

西南丘陵山区坡耕地植物篱水土保持效益研究进展

曹艳, 刘峰, 包蕊, 石孝均

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要: 从植物篱拦截径流、减缓坡度、改善土壤理化性质、提高土壤酶及微生物活性、保护生物多样性等方面综述了植物篱控制水土流失的机理,总结了西南丘陵山区不同植物篱模式的水土保持效果及坡度和平衡施肥对其的影响。西南丘陵山区植物篱研究以草本类的香根草、黄花菜以及乔木类的新银合欢等居多,其中黄花菜多与果树配合。最后从加强植物篱土壤生物学特性和植物篱带间距方面的研究进行了展望,以期西南丘陵山区植物篱水土保持研究与应用提供参考,促进该区域化肥减量增效目标的实现。

关键词: 植物篱; 水土保持; 土壤侵蚀; 丘陵山区

中图分类号: S157.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)04-0057-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.04.010

Soil and Water Conservation Benefits of Hedgerows in Sloping Cropland in Hilly Region of Southwest China: A Review

CAO Yan, LIU Feng, BAO Rui, SHI Xiaojun

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: From the point view of retarding runoff, slowing down slope, improving soil physical and chemical properties, increasing soil enzyme and microbial activities, biodiversity conservation, etc., this paper summarized the research progress in the mechanisms of soil erosion control of hedgerows. Soil and water conservation benefits and influences of cropland slope and balanced fertilization on different hedgerows in the hilly region of Southwest China were explored. In this region, researches mainly tended to be focused on herbs like *Vetiveria zizanioides* and *Hemerocallis citrina* and trees like *Leucaena leucocephala*, of which *Hemerocallis citrina* was usually occurred with fruit trees. Finally, soil biological characteristics and distance of hedgerows were put forward, which could give a reference for further research, and provide the theoretical bases for the improvement of the efficiency of fertilizer.

Keywords: hedgerow; soil and water conservation; soil erosion; hilly region

由于特殊的自然地理条件,我国水土流失十分严重,水土流失面积达 484.74 万 km², 占国土面积的 51.1%^[1]。西南丘陵山区受岩性、地貌等自然环境和人类经济活动的影响,水土流失尤为严重。水土流失易使土壤耕层变薄,肥力降低,并造成水体污染^[2]。水土保持措施可分为生物措施、工程措施和耕作措施,相较砌石墙、垒土坎等工程措施,植物篱等生物措施具有省时、省工和省资的优点,且比横坡耕作等措施的水土保持效益更明显。植物篱通过拦蓄坡耕地地表径流、泥沙,改善土壤抗蚀性,从而控制水土流失,并提高土壤酶及微生物活性,维持和保护农田生物多样性。

早期的植物篱研究与应用侧重于为平地农田提供有机质和实现耕层养分再分配,当其在坡耕地中作为等高植物篱使用时,除具有平地农田的功能外,还有利于减缓坡耕地的水土流失^[3],如肯尼亚半干旱区采用植物篱铁刀木(*Senna siamea*)+玉米模式后,土壤流失和径流量分别减少 98% 和 80%^[4]。之后,植物篱维持和保护生物多样性方面也开展了研究,如美国加州约洛县在农田边种植多年生植物篱,可通过增加有益昆虫来控制害虫,并增强蜜蜂授粉^[5]。我国于 20 世纪 80 年代末开始植物篱技术研究^[6],在护坡固堤^[7-8]、防治水土流失、提高作物产量^[9-10]以及减轻农业面源污染^[11-12]等方面取得了一系列成果,并进行了

大面积推广应用,如早在 2005 年,仅四川和重庆的 28 个县市累计推广了桑树、金银花和青花椒等经济植物篱 14.57 万 hm^2 ,取得了较好的生态和经济效益^[9]。贵州省在开展的植物篱梯化水土保持项目中,应用了香根草、紫穗槐、砂仁、紫花苜蓿和柑橘等多种植物^[13];云南省农业科学院发现热带速生豆科树种南洋樱(*Gliricidia sepium*)在控制旱坡地水土流失、减少土壤侵蚀和改善土壤养分等方面效益显著^[14]。鉴于此,本文回顾了四川、贵州、云南和重庆丘陵山区坡耕地植物篱的代表性研究成果,对比各研究区域不同植物篱的水土保持效益,并对应用中需加强的研究内容进行了展望,以期对西南丘陵山区植物篱的研究与应用提供参考。

1 植物篱种类及特性

植物篱由草本、灌木、乔木或其组合构成,按一定栽植密度沿等高线栽植一至数行,其根部或接近根部处互相靠近,形成连续的利于水土保持的植物条带^[15]。我国植物篱研究主要集中在金沙江干旱河谷区、三峡库区以及黄土丘陵区(图 1),研究内容包括拦截径流、挡土减蚀、提高养分和水分利用率和保护

