

# 长江上游不同植物篱系统土壤抗冲、抗蚀特征

黎建强<sup>1</sup>, 张洪江<sup>2</sup>, 陈奇伯<sup>1</sup>, 周红芬<sup>3</sup>

1. 西南林业大学环境工程与科学学院, 云南 昆明 650224; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083;

3. 昆明有色冶金设计研究院股份公司水土保持工程技术部, 云南 昆明 650051

**摘要:**在对长江上游现有植物篱-坡耕地系统中土壤抗冲、抗蚀性及土壤理化性质的测定的基础上, 对坡耕地-植物篱系统抗冲性和抗蚀性特征及其与土壤理化性质的关系进行了研究, 结果表明: (1) 3 种不同植物篱带内土壤抗蚀性和抗冲性指数得到显著改善, 土壤抗蚀性在植物篱系统中、植物篱带上、带内、带下和植物篱带间坡耕地表现出一定的差异性; (2) 土壤抗冲性与总孔隙度、土壤体积含水量、饱和导水率、水稳性团聚体、土壤粘粒含量、土壤有机质、土壤容重、土壤抗蚀指数等土壤理化性质指标呈显著的相关关系。利用回归方法建立了土壤抗冲性(即土壤抗冲性指数)模型, 土壤抗冲性指数与土壤性质各指标的模型具有极显( $P < 0.01$ )显著相关性。

**关键词:** 植物篱; 土壤抗蚀性; 土壤抗冲性; 土壤抗冲模型

**中图分类号:** S157.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2012) 07-1223-06

土壤抗冲性是指土壤抵抗径流机械破坏和推移的能力, 主要与土壤物理性质和外在的生物因素有关<sup>[1-2]</sup>。在我国土壤抗冲性和抗蚀性的研究主要集中在土壤抗冲性的形成机制方面, 特别是在植物根系与土壤抗冲性<sup>[3-6]</sup>、土壤抗冲性的力学机制<sup>[7-9]</sup>等方面, 而以往对土壤抗冲性的研究主要集中在黄土高原地区。植物篱作为农林复合的综合技术, 有利于提高坡耕地土壤的抗冲、抗蚀性能<sup>[11-12]</sup>, 在坡耕地水土流失控制方面具有重要的意义。植物篱地下根系能显著改善耕层土壤的物理性状, 增强土壤入渗能力而提高土壤抗冲性<sup>[10]</sup>, 植物篱错综复杂的根系能有效固结土粒, 增强土壤结构稳定性和提高土壤的抗蚀性起重要作用<sup>[13-15]</sup>; 植物篱亦可以增加地面植物覆盖, 加快地表径流入渗, 改良土壤, 提高土壤抗蚀性能。植物篱通过改善土壤渗透特性、抗蚀性及带间覆盖能明显控制坡面产沙、产流量, 从而保持水土和控制土壤养分流失<sup>[16]</sup>。本文对不同植物篱系统内的土壤抗冲、抗蚀特征及其影响因素进行了分析, 以期提出适用于长江上游坡耕地的地埂植物篱植物种、植物篱建设技术及其建设模式提供理论依据。

## 1 研究区与研究对象概况

### 1.1 研究区概况

根据不同的植物篱类型, 结合地形地貌特点, 主要试验点布设在重庆市江津区。江津区位于长江中上游, 三峡库区尾端。江津区气候属北半球亚热带季风气候区, 年平均气温 18.4 °C。年日照时数 1273.6 h, 年降雨量 1 030.7 mm, 无霜期 341 d,

年湿度 81%。土壤主要为沙溪庙组沙页岩发育形成的紫色土和水稻土。

### 1.2 植物篱概况

根据植物篱的外貌特征和物种组成, 将不同的植物篱划分为乔木类、灌木类和草本类植物篱。乔木类植物篱物种主要为桑树(*Morus alba*)、柑橘(*Citrus reticulata*)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、梨树(*Pyrus sorotina*)和李子(*Prunus cerasifera*)。灌木类植物篱物种包括: 黄荆(*Vitex negundo*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、八角枫(*Alangium chinense*)。草本类植物篱以紫背天葵(*Gynura bicolor*)、旱菜(*Herba Rorippae*)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)为主。调查区内植物篱种植年限为 5~7 a, 植物篱带宽 0.5~2 m, 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。

## 2 研究方法

### 2.1 采样点布设

在调查区域随机布设调查样地 42 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, 在每个土壤采样点土壤耕层(0~20 cm)采集土样, 每个采样点重复 3 次取样, 对土壤抗蚀指数及土壤理化性质测定, 仅对植物篱带内和植物篱带间坡耕地土壤抗冲性指数进行了测定。

