

坡地植物篱技术的效益及其评价研究综述^①

蒲玉琳^{1,2,3}, 谢德体^{1,3*}, 丁恩俊^{1,3}

(1 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2 四川农业大学资源环境学院, 成都 611130; 3 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘要: 植物篱技术作为水土保持与农业面源污染的源头控制措施, 已被广泛地研究应用于世界各国。在介绍植物篱技术概念、分类的基础上, 综述了植物篱技术的效益及其评价的国内外研究现状。植物篱的生态效益集中体现在保持水土, 改善微地貌, 提高土地生产力与控制农业面源污染上。植物篱的效益评价存在评价内容与指标片面, 评价结果可比性差等不足之处。最后, 就植物篱技术效益及评价研究的相关问题提出展望。

关键词: 植物篱技术; 生态效益; 经济效益; 社会效益; 景观效益; 效益评价

中图分类号: X5

植物篱(又称等高植物篱、活篱笆、绿篱、植物篱间作)兴起于平原地区的带状耕作系统^[1], 正式起源于20世纪50年代美国的等高草篱, 常作为一种有效的水土保持措施。国际上有国际复合农林业研究中心、澳大利亚国际农业研究中心、国际山地综合发展中心、国际热带农业研究所等机构从事此研究。20世纪90年代初期, 植物篱也作为坡耕地的综合治理措施在我国兴起, 其主要研究机构有中科院生物所、山地所、地理所、四川省农科院等。植物篱技术已在我国西南地区和黄土高原地区成功推广应用近百万公顷^[2], 并取得良好的保持水土效益。植物篱技术在有效地减流减沙, 保持坡地水土的同时, 还能显著地减少农业面源污染物农药中的有机污染物、肥料与畜禽粪尿、养殖废水中营养元素的流失, 从而减轻农业面源污染对水体的污染。因此, 植物篱技术还是一种有效的农业面源污染源头控制技术。

1 植物篱的概念与类型

植物篱概念总结起来一般有两类, 一是在坡地/农耕地沿等高线每隔一定距离种植速生、萌生力强的多年生灌木、灌化乔木, 或与草本植物混种一行或多行的篱植物, 而在植物篱之间的种植带上种植农作物, 通过对植物篱周期性刈割避免对相邻农作物遮光的一种特殊的复合农林经营模式; 一是被张宇清等^[3]定义

为地埂篱(又叫梯田地埂植物篱^[4], 或梯田生物埂^[5], 地埂林, 埂坎林), 即“为防治水土流失, 改善农田生态环境, 提高单位土地生物生产力和经济生产力, 增加农林复合经营系统的稳定性, 而将适宜的乔木、灌木或草本植物配置在梯田埂坎上形成的一种复合农林生产类型”。地埂篱的生态经济功能类似于植物篱, 只是在植物种的选择、配置方法和配置目的上有一定的区别, 最大的差异在栽植的坡地部位不同, 前者沿梯田的边缘地带种植小乔木、灌木或草本植物, 植物根系的穿插和固结作用可提高梯坎稳定性, 防止坍塌; 后者则是在整个坡地范围内, 将植物篱与农作物进行间作, 以减少坡面径流。

植物篱据不同标准, 其类型多样。按种植坡地部位差异有(等高)植物篱与地埂篱。按作用或功能差异, 分为(等高)固氮型植物篱、牧草型植物篱、水保型植物篱、经济型植物篱^[6], 其中经济型植物篱由朱钟麟等^[8]于2005年正式提出, 并将其定义为“在土埂田坎上、坡耕地坡面上、或退耕还林(草)地上, 横坡带状种植的一种或两种多年生、有一定经济效益的草、灌或木本植物, 能有效控制坡耕地水、土和养分流失”的农-林(草、灌)复合系统。按篱植物种类的不同, 分为灌木篱(由灌木或耐修剪的乔木树种组成)、草篱(由多年生草本植物组成)、草灌混合篱(由一行灌木篱和数行草篱组成)^[5]。按种植植物篱的岩

^①基金项目: 国家“十二五”水专项项目(2012ZX07104), 重庆市工程技术研究中心建设项目(CSTC, 2010CB7008)和西南大学生态学重点学科“211工程”项目资助。

* 通讯作者(xdt@swu.edu.cn)