农田生物多样性等方面。

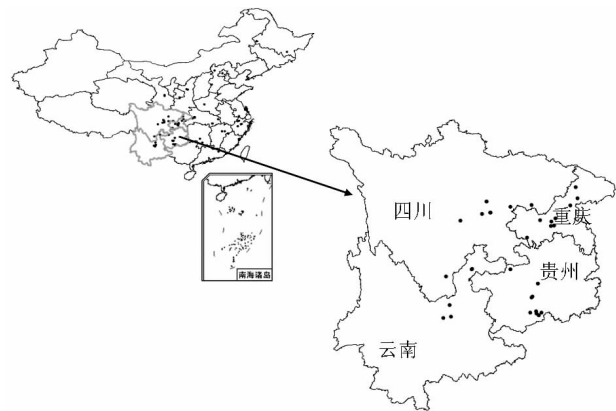


图 1 我国及西南部分省市植物篱代表性研究点分布

从表 1 可知,我国植物篱种类多且应用区域广泛。其中,西南地区常见植物篱有草本类的香根草、百喜草、黄花菜、金荞麦,灌木类的柠条、胡枝子、山毛豆、金银花、沙棘、花椒,乔木类的新银合欢、黄荆、紫穗槐、马桑和茶树等以及上述植物的组合,以香根草、黄花菜、新银合欢、黄荆、马桑、紫穗槐等应用较多。很多植物除具有水土保持效果外,还具有食用、药用或用作饲料等价值。

表 1 我国西南地区常见植物篱植物及特性

植物篱(拉丁学名)	分布范围	生物学特性	开发利用
香根草 ^[16] (<i>Vetiveria zizanioides</i>)	江苏、浙江、福建、台湾、广东、海南、四川	多年生粗壮草本,喜疏松粘壤,耐涝	香水、造纸、青饲料
紫花苜蓿 ^[17] (<i>Medicago sativa</i>)	全国各地	多年生草本,根粗壮,深入土层,根颈发达,耐旱	青饲料
黄花菜 ^[18] (<i>Heremacallis citrina</i>)	湖南、江苏、河北、山西、山东、四川、甘肃、陕西	多年生草本植物,适应性强,抗寒、耐干旱瘠薄,易栽植和管理	蔬菜、观赏
蓼草 ^[19] (<i>Eulaliopsis binata</i>)	四川、重庆、湖北等	多年生草本纤维植物,耐旱、耐瘠、适应性强	造纸、护坡
桑树 ^[20] (<i>Morus alba</i>)	云南、贵州、四川、湖北、陕西、甘肃、西藏	灌木或乔木,适应性强,喜光、耐旱、耐寒,根粗壮、发达	药材、木材、饲料
金银花 ^[21] (<i>Lonicera japonica</i>)	除黑龙江、内蒙古、宁夏、青海、新疆、河南和西藏无自然生长外,其他各省均有分布,以西南部为主产区	多年生半常绿藤本,根系发达,对土壤、气候要求不严格,土层较厚的沙质土壤最佳	药材、观赏
紫穗槐 ^[22] (<i>Amorpha fruticosa</i>)	东北、华北、西北、山东、安徽、江苏、河南、湖北、广西、四川	落叶灌木,固氮、耐湿、耐盐碱、抗风沙、抗逆性极强	防护林、饲料
香椿 ^[23] (<i>Toona sinensis</i>)	华北至华南和西南各省	落叶乔木,喜温、喜光,较耐湿	药材、蔬菜
黄荆 ^[24] (<i>Vitex negundo</i>)	长江以南各省,北达秦岭淮河	落叶灌木或小乔木,适应性强,喜光,能耐半阴,耐干旱、耐瘠薄、耐寒	药材、造纸
新银合欢 ^[25] (<i>Leucaena leucocephala</i>)	台湾、福建、广东、广西、云南	常绿灌木或乔木,热带、亚热带速生固氮植物,根系发达,耐旱、耐寒、耐涝,再生能力强	造纸、饲料

2 植物篱水土保持机理

植物篱水土保持机理主要体现在:林冠、近地面覆盖物和根系对降水、溅蚀、径流和泥沙的机械阻挡;减缓坡度,缩短坡长,改变微地形;茎叶还田,改善土壤理化性状;提高土壤酶及微生物活性,为土壤动物提供栖息地等方面(图 2)。

2.1 拦截径流和泥沙

一般情况下,土壤侵蚀随径流减少而减弱^[26]。植物篱等高带状分布以其茎叶的机械阻滞、过滤,有效减小地表径流量^[27],使水流的泥沙携带能力下降,

土壤大颗粒在篱带前或篱带内发生沉积^[28-29],以改善土壤物理性质,同时增加水分入渗,从而达到水土保持的目的。如湖北省秭归县的紫色土坡耕地模拟降雨试验表明,马桑、黄荆、香根草、新银合欢植物篱能使径流下降 17.2%~70.8%,土壤侵蚀量下降 18.4%~70.0%^[30]。长江上游紫色土区 8 年定位试验表明,麦—玉—苕轮作时,紫穗槐植物篱径流、泥沙与对照相比分别减少 68.8%和 88.8%,香根草植物篱的径流、泥沙分别比紫穗槐减少 25.2%和 39.7%^[31]。