**基金项目:** 国家科技支撑计划重点项目 (2008BAD98B01-03); 西南林业大学生态学校级重点学科项目 (XKX200902)

**作者简介:** 黎建强 (1982 年生), 男, 讲师, 博士, 主要研究水土保持与生态恢复。E-mail: JQ-Lee83125@hotmail.com

**收稿日期:** 2012-05-08

2.2 测定项目及方法

通过测定土壤团聚体在静水中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<sup>[17]</sup>;采用原状土冲刷水槽法测定土壤抗冲性<sup>[17]</sup>;土壤容重和孔隙度采用采用环刀法测定<sup>[18]</sup>;土壤饱和导水率采用定水头法测定<sup>[19]</sup>;土壤水稳性团聚体含量采用 Yoder 法<sup>[18]</sup>测定;土壤颗粒组成采用激光颗粒分析仪(Fritsch Particle Sizer 'analysette 22')测定<sup>[20]</sup>。土壤有机质采用常规方法进行测定<sup>[18]</sup>。

2.3 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理化性质各指标之间的相关性,采用进入回归方法建立土壤抗冲模型。

3 结果与分析

3.1 植物篱系统内土壤抗冲、抗蚀特征

研究区不同类型植物篱坡耕地系统中,土壤抗蚀指数在带间坡耕地、植物篱带上、带内和带下均表现出一定的变异性,植物篱带内土壤抗冲性指数显著高于带间坡耕地土壤。不同植物篱系统内土壤抗冲、抗蚀指数见表 1。

3.2 植物篱系统内土壤抗冲与土壤理化性质关系

表 2 为土壤抗冲性及土壤理化性质各指标相关系数矩阵。结果表明:总孔隙度、土壤含水量、饱和导水率、水稳性团聚体、土壤粘粒含量和土壤有机质在极显著水平( $P<0.01$ )上与土壤抗冲性指数呈正相关关系,其间相关系数为,0.39、0.64、0.70、0.56、0.56 和 0.55,而土壤容重与土壤土壤抗冲性指数在极显著水平( $P<0.01$ )上呈负相关关系,其相关系数为 0.39;土壤抗蚀指数与土壤抗冲性指数在显著性水平  $P<0.05$  上、也呈显著正相关关系,相关系数为-0.31;土壤沙粒和粉粒含量在显著性水平  $P<0.05$  上相关性不显著,其间相关系数为 0.30 和 0.09。土壤物理性

表 1 不同植物篱系统内土壤抗冲、抗蚀指数

Tab. 1 Soil anti-scourability and anti-erodibility in different position of hedgerow systems involving different species

| 植物篱类型 | 位置    | 抗冲指数/( $L \cdot min^{-1} \cdot g^{-1}$ ) | w(抗蚀指数)/%     |
|-------|-------|------------------------------------------|---------------|
| 乔木类   | 植物篱带上 | 40.93±12.21 b                            | 16.70±8.88 b  |
|       | 植物篱带内 |                                          | 29.04±10.32 a |
|       | 带间坡耕地 | 82.86±19.08 a                            | 31.87±10.09 a |
|       | 植物篱带下 |                                          | 20.31±9.28 b  |
| 草本类   | 植物篱带上 | 32.86±8.04 b                             | 18.13±6.27 b  |
|       | 植物篱带内 |                                          | 25.51±7.22 a  |
|       | 带间坡耕地 | 60.21±25.74 a                            | 29.13±9.01 a  |
|       | 植物篱带下 |                                          | 22.96±6.06 ab |
| 灌木类   | 植物篱带上 | 38.60±7.18 b                             | 14.13±4.06 c  |
|       | 植物篱带内 |                                          | 26.80±5.85 b  |
|       | 带间坡耕地 | 78.03±18.4 a                             | 38.63±3.8 a   |
|       | 植物篱带下 |                                          | 26.40±7.50 b  |

表中数据为平均±标准差 Values indicated in table are mean ± SD; 相同植物篱类型中同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

质各指标与土壤抗冲指数的相关关系大小顺序为:饱和导水率>土壤体积含水量>土壤抗蚀指数>w(粘粒)>w(有机质)>土壤容重、土壤总孔隙度>土壤抗蚀指数>w(土壤沙粒)>w(土壤粘粒)。其中,沙粒、粉粒、粘粒质量分数为土壤质地的特征变量,土壤抗冲指数、土壤抗蚀指数、w(有机质)为土壤结构稳定性的特征变量,土壤饱和导水率、土壤体积含水量、土壤容重、土壤总孔隙度为土壤结构和土壤通透性的特征变量。据此,土壤抗冲性能受土壤质地、土壤结构稳定性、土壤结构和通透性等因素的影响。