作者简介: 蒲玉琳(1976—), 女, 四川西充人, 讲师, 博士研究生, 主要从事土壤与农业环境研究。E-mail: pyulin@sicau.edu.cn

性差异可分为石坎梯田式、半坡式、土埂式、纯坡式植物篱^[7]。按构成植物篱物种的多寡可分为单一型植物篱与复合型植物篱。按植物篱生长环境不同分为农耕地植物篱、路埂植物篱、林地植物篱。

2 坡地植物篱技术的效益

2.1 生态效益

2.1.1 保持水土的效应 坡耕地在布设植物篱后,由于篱植物的机械阻滞作用^[9](截断连续坡面)、覆盖作用(减少雨滴的击溅动能)、篱积带的黏滞作用^[10]与回水带^[11]效应能削弱水流的动能,减低坡面水流的流速与冲刷力,降低径流的泥沙携带能力,从而有效地减少水土流失,因此,植物篱技术有显著的保持水土效应。

国外有关植物篱控制水土流失效应的研究报道主要集中在菲律宾、印度、肯尼亚等水热条件较好的非洲和东南亚的热带、亚热带地区与一些半干旱地带。肯尼亚半干旱地区的 14° 旱坡地上等高固氮植物篱下的径流与侵蚀量分别为 13 mm 和 3.23 t/hm²,分别为对照的 41% 和 17%;若植物篱配合其修剪的枝叶覆盖的减流减沙效果更好,其径流与侵蚀量仅分别为对照的 13% 和 2%^[12]。植物篱配合秸秆覆盖,或同时配合秸秆覆盖与免耕也能得到比单纯植物篱更好的保水保土效应,如在菲律宾,植物篱、植物篱+秸秆覆盖、植物篱+秸秆覆盖+免耕 3 种模式下的坡耕地径流量分别为传统耕作的 38%~62%、22%~40%、9%~55%;侵蚀量分别是 4%~32%、0.4%~3%、0.1%~3%^[13]。等高草篱同样有较好的水土保持效果,如黍科草带与紫狼尾草的显著减流减沙效应^[14-15]。

国内关于植物篱保持水土效应的研究报道集中在西南地区、三峡库区、黄土高原地带。在西南丘陵地区,植物篱技术的示范及推广模式主要有金沙江干热河谷地带等高固氮植物篱和四川、贵州、云南的经济植物篱,这些模式都取得了较好的水土保持效应。如四川宁南县 18°~25° 坡耕地每隔 4 m 密植双行新银合欢和山毛豆等高植物篱,4~7 年后与对照相比地表径流降低的幅度为 26%~70%,土壤侵蚀降低的幅度为 76.1%~99%^[16-19],并且随植物篱栽植年份的增加,其减流减沙效应有增加趋势^[16]。四川资阳市雁江区花椒沟小支流建植 8 年的紫花苜蓿、蓼草、香根草和紫穗槐植物篱的减流减沙效应也非常显著(表 1)^[20-21],年均径流深与年均泥沙量分别比对照减少 68.8%~79.1%、87%~93.3%;黄花梨+黄花菜复合经济植物篱模式下径流量、土壤侵蚀量也分别比对照减少 88.8%

和 66%^[22]。贵州、云南的黄荆、新银合欢、马桑植物篱,金荞麦+果树(桃树、花红、李树等)复合经济植物篱,植物篱配合免耕覆膜或花椒树+黄花复合经济植物篱配合平衡施肥都取得显著的水土保持效应,尤其是植物篱结合水土保持耕作措施或平衡施肥技术^[10,23-24]。

表 1 紫花苜蓿等植物篱的水土保持效应

Table 1 The conserving soil and water effects of alfalfa and other hedgerow

指标	紫花苜蓿	蓼草	香根草	紫穗槐
年均径流 (mm)	10.7	13.3	14.0	18.8
径流比对照减少 (%)	79.1	74.0	76.7	68.8
年均泥沙量 (t/hm ²)	1.6	3.1	2.2	3.65
泥沙比对照减少 (%)	93.3	87.0	93.3	88.8