2.2 减缓坡度和缩短坡长

植物篱通过有效阻止侵蚀泥沙的向下搬运,其

上、下侧之间形成一定高度的坎,带间坡度减小,使微地形坡面局部下降或抬升,坡地逐步转变成以植物篱为地埂的梯地^[32],等高植物篱—农作系统中坡面被植物篱截为多段,缩短了侵蚀坡面的有效长度^[15]。三峡库区秭归县紫色土坡耕地种植约 10 年的黄荆、马桑、新银合欢植物篱,土坎高度可增至 80 cm,减缓坡度约 20°^[33]。贵州省毕节市黄壤、石灰土、紫色土等种植 3 年的黄荆、新银合欢、马桑,每年形成土坎高

度为 7~27 cm,坡度平均减小 1°~2°,改善微地形能力为黄荆>新银合欢>马桑^[29]。在植物篱应用中,由于细沟侵蚀的发生需要一定的坡长来汇集径流,明确产生细沟侵蚀的临界坡长显得尤为重要,即植物篱宜布设在临界坡长之内。降雨、坡度和坡长大小不同其临界坡长也不同,如四川省紫色土坡耕地坡度为 10°,15°,20°,25°时,产生细沟侵蚀的平均临界坡长分别为 6.25,4.19,2.77,1.60 m^[34]。

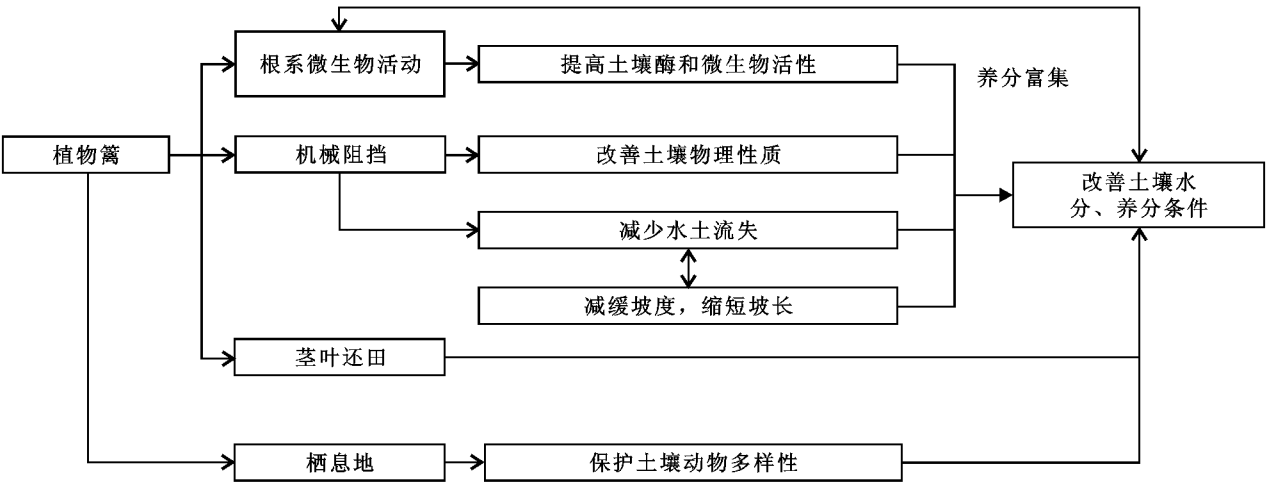


图 2 植物篱水土保持机理示意

2.3 改善土壤理化性状

土壤黏粒及有机质含量是反映土壤抗侵蚀能力强弱的有效指标。植物篱的根系和枯落物能有效拦截黏土颗粒^[35],对无细沟侵蚀时粒径较粗的被侵蚀泥沙具有更强的控制效果,进而减少氮磷等养分的流失^[36-37]。随着土层加深,土壤容重和天然含水量逐渐增加,土壤非毛管孔隙度、饱和导水率饱和含水量相应下降,越靠近植物篱变化越明显^[38]。受植物篱根系微生物活动、枯枝落叶在篱带内聚集和机械阻挡的综合作用,土壤有机质含量显著增加^[39]。对长江上游不同植物篱系统土壤物理性质的研究表明,乔木类(桑树等)、草本类(紫背天葵等)和灌木类(黄荆等)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、抗冲指数和土壤黏粒含量平均值分别提高 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平均值分别减小 17.3%和 9.6%^[40]。三峡库区秭归县的研究表明,新银合欢、黄荆、马桑植物篱减小紫色土土壤容重 14%~17%,非毛管孔隙增加 135%~216%,有机质增加 52%~65%,明显改善土壤结构,增强保水保肥能力^[33]。