3.3 土壤抗冲形成过程的主成分分析

为了深刻认识植物篱系统内土壤抗冲性形成的过程,对植物篱系统内植物篱带内和植物篱带间坡耕地的土壤物理性质变量进行了主成分分析,主成分的特征值和贡献率见表 3,主成分及其因子负荷量见表 4。

表 2 植物篱系统内土壤抗冲性及土壤物理性质各指标之间相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between soil anti-scourability and soil properties in hedgerow systems( $n=42$ )

| 变量           | AS      | BD      | SP     | SVW    | SC     | WSA     | AE      | SAND    | SILT  | CLAY   | OM |
|--------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------|--------|----|
| 土壤抗冲指数(AS)   | 1       |         |        |        |        |         |         |         |       |        |    |
| 土壤容重(BD)     | -0.39** | 1       |        |        |        |         |         |         |       |        |    |
| 土壤总孔隙度(SP)   | 0.39**  | -1.00** | 1      |        |        |         |         |         |       |        |    |
| 土壤体积含水量(SVW) | 0.64**  | -0.41** | 0.41** | 1      |        |         |         |         |       |        |    |
| 饱和导水率(SC)    | 0.70**  | -0.46** | 0.46** | 0.51** | 1      |         |         |         |       |        |    |
| 水稳性团聚体(WSA)  | 0.56**  | -0.24   | 0.24   | 0.64** | 0.68** | 1       |         |         |       |        |    |
| 土壤抗蚀指数(AE)   | 0.31*   | -0.40*  | 0.40** | -0.01  | 0.50** | 0.03    | 1       |         |       |        |    |
| 沙粒(SAND)     | -0.30   | 0.37**  | -0.37* | -0.02  | -0.22  | 0.13    | -0.56** | 1       |       |        |    |
| 粉粒(SILT)     | 0.09    | -0.25   | 0.25   | -0.16  | -0.04  | -0.43** | 0.48**  | -0.94** | 1     |        |    |
| 粘粒(CLAY)     | 0.56**  | -0.30   | 0.30   | 0.52** | 0.71** | 0.90**  | 0.16    | -0.07   | -0.28 | 1      |    |
| 土壤有机质(SOM)   | 0.55**  | -0.55** | 0.55** | 0.57** | 0.64** | 0.52**  | 0.42**  | -0.32** | 0.13  | 0.50** | 1  |

\*\*  $P<0.01$ ; \*  $P<0.05$

表 3 主成分的特征值和贡献率  
Tab. 3 Total scores and cumulative % of principle components

| 主成分 | 特征值  | 贡献率/% | 累计贡献率/% |
|-----|------|-------|---------|
| PC1 | 4.79 | 43.55 | 43.55   |
| PC2 | 2.80 | 25.42 | 68.97   |
| PC3 | 1.09 | 9.94  | 78.90   |

表 4 主成分及其因子负荷量  
Tab. 4 Principle components and variables loadings

| 变量        | 主成分 Principle components |        |        |
|-----------|--------------------------|--------|--------|
|           | PC1                      | PC2    | PC3    |
| 水稳性团聚体    | 0.941                    | -0.166 | 0.082  |
| 粘粒质量分数    | 0.899                    | -0.003 | 0.085  |
| 饱和导水率     | 0.818                    | 0.310  | 0.208  |
| 体积含水量     | 0.663                    | -0.095 | 0.405  |
| 土壤有机质质量分数 | 0.606                    | 0.306  | 0.445  |
| 沙粒质量分数    | 0.045                    | -0.908 | -0.180 |
| 粉粒质量分数    | -0.355                   | 0.874  | 0.144  |
| 抗蚀指数      | 0.195                    | 0.761  | 0.158  |
| 根重密度      | 0.408                    | 0.562  | 0.158  |
| 土壤总孔隙度    | 0.205                    | 0.245  | 0.932  |
| 土壤容重      | -0.206                   | -0.245 | -0.932 |