在三峡库区,植物篱示范研究点有两处,一是湖北段的秭归王家桥小流域湖,二是重庆段的万州五桥河流域。据报道^[25-26]王家桥小流域坡耕地不同坡度的黄荆、马桑、新银合欢、香根草、木槿-黄花菜植物篱能显著减流减沙,保持水土。如 15° 坡地的各植物篱模式在营建 4 年后,与对照相比,篱地小区土壤侵蚀量下降 18.4%~70.0%,径流下降幅度为 17.2%~70.8%。廖晓勇等^[27]在五桥河流域研究皇竹草植物篱技术(黄竹草+花生-小麦-大豆间套轮作)的水土流失效应,也得相似的结论。在黄土高原地区,植物篱技术也能显著地控制水土流失,这些篱植物通常是选用乡土树种花椒、矮化梨枣+金银花、香椿+金银花、矮化石榴+黄花等^[28-29]。

此外,植物篱作为一种有效的水保措施在我国的成功示范研究还有红壤分布区^[30]与南水北调工程区的丹江口流域^[31],如江西余江县的枣树植物篱与花生单作模式相比,土壤流失量减少 25.3%~32%;与枣树单作相比,径流量减少 56.1%~62.6%。

2.1.2 改善微地貌的效应 植物篱减少坡地水土流失的同时,能使被侵蚀的土粒在篱带与作物带堆积,尤其是篱带,日积月累植物篱能逐渐减缓坡度,减小坡长,提高篱坎,直至形成生物梯田,即植物篱能显著地改善微地貌。如四川宁南干旱河谷地带的新银合欢和山毛豆等高植物篱对减小作物带坡度均有较好效果:坛罐窑试验点布设植物篱坡耕地的坡度比对照减少 6°12'~11°12',马桑坪的减少 10°~12°10',且新银合欢植物篱生物梯田效应最显著。川中丘陵区花椒沟流域的蓼草、香根草和紫穗槐植物篱分别使其坡耕地的坡度平均减缓 1°25'、3°32' 和 2°49'^[20-21]。三峡库

区王家桥小流域, 25°坡地的新银合欢、黄荆和马桑 3 种等高绿篱在建植 4 年后, 土坎高度增加近 40 cm, 坡度减缓 5°左右; 10 年后, 土坎高度增加近 60 cm, 坡度减缓 20°左右, 基本形成以绿篱为地埂的水平或近水平的生物梯地格局^[32]。黄土高原的乡土树种植物篱在栽植 4 年后, 篱坎最高达到 85 cm, 坡度降低 9°~11°, 坡长缩短 50~160 cm^[29]。

2.1.3 提高土地生产力效应 植物篱模式下被拦截的水土(土粒多为中、细粉粒或黏粒)能在耕作措施下在坡地的纵横方向(土壤剖面与坡面)上重新分配, 若把刈割篱植物枝叶通过覆盖方式归还至植物篱-农作系统内, 则能改善土壤结构性、孔性等, 从而提高土地生产力, 具体效应集中表现为:

(1) 改善土壤物理性质。由于植物篱模式下土壤结构的改善, 饱和入渗率的增加^[33], 系列土壤物理性质由此被改善。尼日利亚西南部热带半湿润地区, 20 年的紫檀树、柳树植物篱小区的土壤体积质量(容重) 1.33 g/cm³, 为对照(1.52 g/cm³) 的 87.5%, 抗阻系数也呈相似趋势; 紫檀树小区内土壤孔度为 47%, 比对照(38%) 增加 28.9%^[34]。菲律宾柳树、柳树+牧草、柳树+饲草 3 种植物篱系统的表层(5~10 cm) 土壤体积质量较对照显著下降, 其降低比例为对照的 1.7%~3.7%^[35]。我国三峡库区五桥河流域, 饲草玉米与皇竹草植物篱-农作模式、果草植物篱模式在营建 2~5 年后都能显著改善土壤体积质量、含水量等物理性质: 营建 2 年的皇竹草-农作物模式与对照相比, 篱带上沿的土层年均增厚 4.6 cm, 土壤含水量增加 65.31%, 毛管持水量增加 19.28%, 饱和水含量增加 22.48%, 现有土层贮水量增加 188.4 t/hm²; 营建 4 年的饲草玉米生物篱小区土壤含水量比对照小区增加 3.47%, 土壤饱和水含量增加 4.13%, 现有土层贮水量增加 78.94 t/hm²^[36]; 营建 5 年的果草植物篱篱带、篱间土壤体积质量分别比对照减小 13.46%、10.98%, 孔度分别增大 11.28%、12.75%; 土壤颗粒组成中<0.002 mm 的粉黏粒含量比对照提高 13.10%, 0.002~0.02 mm 的土壤颗粒含量比对照提高 10.56%, 0.02~2.0 mm 土壤颗粒含量却比对照减少^[37]。在我国, 相似报道还有三峡库区王家桥流域、西南地区的四川、云南、贵州等地的新银合欢、香根草等植物篱模式^[10,20-21,38-39]。