不同植物篱对土壤理化性状的改良效果存在明显差异。重庆低山丘陵区,由沙溪庙组砂页岩发育的紫色土和水稻土坡耕地上,植物篱的土壤改良效果为

黄荆类>沙梨类>柑橘类>桑树类>紫背天葵类>花椒类^[41]。三峡库区秭归县试验表明,马桑、黄荆较香根草、新银合欢有着更突出的控制紫色土侵蚀效果^[30]。四川省遂宁市紫色土试验表明,香根草的保土效果及改善土壤物理结构作用强于新银合欢,主要体现在团聚体水稳性、提高植物篱两侧土壤有机质等方面^[42]。三峡库区江津区紫色土长期定位试验表明,由于灌木类黄荆植物篱带内枯落物相对较多,根系的穿插作用促使团粒结构形成,增强了土壤抗蚀性,而多年生草本紫背天葵则相对较弱,表现为黄荆改良土壤理化性质、减轻土壤侵蚀的效果优于紫背天葵^[43]。三峡库区万州区试验表明,灰棕紫泥土坡耕地麦—玉—苕轮作时,皇竹草植物篱处理的土壤养分呈现水平和垂直分异,土壤有机质、全氮等养分含量随土层加深递减,并呈现篱前富积、篱下流失的分布特点^[44]。

2.4 提高土壤酶及微生物活性,保护生物多样性

植物篱凋落物与分泌物为土壤微生物提供营养,从而增加微生物的种类、数量及酶活性,还可为生物提供栖息地^[45]。土壤微生物数量增加有利于提高土壤有机质等养分含量^[46],如桑树篱能够显著提高旱坡地紫色土土壤磷脂脂肪酸含量,改善微生物群落结构^[47]。新银合欢植物篱能明显提高紫色土土壤中细菌、放线菌、真菌的数量,增强土壤微生物活性^[46]。

香根草篱能显著提高 10°红壤坡地坡面 0—20 cm 表层土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性^[48],与稻草覆盖结合可增加旱季土壤纤维素酶活性^[49]。

此外,植物篱还可增加农田土壤动物遗传多样性。紫穗槐、香根草、苜蓿、蓼草植物篱能增加篱带间蜘蛛的活动密度和多样性指数,且草本植物篱可能比灌木植物篱更利于保护蜘蛛的多样性^[50]。但当植物篱带宽度较窄时,这类保护作用并不明显,如四川省资阳市试验表明,当植物篱(香根草、紫穗槐、蓼草和苜蓿)带宽为 0.5 m 时,对地表甲虫的活动密度和科丰富度无明显影响^[51]。目前关于植物篱对土壤动物多样性方面的研究仍相对较少。

3 西南地区植物篱水土保持效益对比

3.1 不同植物篱种植模式的水保效益

植物篱种植模式的首要问题是物种的选择^[13]。植物篱物种要适应性好、易于种植,并具有一定经济价值或多样化的用途。四川常见植物篱模式有香根草^[28,32,42,52-53]、新银合欢^[32,42,54-57]、紫花苜蓿^[37,58]、紫穗槐^[52-53]、黄花菜^[37]、蓼草^[58]等;重庆有香根草^[59]、紫花苜蓿^[59]、黄花菜^[60]、皇竹草^[61-64]、黄荆^[65]、紫背天葵^[65]等;云南有香根草^[66]、花椒+黄花菜^[67]、黑麦草+白三叶^[68]、黑麦草+紫花苜蓿^[68]、金雀花+杨梅+黑麦草^[69]等;贵州有紫花苜蓿^[13,70]、香根草^[13]、紫穗槐^[13]、梨树+皇竹草^[71]、黄荆^[29]、新银合欢^[29]、马桑^[29]、黄花菜^[13]、梨树+黄花菜^[71]、金荞麦+桃树^[72]、白灰毛豆与多变小冠花^[73]。

四川省遂宁市紫色土坡耕地玉米间作香根草、新银合欢等植物篱,香根草须根发达,单位面积上须根含量较多,故对土壤渗透性的改良效果较新银合欢好,土壤渗透性表现为香根草植物篱+玉米>新银合欢植物篱+玉米>玉米>裸地^[74]。重庆市万州区花生—小麦—大豆间套轮作时,“皇竹草—农作物”模式下土壤氮磷钾等养分含量均高于对照(农作物顺坡轮作),有机质增加 10.39%,土壤侵蚀量减少 96.74%,减少地表径流量 75.82%,坡度减小 3°^[62];贵州省平坝县牧草+果树(金荞麦+桃树)等模式减少土壤流失量高达 92.06%^[72];贵州省罗甸县红壤和黄红壤坡耕地玉米间作紫花苜蓿可增加 0—20 cm 耕层土壤中的根量,增强土壤渗透能力,可减少地表径流 39.3%,减少土壤侵蚀 59.3%^[70]。