从表 3 可以看出,第 1 到第 3 主成分(PC.1, PC.2, PC.3)对总方差的贡献率分别为 43.55%、25.42%和 9.94%, 其累计贡献率为 78.90%, 即前 3 个主成分反映了本研究中全部土壤物理性质指标提供信息的 78.9%以上, 因此可以利用前 3 个主成分的因子负荷和主要指标组合对植物篱系统内土壤抗冲性的形成过程进行定量描述。由表 4 可知, 第 1 主成分的主要指标组合为: 水稳性团聚体、粘粒质量分数、饱和导水率、体积含水量、和土壤有机质。第 1 主成分表征土壤的水稳定性和水分特征的量度, 水稳性团聚体、粘粒含量、饱和导水率、体积含水量、和土壤有机质对第 1 主成分具有较强的正向负荷, 由于土壤粘粒含量和土壤有机质的增加, 有利于形成土壤团聚体, 水稳性团聚体具有抵抗水破坏的能力, 能抵抗雨滴的冲击, 可增强土壤渗透性。饱和导水率大的土壤, 有利于水分入渗, 不易形成地表径流, 而具有较高的抗冲能力; 第 2 主成分的主要指标组合为沙粒质量分数、粉粒质量分数、抗蚀指数、根重密度。第 2 主成分表征土壤质地和土壤生物学特性的量度, 粉粒质量分数、抗蚀指数、根重密度对第 2 主成分具有较强的正向负荷, 而土壤沙粒对第 2 主成分具有较强的负向负荷, 在坡耕地土壤中, 水力侵蚀的主要对象为土壤细颗粒物, 土壤沙粒不容易被侵蚀而流失, 因此, 沙粒质量分数与土壤抗冲性指数负相关, 而与粉粒质量分数正相关; 土壤抗蚀指数反映了土壤抵抗水的分散和悬浮的能力, 土壤抗蚀能力越强, 土壤抗冲性越

大; 土壤根系对土壤抗冲性具增强效应, 植物根系的生长和缠绕和增加土壤入渗和增强土壤结构稳定性而提高土壤的抗蚀性。第 3 主成分表征土壤结构的量度, 土壤总孔隙度对第 3 主成分具有极强的正向负荷而土壤容重对第 3 主成分具有较强的负向负荷。土壤容重越大、土壤结构性越差, 土壤入渗性能差, 容易产生地表径流, 而增强对土壤的冲刷, 土壤抗冲性减小。土壤总孔隙度则反映了土壤中的孔隙特征, 土壤孔隙度越大、土壤越疏松, 有利于水分的入渗和保持较高的土壤入渗率而有利于减小径流对地表土壤的冲刷, 土壤抗冲性能增强。

3.4 植物篱系统内土壤抗冲模型

土壤抗冲性形成过程的主成分分析结果揭示, 土壤抵抗径流冲刷的能力主要受土壤质地、土壤结构稳定性、土壤结构和通透性等因素的影响。为了进一步讨论土壤抗冲性的影响因素, 本研究就植物篱系统内 32 个调查样地的土壤抗冲性(即土壤抗冲性指数)与土壤性质的 13 个指标, 利用进入回归方法进行了分析得到土壤抗冲性指数的模型为:

$$AS=-37.09-0.31SP+1.14SVW+0.57SC-0.30WSA-0.11AE+0.86SILT+2.87CLAY+30.00ROOT-0.13SOM$$

式中: AS 为土壤抗冲性(L·min·g<sup>-1</sup>), AS 越大, 土壤抗冲性越强, SP 为土壤总孔隙度(%); SVW 为土壤体积含水量(%); SC 为土壤饱和导水率(mm·h<sup>-1</sup>); WSA 为>0.25 mm 水稳性团聚体(%); AE 为水稳性指数(%); SILT 为 0.02~0.002 mm 粉粒质量分数(%); CLAY 为<0.002 mm 粘粒质量分数(%); ROOT 为根重密度(g·100cm<sup>-3</sup>); OM 为土壤有机质质量分数(g·kg<sup>-1</sup>)。

由表 5 土壤抗冲性模型方差分析结果可以看出, 土壤抗冲性指数与土壤性质各指标的最优模型的方差分析 F 检验的  $F=7.128>F_{0.01}(9, 32)=3.02$ , 即土壤抗冲性指数与土壤性质各指标的最优模型具有极显著性相关性( $P<0.01$ )。

表 5 土壤抗冲性模型方差分析  
Tab. 5 ANOVA of model for soil anti-scourability with linear regression

| 变差来源 | 离差平方和      | 自由度 | 均方差       | F 值   | 显著性   |
|------|------------|-----|-----------|-------|-------|
| 回归   | 18 337.276 | 9   | 2 037.475 | 7.128 | 0.000 |
| 残差   | 9 147.343  | 32  | 285.854   |       |       |
| 总和   | 27 484.619 | 41  |           |       |       |

4 讨论

4.1 土壤特性对抗蚀、抗冲性的影响

土壤抗冲和抗蚀性能受土壤结构和通透性、土壤结构稳定性、土壤质地、土壤有机质质量分数等因素的影响。土壤结构性包括土壤容重、土壤孔隙度等物理性质, 土壤孔隙的数量、连通性等特性对

