang Z-L (王忠林), Li H-K (李会科), He X-X (贺秀贤). Study on soil anti-erosion and anti scour of prickly ash at edges of terraces in drought upland of Weibei. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2000, **7**(1): 33–37 (in Chinese)
- [23] Zhang J-C (张金池), Chen S-X (陈三雄), Liu D-P (刘道平), *et al.* Soil anti-erodibility indexes and evaluation model of the main forest types in Anji County. *Subtropical Soil and Water Conservation* (亚热带水土保持), 2006, **18**(2): 1–5 (in Chinese)
- [24] Li Y (李 勇). Plant Roots and Anti-Scourability in Loess Plateau. Beijing: Science Press, 1995 (in Chinese)
- [25] Wang Y-K (汪有科), Wu Q-X (吴钦孝). Study on soil anti-scourability in litter layer of grass land. *Journal of Soil Water Conservation* (水土保持学报), 1993, **7**(1): 75–80 (in Chinese)
- [26] Chen Y-M (陈云明), Liu G-B (刘国彬), Xu B-C (徐炳成). Effects of artificial sea buckthorn forest on soil and water conservation in loess hilly region. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(4): 595–599 (in Chinese)
- [27] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所). Soil Physical Chemistry Analysis. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978 (in Chinese)
- [28] Shao M-A (邵明安), Wang J-Q (王九全), Huang M-B (黄明斌). Soil Physics. Beijing: Higher Education Press, 2006 (in Chinese)
- [29] Wei X-R (魏孝荣), Shao M-A (邵明安). The distribution of soil nutrients on sloping land in the gully region watershed of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报) 2007, **27**(2): 604–612 (in Chinese)
- [30] Jiang D-S (蒋定生), Fan X-K (范兴科), Li X-H (李新华), *et al.* Study on horizontal and vertical regulation of soil anti-scourability in area with serious soil erosion on Loess Plateau. *Journal of Soil Water Conservation* (水土保持学报), 1995, **9**(2): 1–8 (in Chinese)
- [31] Shen H (沈 慧), Jiang F-Q (姜凤岐), Du X-J (杜晓军), *et al.* Evaluation on soil anti erodibility of soil and water conservation forest. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(3): 345–348 (in Chinese)
- [32] Xu Q-F (徐秋芳), Jiang P-K (姜培坤), Yu Y-W (俞益武), *et al.* Study on erosion resistance of different land use. *Journal of Zhejiang Forestry College* (浙江林学院学报), 2001, **18**(4): 362–365 (in Chinese)
- [33] Albiach R, Canet R, Pomares F, *et al.* Organic matter components and aggregate stability after application of different amendments to a horticulture soil. *Bioresource Technology*, 2001, **76**: 125–129
- [34] Shi ZH, Chen LD, Cai CF. Effects of long-term fertilization and mulch on soil fertility in contour hedgerow systems: A case study on steep lands from the Three Gorges Area, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, **84**: 39–48
- [35] Lin C-W (林超文), Tu S-H (涂仕华), Huang J-J (黄晶晶), *et al.* The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(6): 2191–2198 (in Chinese)
- [36] Zhu Y-D (朱远达), Cai Q-G (蔡强国), Zhang G-Y (张光远), *et al.* Impact of hedgerow on the control of soil nutrient loss. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2003, **12**(4): 345–351 (in Chinese)
- [37] Tong J (佟 金), Ren L-Q (任露泉), Chen B-C (陈秉聪), *et al.* Fractal dimensions of soil particle-size distributions and their effects on soil adhesion behavior. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 1994, **10**(3): 27–33 (in Chinese)

作者简介 黎建强,男,1982年生,博士研究生.主要从事水土保持与恢复生态研究,发表论文4篇. E-mail: JQ-Lee83125@hotmail.com

责任编辑 杨 弘