3.2 不同坡度下植物篱的水保效益

不同坡度下植物篱的水土保持效益存在明显差异(表 2)。在小于 25°的坡耕地上采用植物篱措施能有效增加地面覆盖、改善土壤质地、减缓坡度、缩短坡

长、降低径流速度,取得很好的水土保持效果^[75-76],在坡度为 13°~25°的坡耕地上,植物篱保土效益大都在 90%以上^[76],并且 15°~25°左右的坡耕地上更适宜采用植物篱措施^[77]。在西南紫色土丘陵区 15°以上坡耕地实施灌木类植物篱技术能取得较好的水土保持效益^[78]。大于 25°植物篱仍有较好的水土保持效果,但陡坡耕地更宜退耕还林。

从具体指标来看,四川省遂宁市水土保持试验站研究发现新银合欢、香根草植物篱在 15°紫色土坡耕地的侵蚀量大于 10°,坡度对径流泥沙的影响显著高于植物篱对径流泥沙的影响,水土保持效应约 2 年时间开始显现,土壤细颗粒明显富集在坡脚、坡腰,但坡度对氮、钾的富集影响不明显。随着定植年限增长,植物篱的减流减沙效益会出现稳定值,同坡度时,香根草植物篱对径流泥沙的拦截效应优于新银合欢^[28,32]。在四川省资阳市的研究表明,20°紫色土坡地紫穗槐植物篱模式的水保效益优于香根草,13°坡地紫花苜蓿植物篱模式的水保效益优于蓼草^[78]。重庆市忠县紫色土坡耕地在坡度 10°时,皇竹草植物篱带间距适宜布设在 6 m 以内,水土保持效果显著^[63]。贵州白灰毛豆等灌木在坡度 21°时,植物篱可形成梯坎 17.5 cm/a,坡度年均减小 1°左右^[73]。贵州黄荆等乔木在坡度 22°~27°之间可形成土坎(7~27) cm/a,坡度减小(1°~2°)/a^[29]。

3.3 不同植物篱模式的经济效益及施肥的影响

植物篱产生的经济效益主要体现在植物篱和农作物的经济产量上^[10]。对四川省和重庆市的统计表明,推广经济植物篱面积 14.57 万 hm²,社会纯收益增加 58 793.46 万元,农民收入年均增收 4 650 元/hm²^[9]。在重庆丘陵区紫色土苜蓿+青蒿的总收入达到 12 750 元/hm²,相对玉米/红苕传统种植模式经济收入增长了 30.8%^[79]。在贵州山区红壤和黄红壤玉米间作紫花苜蓿,玉米籽粒、秸秆产量分别增加 708,330 kg/hm²,紫花苜蓿干草产量为 13 664 kg/hm²,复合产量达 19 405 kg/hm²^[70]。

此外,坡耕地采用植物篱技术并配合平衡施肥,可获得更高的经济效益。四川省宁南县的研究表明,相同植物篱(新银合欢、山毛豆)+农作物(玉米、花生等)施磷肥比不施磷肥效果好,双行新银合欢+农作物施磷肥的经济效益比未施磷肥提高 20.2%^[10]。贵州省罗甸县的试验表明,经济植物篱(黄花菜,李树+金荞麦)配合平衡施肥,可明显防治坡地的水土流失,黄花菜处理使玉米增产 52.03%,收获黄花菜 2 685 kg/hm²,种植 5 年李树产量为 5 625 kg/hm²,同时收获金荞麦 8 190 kg/hm²,经济植物篱处理的纯收入较农民习惯增加 8 546~8 628 元/hm²,增长