渗透的影响最大,特别是土壤大孔隙(非毛管孔隙)是地表径流入渗的主要通道,因而土壤非毛管孔隙愈多,入渗愈快、入渗量也越大。地表径流的减小、降低了径流的侵蚀力,有利于控制土壤颗粒的流失,保持土壤。然而,土壤孔隙状况又主要与土壤质地、容重和结构等基本物理性质有关<sup>[2]</sup>,土壤渗透性的强弱,通常随土壤质地的变细而降低,随土壤容重增大而减弱,随土壤水稳性结团聚体含量的增大而增强,土壤饱和导水率的增加,有利于土壤在达到饱和的情况下,保持较高的土壤入渗量,而减少地表径流的产生,从而减小地表径流对表层土壤的冲刷,提高土壤的抗冲性能。水稳性土壤团聚体含量、水稳性指数等是量度土壤结构稳定性主要指标。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<sup>[19]</sup>。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<sup>[21]</sup>。水稳性指数是指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力<sup>[22]</sup>,水稳性指数越大,土壤抵抗径流分散和悬浮的能力越强,被径流携带所需的能量越大,而不易产生土壤流失,土壤抗冲性越强。抗蚀能力差的土壤,遇水分散,降雨时土壤结构很快破坏。分散的土粒堵塞土壤孔隙,降低渗透,促进径流的增长,不仅造成分散的土粒随径流的流失,也同时加剧了冲刷的发展。土壤水稳性团聚体和水稳性指数的与土壤的物理、化学和生物学特性有关,特别与土壤结构胶结物质的数量和质量有密切联系。土壤质地对土壤抗冲、抗蚀性能的影响表现在不同粒径的土壤抵抗径流分散和悬浮的能力不同。在坡面上,土壤细颗粒物质比粗颗粒物质在坡面径流的侵蚀下更容易流失<sup>[23]</sup>,土壤细颗粒物质在坡面径流的侵蚀下,容易向下坡位移动而产生土壤流失。然而,土壤细颗粒物质在土壤有机质和土壤粘结物的作用下,更有利于形成团粒结构<sup>[24]</sup>,而增强土壤抗冲、抗蚀性能。因此土壤质地对土壤抗蚀、抗冲性具有双重作用。土壤有机质被认为是形成稳定土壤结构的重要条件<sup>[25]</sup>,土壤有机质是土壤水稳性团粒的主要胶结剂,能够促进土壤中团粒结构的形成,含有机质丰富的土壤能够形成良好结构,增加土壤的疏松性、通气性和透水性,从而提高土壤的抗侵蚀能力<sup>[26]</sup>。

土壤生物学及根系特征也是影响土壤抗蚀、抗冲性的主要因素。根系在土体中交错、穿插、缠绕,这种网状结构有利于固持土壤,增加土壤的抗冲能力,土壤根系对土壤抗冲性具有增强的效应已经被

国内外诸多学者验证<sup>[8,27]</sup>。而且根系的活动还可以改善土壤的物理性质,根系的分泌物及其死亡分解后所形成的腐殖质又能作为土壤团粒的胶结剂,团聚土粒,形成稳定的团粒,有利于提高了土壤的抗冲能力<sup>[28]</sup>。此外,死亡根系形成的根孔可以增加土壤孔隙度,有利于增加水分入渗而增强土壤的抗冲能力。

#### 4.2 不同植物篱对土壤抗蚀、抗冲性的影响

3种不同植物篱带内土壤抗蚀性和抗冲性指数得到显著改善。植物篱带内土壤抗冲性、抗蚀性能的增强主要表现在,植物篱引入坡耕地系统,植物篱的枯枝落叶提供的有机质及其根系生长对土壤理化性质的改善<sup>[12,13-15]</sup>。植物篱引入坡耕地后,对植物篱带输入大量植物篱的刈割枝叶和凋落物,显著增加土壤有机质<sup>[29-31]</sup>,而土壤有机质的增加有利于土壤为团聚体的形成、增加土壤水分入渗和改善土壤结构而增加植物篱带内的土壤抗冲、抗蚀性能。植物篱地下根系也能有效固结土粒,对增强土壤结构稳定性和提高土壤的抗蚀性起重要作用,植物篱根系的穿插生长和根系活动分泌物亦有利于增加土壤入渗、改善土壤结构状况和提高土壤的水稳性而增加土壤的抗冲、抗蚀性能。此外,植物篱的栽植,提高了植物篱带的植被覆盖,减小了坡面的土壤流失而引起土壤结构的恶化。土壤抗蚀性在植物篱系统中、植物篱带上、带内、带下和植物篱带间坡耕地表现出一定的变异性,这是因为植物篱的带状分布,输入植物篱系统中有机质、植物篱根系的活动主要集中在植物篱带,对于带上、带下的影响较植物篱带内的强度减弱,而植物篱对带间坡耕地土壤物理性质的影响主要是通过植物篱刈割枝叶的覆盖而实现的<sup>[32-33]</sup>,其输入的有机质有限,并且植物篱更细活动范围不能达到带间坡耕地区域,而植物篱对带间坡耕地土壤物理性质的影响较小。