(2) 提高土壤养分含量与储量。据国内外研究报道植物篱也能提高土壤有机质、氮磷钾等养分的含量, 加之土层厚度的增加, 土壤养分储量也会随着增加。如法国西部植物篱网络景观下整个系统土壤有机碳储量增加 13%~38%^[40]。我国四川宁南县等高固氮植物

篱模式, 与植物篱建成之前相比, 耕层土壤有机质增加 20%~31%, 全氮增加 70%~127%^[41-42]; 与对照相比, 耕层土壤有机质、全氮分别高 1.8~2.3 倍和 1.1~1.7 倍^[43]; 20~40 cm 土层分别高 1.2~2.1 倍和 0.5~1.7 倍; 40~60 cm 土层分别高 1~3.5 倍, 0.2~1.2 倍; 60 cm 以下土层分别高 0.3~1.6 倍, 0.2~0.5 倍^[44]。五桥河流域皇竹草植物篱土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾分别比对照高 10.39%、15.25%、12.70%、14.38%、13.71%、21.50%、12.90%^[45]。植物篱模式下即便未施用有机肥, 植物篱也能明显减缓某些土壤养分的降低速度^[20-21]。植物篱配合合理的经营管理技术措施, 如覆盖耕作措施, 水肥管理措施等, 坡地植物篱系统的土壤养分会逐年提高, 如湖北秭归县水田坝乡的新银合欢植物篱, 营建 3 年后土壤有机质、碱解氮、全磷、速效磷分别增加 0.6 g/kg、55.5 mg/kg、0.02 g/kg、149.1 mg/kg^[25]; 营建 5 年后土壤有机质、碱解氮、全磷、速效钾分别增加 7.1 g/kg、73 mg/kg、0.53 g/kg、242.9 mg/kg^[46]。此外, 据黄丽等^[47]报道新银合欢、马桑、黄荆还能促进土壤有机质的腐殖质化, 显著地增加非腐殖物质向腐殖酸的转化量与腐殖质及其中的富里酸含量, 提高腐殖质的方构化程度, 从而减缓水土流失造成的养分流失, 增加土壤有机质含量。

(3) 优化坡地土壤养分的空间分布状况。由于坡地植物篱技术能阻断有机质、氮磷等养分在坡面的移动, 因此, 植物篱技术配合耕作措施能改善坡地土壤养分自坡顶向坡脚过度富集的现象, 即优化土壤养分的空间分布状况。现有国内外文献对此的研究报道极少, 比较典型的研究如 Lin 等^[20-21]报道香根草、紫穗槐、紫花苜蓿、蓼草植物篱地土壤全氮、磷在试验区的空间分布状况优于对照。

2.1.4 控制农业面源污染效应 植物篱作为一种源头控制农业面源污染的坡地复合农林技术, 同样可以通过篱植物的拦截、吸收作用, 及由于植物篱改善了土壤理化性质, 增加土壤对污染物的吸附、溶解、降解作用, 从而减少化肥、农药、畜禽粪尿等引起的农业面源污染, 因此, 植物篱技术还具有控制农业面源污染的效应。但综合国内外的相关研究报道, 当前将植物篱坡地农业技术作为控制农业面源污染的专题研究相当少, 大多是在植物篱的水土保持效益中有所涉及。如 Lazzaro 等^[48]报道意大利北部的单行植物篱能有效地截留喷洒农药, 截留率在 73% 以上。我国四川宁南的新银合欢与山毛豆等高固氮植物篱与对照相比, 土壤有机质等养分流失极少, 基本可以忽略: 坛