263.28%~265.70%，黄花菜+平衡施肥>金荞麦+李树+平衡施肥^[80]。

表 2 不同坡度下植物篱水土保持效益代表性研究结果

地区	坡度/(°)	植物篱种类	种植年限/a	水土保持效果	来源
四川省遂宁市	10,15	香根草、新银合欢	3	坡度为 10°小区土壤机械组成的影响作用大于 15°小区的。	[28,55-57]
四川省宁南县	25	新银合欢、山毛豆等	3~10	土壤有机质、全氮分别增加 20%~31%,70%~127%,土壤侵蚀量减少 98%以上。	[54]
四川省资阳市	13,20	香根草、紫穗槐、紫花苜蓿、菰草	8~10	泥沙年均减少 20.7~30.35 t/hm ² ;草本植物比木本植物拦截径流效果更好。	[52-53,58]
重庆市江津区	20	黄荆、紫背天葵	5~7	植物篱带内土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾平均质量分数比带间分别提高 59.1%,83.5%,56.2%,83.3%,149.6%,14.0%,153.1%,土壤沙粒减少 9.4%,黏粒增加 21.6%。	[43,65]
重庆市忠县	10	皇竹草+柚树	1	带间距 6 m 内,植物篱对改善坡面土壤分形特征、降低坡面土壤可蚀性、控制农业面源污染的作用最显著。	[63]
重庆市万州区	25	皇竹草	6	带间距 6 m,植物篱小区的土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾平均比对照高 26.52%,34.89%,19.36%,18.26%,11.81%,3.48%,10.55%;土壤侵蚀量平均减少 99.49%。	[64]
云南省昆明市富民县	14.6	花椒、黄花菜	3	土壤泥沙减少 85.8%~94.4%,减少氮损失 84.76%~95.78%。	[67]
贵州省罗甸县	21	白灰毛豆与多变小冠花	8	每年可减少地表径流 345.3 m ³ /hm ² ,减少土壤流失 21.0 t/hm ² ;年均形成 17.5 cm 梯坎、减缓坡度 1.1°。	[73]
贵州省毕节市	22~27	黄荆、新银合欢、马桑	3	年均形成土坎 7~27 cm,减缓 1°~2°。	[29]

4 总结和展望

植物篱水土保持的机理主要体现在对径流、泥沙的机械阻挡,减缓坡度、缩短坡长以改变微地形,茎叶还田进一步增加土壤养分,同时提高土壤酶及微生物活性以及维持和保护生物多样性,从而提高作物产量,增加“植物篱+作物”系统的综合效益。西南丘陵山区植物篱研究以草本类的香根草、黄花菜以及乔木类的新银合欢等居多,其中黄花菜多与果树配合。西南地区植物篱在不同坡度、不同植物篱种植模式下的水土保持效益存在较大差异,其中,减少径流量多介于 17.2%~75.82%之间,减少泥沙量 85.8%~94.4%,经济植物篱配合平衡施肥年均增加经济效益可达 4 650~8 628 元/hm²。

目前植物篱的水土保持效益研究中,涉及植物篱对土壤微生物、土壤动物、土壤酶等土壤生物学特性方面的研究相对较少。对植物篱带间距^[10]以及在较短距离坡面种植植物篱的宽度阈值^[81]方面也缺少深入分析。此外,还需重视植物篱根系和农作物对水、肥、光等的竞争问题,如通过平衡施肥、缓解植物篱与作物对养分的地下竞争^[82]、修剪树冠以及合理的植物篱空间配置以减少其与农作物之间资源的竞争^[59]。在应用中应根据不同区域的环境条件,调整

篱笆植物种类的组成、植物带的结构及管理技术等,以充分发挥植物篱+作物系统的综合效益。

参考文献:

[1] 李智广. 中国水土流失现状与动态变化[J]. 中国水利, 2009(7):8-11.

[2] 何丙辉,郭甜,姚军,等. 紫色土坡耕地不同施肥水平下泥沙中氮、磷流失特征[J]. 西南大学学报(自然科学版),2012,34(7):1-8.

[3] Wiersum K F. Farmer adoption of contour hedgerow intercropping, a case study from east Indonesia[J]. Agroforestry Systems,1994,27(2):163-182.

[4] Kinama J M, Stigter C J, Ong C K, et al. Contour hedgerows and grass strips in erosion and runoff control on sloping land in semi-arid Kenya[J]. Arid Land Research and Management,2007,21(1):1-19.

[5] Morandin L A, Long R F, Kremen C. Pest control and pollination cost-benefit analysis of hedgerow restoration in a simplified agricultural landscape[J]. Journal of Economic Entomology,2016,109(3):1020-1027.

[6] 王姣雯. 植物篱技术及其生态效益研究进展[J]. 亚热带水土保持,2015,27(1):42-45.

[7] 刘子壮,高照良,杜峰,等. 黄土高原高速公路护坡植物根系分布及力学特性研究[J]. 水土保持学报,2014,28(4):66-71.