植物篱系统内,植物篱带内土壤抗冲抗蚀性能的提高,对坡耕地水土流失具有重要的作用。植物篱带地面覆盖度增大,篱带及堆置在篱底的茎叶形成的生物带,截断连续坡面,阻滞、拦蓄、分散地表径流,减少细沟形成、发育。同时,篱带间坡度的变缓与篱前泥沙淤积带的形成、发展,削弱了坡面水流动能,从而降低了单位面积坡面上水流的侵蚀能力,有利于坡耕地水土保持和控制坡面养分流失;其次,植物篱根系能有效固持土壤、增加土壤中水稳性团聚体的总量和,改善土壤团粒结构,增强土壤抵抗径流对其分散、运移的能力,从而遏制土壤侵蚀,防止水土流失<sup>[13]</sup>。此外,植物篱刈割的枝叶、作为绿肥在坡耕地植物篱带间坡耕地的覆盖,以有利于改善植物篱带间坡耕地土壤物理性质,并且有利于坡耕地水土保持。

## 5 结论

3 种不同植物篱带内土壤抗蚀性和抗冲性指数得到显著改善, 植物篱系统带间坡耕地土壤抗冲指数平均为  $37.47 \text{ L} \cdot \text{min} \cdot \text{g}^{-1}$ , 乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤抗冲指数比带间坡耕地分别高 121.2%、60.7% 和 108.3%。植物篱带间坡耕地土壤抗蚀指数平均为 16.32%, 乔木类、草本类和灌木类植物篱带内土壤抗冲指数比带间坡耕地分别高 95.3%、78.5% 和 136.7%。土壤抗蚀性在植物篱系统中、植物篱带上、带内、带下和植物篱带间坡耕地表现出一定的变化。土壤抗冲性与总孔隙度、土壤含水量、饱和导水率、水稳性团聚体、土壤粘粒含量和土壤有机质在极显著水平 ( $P < 0.01$ ) 上呈正相关关系, 而土壤容重与土壤抗冲性指数在极显著水平 ( $P < 0.01$ ) 上呈负相关关系, 土壤抗蚀指数、与土壤抗冲性指数在显著性水平  $P < 0.05$  上、也呈显著正相关关系, 土壤沙粒和粉粒含量在显著性水平  $P < 0.05$  上相关性不显著。本研究就植物篱系统 32 个调查样地的土壤抗冲性(即土壤抗冲性指数)与土壤性质的 13 个指标, 利用进入回归方法进行了分析得到土壤抗冲性指数的模型为:  $AS = -37.09 - 0.31SP + 1.14SVW + 0.57SC - 0.30WSA - 0.11AE + 0.86SILT + 2.87CLAY + 30.00ROOT - 0.13SOM$ , 土壤抗冲性指数与土壤性质各指标的最优模型具有极显 ( $P < 0.01$ ) 著相关性。