罐窑点固氮植物篱土壤有机质、全氮、有效磷和有效钾损失量分别仅为对照的1.7%、1.7%、1.4%和1.7%，马桑坪点的为0.36%~1.2%、0.6%~1.2%、0.7%~1.1%和0.6%~1.2%^[18]。据测算，该系统能减少坡耕地表土有机质、全氮的年均流失量分别为390、17 kg/hm²以上^[16]。川中丘陵区经济植物篱（黄花梨+黄花菜）土壤全氮、全磷、有效钾流失总量分别为1955~24433、1263~1265、501~589 g/hm²，分别较对照流失9%~25.6%、13%、5.8%~10.8%^[22]。三峡库区王家桥流域的香根草植物篱，五桥河流域的皇竹草植物篱也能显著地控制农业面源污染物氮磷的流失^[13, 45, 49]。

2.2 经济效益

很多研究也表明植物篱复合农林技术的农业增收效应显著，能获得较好的经济效益。如肯尼亚半干旱地区旱坡地的铁刀木等高植物篱虽然略微减少了短雨季（11月初至次年1月）的豇豆产量，但却增加了长雨季（3月中旬至5月）的豇豆产量^[12]。我国贵州罗甸县、云南富民县、四川简阳县的黄花、花椒、梨树等经济植物篱间作农作物的坡耕地均比传统种植有明显的增收效果：贵州罗甸点4年的年均增收率约为301%~400%，云南富民点的约为655%（配合平衡施肥），四川简阳点7年的年均增收率约为30%，如配合平衡施肥则约为56%^[23]。三峡库区的植物篱-果园系统内柑桔增产效应也相当显著^[26]。由此表明坡地植物篱技术的经济效益也非常显著。

此外，植物篱技术的社会效益和景观效益也显著，如提高劳动利用率、农民可接受度、篱结构和篱系统周围环境的舒适度与美化度^[50]等，但目前相关研究报道极少。

3 坡地植物篱技术的效益评价

近年来，对植物篱效益尤其是综合效益的评价也受到国内外学者的重视。目前针对植物篱效益做专题评价的典型研究报道，国外如Pattanayak^[51]设计和应用生物经济框架理论，选取经济收益、土壤质量（含土壤肥力、质地、颜色和抗蚀性质）与地形等方面的指标，评价了菲律宾等高植物篱的生态-经济效益（最优农业利润与土壤质量）；Sudhishri等^[52]引入水土保持效益、饲料价值、经济价值、维护成本4种因素，评价了香根草、甜根子草、金雀草植物篱的生态-经济效益。国内如邓智伟和伍世良^[53]采用本效益分析法研究了湖北秭归县王家桥流域香根草植物篱配合施肥、覆盖处理的生态-经济效益；祝其丽等^[54]采用多因素综合

评价法，王幸等^[55]利用熵权决策法分别评价了四川宁南等高固氮植物篱种植模式和三峡库区江津段常见的柑橘等6种植物篱模式的单一生态、经济、社会效益与生态-经济-社会效益。此外，李裕荣等^[56]采用基于农民评分的评价法得到贵州省乐于被农民接受的植物篱，这表明植物篱社会效益的评价还应考虑农民可接受度。

由此看来，国内外对植物篱效益评价已逐渐由单一效益转向综合效益，评价内容涉及生态、经济与社会、景观4方面，但仍存在以下两点不足，一是评价内容不全面，综合效益评价具有片面性。现有植物篱效益评价文献几乎都是侧重植物篱的生态与经济效益，较少涉及社会、景观效益，以生态-经济效益的评级结果代表其综合效益。二是评价方法和评价指标差异甚大，评价结果的可比性差。已有的相关植物篱单一效益或生态-经济-社会效益评价的研究报道，选择的生态效益与社会效益指标差异尤其大，如生态效益有的侧重保持水土效应^[52]，有的重视提高土地养分肥力效应^[54]，有的则看重改善土壤物理性质效应^[55]；对于社会效益指标无论是祝其丽等^[54]选择的粮食自给程度、薪炭自给程度，还是王幸等^[55]考虑的土地利用程度、劳动利用率，都忽略了农民可接受度、田间耕作管理便利度等指标。因此，差的植物篱效益评价结果可比性成为继植物篱与间作植物的养分竞争，差的田间耕作管理便利度之后，又一制约植物篱在山丘区大量推广应用的因素。