- [8] 陈小华,李小平,张利权.河道生态护坡技术的水土保持效益研究[J].水土保持学报,2007,21(2):32-35.
- [9] 朱钟麟,陈一兵.经济植物篱主要模式及其生态经济效益研究[J].西南农业学报,2005,18(6):715-718.
- [10] 祝其丽,孙辉,何道文,等.植物篱种植模式综合效益研究[J].四川环境,2007,26(3):41-45,54.
- [11] 田潇,周运超,蔡先立,等.坡耕地不同物种植物篱对面源污染物的拦截效率及影响因素[J].农业环境科学学报,2015,34(3):494-500.
- [12] 牛红玉,赵欣,吴丽丽,等.植物篱技术在面源污染治理中的应用[J].现代农业科技,2011(6):283-284.
- [13] 李裕荣,尹迪信,韦小平,等.贵州植物篱梯化项目区农户对水保植物的参与式评价[J].贵州农业科学,2007,35(5):108-110.
- [14] 史亮涛,金杰,张明忠,等.云南干热河谷旱坡地南洋樱植物篱水土保持效益研究[J].草原与草坪,2010,30(4):76-80.
- [15] 陈蝶,卫伟.植物篱的生态效益研究进展[J].应用生态学报,2016,27(2):652-662.
- [16] 中国科学院中国植物志编辑委员会.《中国植物志》[M].第 10 卷第 2 分册.北京:科学出版社,1997:132-134.
- [17] 中国科学院中国植物志编辑委员会.《中国植物志》[M].第 42 卷第 2 分册.北京:科学出版社,1998:323-324.
- [18] 中国科学院中国植物志编辑委员会.《中国植物志》[M].第 14 卷.北京:科学出版社,1980:54-55.
- [19] 朱钟麟,卿明福,刘定辉,等.蓑草根特征及蓑草经济植物埂的水土保持功能[J].土壤学报,2006,43(1):164-167.
- [20] 中国科学院中国植物志编辑委员会.《中国植物志》[M].第 23 卷第 1 分册.北京:科学出版社,1998:7-9.
- [21] 董家田,姜卫兵,魏家星,等.金银花的生态特性及其在园林绿化中的应用[J].江苏农业科学,2012,40(8):189-191.
- [22] 中国科学院中国植物志编辑委员会.《中国植物志》[M].第 41 卷.北京:科学出版社,1995:346-347.
- [23] 余超波.森林蔬菜:香椿[J].植物杂志,1998,43(1):7.
- [24] 中国科学院中国植物志编辑委员会.《中国植物志》[M].第 65 卷第 1 分册.北京:科学出版社,1982:141-142.
- [25] 杨树良,董淑玉.新银合欢[J].中国水土保持,1991(8):46-47.
- [26] 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.
- [27] 黎建强.三峡库区植物篱生态效益分析与评价[D].北京:北京林业大学,2011.
- [28] 湛芸,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.
- [29] 彭熙,李安定,李苇洁,等.不同植物篱模式下土壤物理变化及其减流减沙效应研究[J].土壤,2009,41(1):107-111.
- [30] 卜崇峰,蔡强国,袁再健.三峡库区等高植物篱的控蚀效益及其机制[J].中国水土保持科学,2006,4(4):14-18.
- [31] Lin C, Tu S, Huang J, et al. The effect of plant hedgerows on the spatial distribution of soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple-soil area of China[J]. Soil and Tillage Research,2009,105(2):307-312.
- [32] 湛芸,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.
- [33] 程冬兵,蔡崇法.等高绿篱技术保水抗旱效益研究[J].长江流域资源与环境,2008,17(5):793-797.
- [34] 严冬春,王安邦,史忠林,等.川中紫色丘陵坡耕地细沟发生临界坡长及其控制探讨[J].水土保持研究,2010,17(6):1-4.
- [35] Li J, Zhang H, Chen Q, et al. An analysis of soil fractal dimension in a sloping hedgerow agroforestry system in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Agroforestry Systems,2015,89(6):983-990.
- [36] 夏立忠,马力,杨林章,等.植物篱和浅垄作对三峡库区坡耕地氮磷流失的影响[J].农业工程学报,2012,28(14):104-111.
- [37] Wang T, Zhu B, Xia L. Effects of contour hedgerow intercropping on nutrient losses from the sloping farmland in the Three Gorges Area, China[J]. Journal of Mountain Science,2012,9(1):105-114.
- [38] Cheng D, Zhang P, Wang Y, et al. Changes of soil physical properties in contour hedgerow systems on steep lands[J]. Journal of Food Agriculture and Environment,2011,9(2):486-489.
- [39] 吕文强,党宏忠,周泽福,等.北方带状植物篱土壤水物理性质分异特征[J].水土保持学报,2015,29(3):86-91.
- [40] 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.
- [41] 王幸,张洪江,程金花,等.三峡库区坡耕地植物篱土壤改良作用研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(5):59-64.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 廖晓勇,罗承德,陈治谏,等.三峡库区植物篱技术对坡耕地土壤肥力的影响[J].水土保持通报,2006,26(6):1-3.
- [45] Lecq S, Loisel A, Brischoux F, et al. Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows[J]. Ecological Indicators,2017,72(1):615-626.
- [46] 郭甜,何丙辉,蒋先军,等.紫色土区植物篱对坡面土壤微生物特性的影响[J].水土保持学报,2011,25(5):94-98.
- [47] 樊芳玲,谢德体,魏朝富,等.坡耕地—桑树系统土壤微生物群落结构的 PLFA 分析[J].生态学报,2016,36(12):3812-3823.
- [48] 武琳,黄欠如,叶川,等.香根草篱对红壤坡耕地坡面土