## 参考文献:

- [1] 田积堂, 黄义端. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗蚀性能指标的初步研究[J]. 土壤学报, 1964, 12(3): 286-296.  
TIAN Jiyang, HUANG Yiduan. Investigation on physical properties of soil in relation to the index of soil resistance to erosion in the region of Tzhiwu-ling, Kansu[J]. Acta Pedologica Sinica, 1964, 12(3): 286-296.
- [2] 黄义端, 田积堂, 雍绍萍. 土壤内在性质对侵蚀影响的研究[J]. 水土保持学报, 1989, 3(3): 9-14.  
HUANG Yiduan, TIAN Jiyang, YONG Shaoping. The interior soil properties affecting soil erosion in loess plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 3(3): 9-14.
- [3] 朱显谟, 田积堂. 强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 1-10.  
ZHU Xianmo, TIAN Jiyang. The study on strengthening anti-scourability and penetrability of soil in Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(3): 1-10.
- [4] 郑世清, 周佩华, 周保林. 黄土高原沟壑区土壤抗冲性研究——以黄委会西峰水土保持试验站为例[J]. 水土保持通报, 1994, 14(1): 12-16.  
ZHENG Shiqing, ZHOU Peihua, ZHOU Baolin. The study on soil anti-scourability in Loess Plateau gully region—setting Xifeng soil and water conservation station as an example[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1994, 14(1): 12-16.
- [5] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 植物根系与土壤抗冲性[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 11-18.  
LI Yong, XU Xiaoqing, ZHU Xianmo, et al. Plant roots and soil anti-scourability[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(3): 11-18.
- [6] LI Y, XU X Q, ZHU X M. Preliminary study on mechanism of plant root to increase the soil anti-scourability on the Loess Plateau[J]. Science in China, 1992, 35: 1085-1092.
- [7] 李勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究 I. 油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 11-16.  
LI Yong, XU Xiaoqing, ZHU Xianmo, et al. Studies on the intensification of soil anti-scourability by plant roots in the loess plateau I. the increasing effect of soil anti-scourability by the roots of Chinese pine[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1990, 4(1): 11-16.
- [8] 李勇. 沙棘林根系强化土壤抗冲性的研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(3): 15-20.  
LI Yong. Intensification effects on soil anti-scourability by the Sea Buckthorn root system[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1990, 4(3): 15-20.
- [9] 邹翔, 崔鹏, 陈杰, 等. 小江流域土壤抗冲性实验研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 71-73.  
ZHOU Xiang, CUI Peng, CHEN Jie, et al. Experiment study on anti-scouring of soil in Xiaojiang River basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 71-73.
- [10] 李新平, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤坡耕地人工模拟降雨条件下植物篱笆水土保持效应及机理研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 36-40.  
LI Xinping, WANG Zhaoqian, CHEN Xin, et al. Research on soil and water conservation effect and mechanism of hedges under rainfall simulation in red soil slope field[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(2): 36-40.
- [11] 刘定辉, 赵变京, 曹均城, 等. 紫色丘陵区蕈草植物篱的减流减沙效应及其机理[J]. 西南农业学报, 2007, 20(3): 439-442.  
LIU Dinghui, ZHAO Xiejing, CAO Juncheng, et al. Impacts and mechanism of Eulaliopsis Binata hedgerow system on soil and water losses control in purple hilly area in Sichuan basin[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2007, 20(3): 439-442.
- [12] 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.  
XU Feng, CAI Qiangguo, WU Shuan, et al. Characteristics of erosion control by contour hedgerows on cultivated slope land of purple soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(1): 71-80.
- [13] 陈治谏, 廖晓勇, 刘邵权, 等. 坡地植物篱农业技术生态经济效益评价[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 125-127.  
CHEN Zhijian, LIAO Xiaoyong, LIU Shaoquan, et al. Improvement of slope gropland productivity by applying agricultural technique of plant hedge-rows[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 125-127.
- [14] 廖晓勇, 陈治谏, 刘邵权, 等. 陡坡地皇竹草水土保持效益研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 34-36.  
LIAO Xiaoyong, CHEN Zhijian, LIU Shaoquan, et al. Benefit of soil and water conservation of Hybrid giant Napier on abrupt slopland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(4): 34-36.
- [15] 陈明霞, 查轩. 生草覆盖和植物篱措施对红壤坡地土壤侵蚀调控效应研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 14(1): 32-37.  
CHEN Mingxia, ZHA Xuan. Effects of Perennial Alfalfa and hedgerow system on the adjustment and control of soil erosion in the granite sloping fields[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2009, 14(1): 32-37.
- [16] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究: 以等高植物篱为例[J]. 地理研究, 2000, 19(3): 303-310.  
XU Feng, CAI Qiangguo, WU Shuan, A study on soil nutrient loss control by slope eco-engineering in the Three Gorges Reservoir region-Taking the contour hedgerows as an example[J]. Geographical Research, 2000, 19(3): 303-310.
- [17] 黎建强, 张洪江, 程金花, 等. 长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 418-424.  
LI Jianqiang, ZHANG Hongjiang, CHENG Jinhua, et al. Soil physical properties of different hedgerow systems in upper reaches of Yangtze River[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(2): 418-424.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978.  
Nanjing Soil Institute of CAS. Soil Physical Chemistry Analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.