4 展望

植物篱技术显著的生态效益、经济效益已受到国内外许多研究者的普遍重视，且其研究报道也极为广泛，尤其是水土保持效应。同时，植物篱还具有维护农田生态系统生物多样性的效应、景观效益。对前者的研究，国外相对较多，主要是关于植物篱在维持生态系统中的鸟类、无脊椎动物（如蝴蝶、蜜蜂等）的多样性^[57-58]；国内相对较少，典型的研究是吴玉红等^[59]报道地埂植物篱能增加与保护土壤动物——蜘蛛的多样性，等高植物篱对农田害虫有一定的生物控制潜力^[60]。对后者研究，仅有国外有相关报道。植物篱的景观效益是多方面的，含视角景观、农业景观与文化景观效应等，其中农业景观效益主要是维持生物多样性，如Hannon等^[61]报道在南美洲植物篱对乡土蜜蜂有潜在的栖息价值；Schmitz等^[62]认为植物篱是文化景观的重要组成部分，对文化景观功能有潜在的贡献，在景观保护规划中为生态与历史价值提供基础。因此，今

后还应当加强对植物篱技术的维护生物多样性效应、社会效益与景观效益的研究。

当前国内外对植物篱技术效益评价研究还存在前述不足,今后的研究重点应放在评价方法的选择与评价指标体系的构建上,以便形成适于不同区域(山丘区、河岸带)、不同类型(农田植物篱、果园植物篱、生物地埂篱、河岸植物篱)植物篱的效益的评价系统(评价方法、评价指标体系),如英国广泛使用的适于海岸植物篱的植物篱评价分等系统 HCEG (hedgerow evaluation and grading system)^[63]。植物篱技术作为一种复合农林业模式,兼有生态、经济、社会和景观效益,科学有效地评价植物篱综合效益,使同等条件下的不同植物篱模式具有可比性,有助于优选植物篱模式,并促进其应用与推广。因此,如何科学合理地评价植物篱的综合效益也是值得相关学者今后去研究的课题,尤其是如何准确地选择相关指标表达其中的社会效益和景观效益。

篱植物种类及空间结构、经营管理技术等相关植物篱基础理论对植物篱技术效益有极大影响,尤其是如何据不同的坡度、土层厚度等地形因子结合气象资料,合理地设计植物篱的带间距,因植物篱技术通常需占用部分耕地,带间距过宽浪费土地,影响农业增收,过窄生态效益不显著。值得注意的是植物篱带间距的确定,还依赖于植物篱减流减沙机理的研究,而目前对此的研究大多是定性分析^[10,64-65],定量分析极少,典型的研究如 Paningbatan^[66]据实验结果得出,植物篱模式下,植被覆盖度与径流泥沙浓度之间呈指数模型关系,因此,即使植物篱研究已成多元化趋势,其相关基础理论研究仍然应继续加强。

参考文献:

- [1] Kang BT. Alley cropping: past achievements and future directions. *Agroforestry Systems*, 1993, 23(2/3): 141-156
- [2] Sun H, Tang Y, Xie JS. Contour hedgerow intercropping in the mountains of China: A review. *Agroforest. Syst.*, 2008, 73: 65-76
- [3] 张宇清, 齐实. 中国梯田生物埂研究: 现状和方向. *世界林业研究*, 2002, 15(3): 49-53
- [4] 王喜龙, 蔡强国, 王忠科, 孙国亮. 冀西北黄土丘陵沟壑区梯田地埂植物篱的固埂作用与效益分析. *自然资源学报*, 2000, 15(1): 74-79
- [5] 刘学军, 李秀彬. 等高线植物篱提高坡地持续生产力研究进展. *地理科学进展*, 1997, 16(3): 69-79
- [6] 尹迪信, 唐华彬, 罗红军, 陆裕珍, 张德平, 李崇建. 植物篱技术发展回顾和贵州省的研究进展. *水土保持研究*, 2000, 13(1): 15-16
- [7] 姚小华, 罗细芳. 坡耕地植被恢复中生态经济型植物篱应用及其展望. *江西农业大学学报*, 2005, 27(2): 294-298
- [8] 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. *西南农业学报*, 2005, 18(6): 715-718
- [9] 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
- [10] 彭熙, 李安定, 李苇洁, 卢兰. 不同植物篱模式下土壤物理变化及其减流减沙效应研究. *土壤*, 2009, 41(1): 107-111
- [11] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 张光远. 坡地等高植物篱带间距对表土养分流失影响. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(2): 23-29
- [12] Kiepe P. Cover and barrier effect of *Cassia siamea* hedgerows on soil conservation in semi-arid Kenya. *Soil Technology*, 1996, 9: 161-171
- [13] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 张光远, 丁树文, 蔡崇法. 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. *地理研究*, 2000, 19(3): 303-309
- [14] Kinama JM, Stigter CJ, Ong CK, Ng'ang'a J K, Gichuki FN. Contour hedgerows and grass strips in erosion and runoff control on sloping land in semi-arid Kenya. *Arid land research and management*, 2007, 21(1): 1-19
- [15] Angima SD, Stott DE, O'Neill MK, Ong CK, Weesies GA. Use of calliandra-Napier grass contour hedges to control erosion in central Kenya. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2002, 91(1/3): 15-23
- [16] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 何永华. 固氮植物篱防治坡耕地土壤侵蚀效果研究. *水土保持通报*. 1999, 19(6): 1-5
- [17] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 张炎周. 等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果. *水土保持通报*, 2001, 21(2): 48-51
- [18] 孙辉, 唐亚, 王春明, 何永华. 等高固氮植物篱技术——山区坡耕地保护开发利用的有效途径. *山地学报*, 2001, 19(2): 125-129
- [19] 唐亚, 谢嘉穗, 陈克明, 何永华, 孙辉. 等高固氮植物篱技术在坡耕地可持续耕作中的应用. *水土保持研究*, 2001, 8(1): 104-109
- [20] Lin CW, Tu SH, Huang JJ, Chen YB. Effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2 191-2 198
- [21] Lin CW, Tu SH, Huang JJ, Chen YB. 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. *Soil and Tillage Research*, 2009, 105(2): 307-312
- [22] 陈一兵, 林超文, 黄晶晶. 经济植物篱和增施钾肥综合效益研究. *水土保持研究*, 2006, 13(3): 47-49