- 壤酶活性的影响[J]. 土壤, 2013, 45(4): 673-677.
- [49] 黄尚书, 成艳红, 钟义军, 等. 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 468-476.
- [50] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 等. 不同植物篱类型对农田地面蜘蛛种群的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1264-1273.
- [51] 吴玉红. 四川紫色土丘陵区不同植物篱物种对农田地表甲虫群落结构的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(1): 92-100.
- [52] 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.
- [53] 王玉川, 陈强, 林超文, 等. 不同植物篱对石灰性紫色土坡耕地土壤微生物学特性影响研究[J]. 土壤, 2012, 44(1): 73-77.
- [54] 吴杨, 唐亚, 许宇慧, 等. 植物篱模式下小流域退耕还草生态农业可持续发展模式研究[J]. 草业科学, 2009, 26(4): 59-63.
- [55] 马云, 何丙辉, 何建林, 等. 植物篱对紫色土区坡地不同土层土壤物理性质的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 60-64.
- [56] 黄巍, 何丙辉, 马云, 等. 植物篱对紫色土区坡地土壤可蚀性变化影响[J]. 亚热带水土保持, 2012, 24(1): 7-12.
- [57] 郭甜, 何丙辉, 蒋先军, 等. 新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用[J]. 生态学报, 2012, 32(1): 190-197.
- [58] 林超文, 庞良玉, 陈一兵, 等. 牧草植物篱对紫色土坡耕地水土流失及土壤肥力空间分布的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(4): 1630-1635.
- [59] 湛芸, 何丙辉, 练彩霞, 等. 紫色土区3种草本植物根系特征及改土培肥效应[J]. 草业学报, 2015, 24(10): 99-107.
- [60] 黄茹, 黄林, 何丙辉, 等. 三峡库区坡地林草植被阻止降雨径流侵蚀[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 70-76.
- [61] 廖晓勇, 罗承德, 陈治谏, 等. 三峡库区坡地果园间植草篱的水土保持效应[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 152-156.
- [62] 陈治谏, 廖晓勇, 刘邵权. 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.
- [63] 马云, 何丙辉, 何建林, 等. 三峡库区皇竹草植物篱对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 79-82.
- [64] 王海明, 陈治谏, 廖晓勇, 等. 三峡库区坡耕地植物篱对土壤特性的影响研究[J]. 中国水土保持, 2010(10): 21-23.
- [65] 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.
- [66] 王震洪, 吴学灿, 李英南. 滇池流域荒台地植被恢复工程控制面源污染生态机理[J]. 环境科学, 2006, 27(1): 37-42.
- [67] 郭云周, 刘建香, 贾秋鸿, 等. 不同农艺措施组合对云南红壤坡耕地氮素平衡和流失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 723-728.
- [68] 史静, 卢湛, 张乃明. 混播草带控制水源区坡地土壤氮、磷流失效应[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 151-156.
- [69] 米艳华, 潘艳华, 沙凌杰, 等. 云南红壤坡耕地的水土流失及其综合治理[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 17-21.
- [70] 朱青, 陈正刚, 李剑, 等. 贵州坡耕地三种种植模式的水土保持效果对比研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 21-25.
- [71] 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.
- [72] 唐华彬, 尹迪信, 罗红军, 等. 经济植物篱模式在坡耕地上的试验示范研究[J]. 中国水土保持, 2006(1): 17-19.
- [73] 朱青, 王兆骞, 尹迪信. 贵州坡耕地水土保持措施效益研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 219-229.
- [74] 李建兴, 何丙辉, 梅雪梅, 等. 紫色土区坡耕地不同种植模式对土壤渗透性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 725-731.
- [75] 和继军, 蔡强国, 王学强. 北方土石山区坡耕地水土保持措施的空间有效配置[J]. 地理研究, 2010, 29(6): 1017-1026.
- [76] 刘松波, 庄春兰, 孟琳琳. 坡度对坡面侵蚀产沙响应的研究[J]. 中国水土保持, 2009(5): 44-46.
- [77] 李秋艳, 蔡强国, 方海燕, 等. 长江上游紫色土地区不同坡度坡耕地水土保持措施的适宜性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2157-2163.
- [78] 蒲玉琳. 植物篱—农作模式控制坡耕地氮磷流失效应及综合生态效益评价[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [79] 徐创军, 杨立中, 唐家良, 等. 紫色土坡地不同种植模式生态经济效益综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 196-199.
- [80] 陈正刚, 朱青, 王文华, 等. 南方红黄壤区经济植物篱配合平衡施肥的水土保持效应研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 248-251.
- [81] 李海强, 郭成久, 李勇, 等. 植物篱对坡面土壤养分流失的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 42-48.
- [82] Guo Z L, Zhong C, Cai C F, et al. Nitrogen competition in contour hedgerow systems in subtropical China [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2008, 81(1): 71-83.