- [19] 邵明安, 王九全, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.  
SHAO Mingan, WANG Jiuequan, HUANG Mingbin. Soil physics[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [20] 魏孝荣, 邵明安. 黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 604-612.  
WEI Xiaorong, SHAO Mingan. The distribution of soil nutrients on sloping land in the gully region watershed of the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 604-612.
- [21] 徐秋芳, 姜培坤, 俞益武, 等. 不同林用地土壤抗蚀性能研究[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(4): 362-365.  
XU Qiufang, JIANG Peikun, YU Yiwu, et al. Study on erosion resistance of different land use[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2001, 18(4): 362-365.
- [22] 李勇. 黄土高原植物根系与土壤抗冲性[M]. 北京: 科学出版社, 1995.  
LI Yong. Plant roots and soil anti-scourability in Loss Plateau[J]. Beijing: Science Press, 1995.
- [23] MAGETTE W L, BRINSFIELD R B, PALMER RE, et al. Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips[J]. American Society of Agricultural Engineering, 1989, 32: 663-667.
- [24] ALBIACH R, CANET R, POMARES F, et al. Organic matter components and aggregate stability after application of different amendments to a horticulture soil[J]. Bioresource Technology, 2001, 76: 125-129.
- [25] 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.  
PENG Xinhua, ZHANG Bin, ZHAO Qiguo. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(10): 2176-2183.
- [26] 卢喜平, 史冬梅, 蒋光毅, 等. 两种果草模式根系提高土壤抗蚀性的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 64-67.  
LU Xiping, SHI Dongmei, JIANG Guangyi, et al. Study on root system of two kinds of intercropping orchard-pasture model improving soil anti-erodibility[J]. Journal of Soil and Water conservation, 2004, 18(5): 64-67.
- [27] 丁军, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤丘陵地区林地根系对土壤抗冲增强效应的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 9-12.  
DING Jun, WANG Zhaoqian, CHEN Xin, et al. Study on increased effect of soil anti-scourability by root system of forest land in red soil hilly region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(4): 9-12.
- [28] 王一峰, 张平仓, 朱兵兵, 等. 长江中上游地区土壤抗冲性特征研究[J]. 长江科学院院报, 2007, 24(1): 12-15.  
WANG Yifeng, ZHANG Pingcang, ZHU Bingbing, et al. Features of soil anti-scourability in upper-middle reaches of Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2007, 24(1): 12-15.
- [29] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱改善退化坡耕地土壤养分状况的效果[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(5): 473-477.  
SUN Hui, TANG Ya, CHEN Keming, et al. Effect of contour hedgerow system of nitrogen fixing tress on soil fertility improvement of degraded sloping agricultural lands[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 1999, 5(5): 473-477.
- [30] 陈治谏, 廖晓勇, 刘邵权, 等. 三峡库区坡耕地持续性利用技术及效益分析[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 85-87.  
CHEN Zhijian, LIAO Xiaoyong, LIU Shaoquan, et al. Sustainable utilization technology of slope cropland and its benefit in the Three Gorges Reservoir[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(3): 85-87.
- [31] 黎建强, 张洪江, 程金花, 等. 不同类型植物篱对长江上游坡耕地土壤养分含量及坡面分布的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2574-2580.  
LI Jianqiang, ZHANG Hongjiang, CHENG Jinhua, et al. Effects of hedgerow intercropping with different species on soil nutrients and its distribution on steep land in upper reaches of Yangtze River[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(11): 2574-2580.
- [32] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 48-51.  
SUN Hui, TANG Ya, CHEN Keming, et al. Effects of Contour Hedgerow Intercropping on Surface Flow Control of Sloping Cropland[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(2): 48-51.
- [33] HAGGAR J P, WARREN G P, BEER J W, et al. Phosphorus availability under alley cropping and mulched and unmulched sole cropping systems in Costa Rica[J]. Plant and Soil, 1991, 137(2): 275-283.

## Anti-scourability and anti-erodibility of soil under different hedgerow systems in upper reaches of Yangtze River

LI Jianqiang<sup>1</sup>, ZHANG Hongjiang<sup>2</sup>, CHEN Qibo<sup>1</sup>, ZHOU Hongfeng<sup>3</sup>

1. School of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

2. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

3. Department of Soil and Water Conservation Technology, Kunming Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy Co., Ltd, Kunming 650051, China

**Abstract:** To study the characteristics of the soil anti-scourability and anti-erodibility and relation between soil anti-scourability and other soil physiochemical properties, the soil anti-scourability, anti-erodibility and other soil physiochemical index under hedgerow systems involving different species in upper reaches of Yangtze River were tested. The result revealed that, (1) comparing with those between hedgerows, the soil anti-scourability within the hedgerows improved significantly. The anti-erodibility were significantly different among the soil under hedgerow systems. (2) Under hedgerow systems, the soil anti-scourability were related significantly with other physiochemical index involving soil porosity, moisture content, water saturated conductivity, water stable aggregates content, soil silt content, organic content, soil bulk and soil anti-erodibility index. (3) Soil anti-scourability model under hedgerow systems were established, and the model indicated that the soil anti-erodibility index highly significantly related with soil other physicochemical index involved in the paper.

**Key words:** hedgerow system; soil anti-erodibility; soil anti-scourability; soil anti-scourability model