- [23] 涂仕华, 陈一兵, 朱青. 经济植物篱在防治长江上游坡耕地水土流失中的作用及效果. 水土保持学报, 2005, 19(6): 1-5, 85
- [24] 唐华彬, 尹迪信, 罗红军, 张得平, 龙洪猛, 杨晓芬, 龙超云, 胡萍. 经济植物篱模式在坡耕地上的试验示范研究. 中国水土保持, 2006(1): 17-19
- [25] Bu CF, Cai QG, Ng SL, Chau KC, Ding SW. Effects of hedgerows on sediment erosion in Three Gorges Dam Area, China. *International Journal of Sediment Research*, 2008, 23(2): 119-129
- [26] 申元村. 三峡库区植物篱坡地农业技术水土保持效益研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 61-66
- [27] 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. 水土保持学报, 2003, 17(4): 125-127, 160
- [28] 张鹏. 山西南部植物篱水土保持效益试验研究. 山西水利, 2001(4): 15-16
- [29] 王青杵, 王彩琴, 杨丙益. 黄土残塬沟壑区植物篱水土保持效益研究. 中国水土保持, 2001(12): 25-27
- [30] Wei LH, Zhang B, Wang MZ. Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agricultural Water Management*, 2007, 94(1/3): 54-62
- [31] 姚桂枝, 刘章勇. 丹江口库区坡耕地不同植物篱对径流及养分流失的影响初探. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3 015-3 016, 3 047
- [32] 程冬兵, 蔡崇法. 等高绿篱技术保水抗旱效益研究. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 793-797
- [33] Kiepe P. Effect of *Cassia siamea* hedgerow barriers on soil physical properties. *Geoderma*, 1995, 66(1/2): 113-120
- [34] Oyedele DJ, Awotoye OO, Popoola SE. Soil physical and chemical properties under continuous maize cultivation as influenced by hedgerow trees species on an alfisol in South Western Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 2009, 4(8): 736-739
- [35] 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(3/4): 185-199
- [36] 廖晓勇, 罗承德, 陈义相, 田道平. 陡坡地饲草玉米生物篱的生态效益研究. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 633-638
- [37] 王海明, 陈治谏, 廖晓勇, 李贤伟, 陈义相. 三峡库区坡耕地植物篱技术对土壤特性的影响. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 692-694
- [38] 程冬兵, 李朝霞, 蔡崇法, 彭艳平. 三峡库区等高绿篱技术对土壤物理性质的影响. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 83-89
- [39] 谢庭生, 罗蕾. 紫色土丘陵侵蚀沟建植物篱自然植被恢复及水土流失特征研究. 水土保持研究, 2005, 12(5): 62-65
- [40] Walter C, Merot P, Layer B, Dutin G. The effect of hedgerows on soil organic carbon storage in hill slopes. *Soil Use and Management*, 2003, 19(3): 201-207
- [41] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 何永华. 固氮植物篱改善退化坡耕地土壤养分状况的效果. 应用与环境生物学报, 1999, 5(5): 473-477
- [42] 谢嘉穗, 唐亚, 孙辉, 陈建中. 等高固氮植物篱值得大力推广. 中国水土保持, 2003(3): 23-25
- [43] 吴杨, 唐亚, 许宇慧, 付磊. 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. 草业科学, 2009, 26(4): 59-63
- [44] 孙辉, 唐亚, 何永华, 赵其国. 高固氮植物篱模式对坡耕地土壤养分的影响. 中国农业生态学报, 2002, 6(2): 79-82
- [45] 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. 水土保持学报, 2003, 17(4): 125-127, 160
- [46] 申元村. 三峡库区植物篱坡地农业技术提高土地生产潜力的研究. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 56-59
- [47] 黄丽, 蔡崇法, 丁树文, 张光远. 几种绿篱梯田中紫色土有机质组分及其性质的研究. 华中农业大学学报, 2000, 19(6): 559-562
- [48] Lazzaro L, Otto S, Zanin G. Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 123(3): 317-327
- [49] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 张光远, 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 黄丽. 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): 71-79
- [50] Adam F, Alison B. Evaluating canalside hedgerows to determine future interventions. *Journal of Environmental Management*, 2005, 74(1): 71-78
- [51] Pattanayak S, Mercer DE. Valuing soil conservation benefits of agroforestry: Contour hedgerows in the Eastern Visayas, Philippines. *Agricultural Economics*, 1998, 18(1): 31-46
- [52] Sudhishri S, Dass A, Lenka NK. Efficacy of vegetative barriers for rehabilitation of degraded hill slopes in eastern India. *Soil & Tillage Research*, 2008, 99(1): 98-107
- [53] 邓智伟, 伍世良. 三峡库区等高植物篱之成本效益分析. 资源科学, 2004, 26(增刊): 132-136
- [54] 祝其丽, 孙辉, 何道文, 马睿, 唐学芳. 植物篱种植模式综合效益研究. 四川环境, 2007, 26(3): 41-45, 54
- [55] 王幸, 张洪江, 程金花, 黎建强, 吕文星. 三峡库区坡耕地植物篱模式效益评价研究. 中国农业生态学报, 2011, 19(3): 692-698
- [56] 李裕荣, 尹迪信, 韦小平. 贵州植物篱梯化项目区农户对水土保持植物的参与式评价. 贵州农业科学, 2007, 35(5): 108-110
- [57] Hinsley SA, Bellamy PE. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to

- birds: A review. *Journal of Environmental Management*, 2000, 60(1): 33–49
- [58] Maudsley MJ. A review of the ecology and conservation of hedgerow invertebrates in Britain. *Journal of Environmental Management*, 2000, 60(1): 65–76
- [59] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 黄晶晶, 程序. 地埂植物篱对大型土壤动物多样性的影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5 320–5 329
- [60] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 赵欣, 程序. 不同植物篱类型对农田地面蜘蛛种群的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(4): 1 264–1 273
- [61] Hannon LE, Sisk TD. Hedgerows in an agri-natural landscape: Potential habitat value for native bees. *Biological Conservation*, 2009, 142(10): 2 140–2 154
- [62] Schmitz MF, Sánchez IA, Aranzabal ID. Influence of management regimes of adjacent land uses on the woody plant richness of hedgerows in Spanish cultural landscapes. *Biological Conservation*, 2007, 135(4): 542–554
- [63] Rich TCG, Clements DK, Lewis J, Moore L. A comparison of four methods used to survey hedgerows: The Cardiff Hedgerow Survey 1998. *Journal of Environmental Management*, 2000, 60(1): 91–100
- [64] 刘定辉, 赵燮京, 曹均城, 刘敏, 王昌桃, 毛仕昌. 紫色丘陵区蓑草植物篱的减流减沙效应及其机理. *西南农业学报*, 2007, 20(3): 439–442
- [65] 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): 54–60
- [66] Paningbatan EP, Ciesiolka CA, Coughlan KJ, Rose CW. Alley cropping for managing soil erosion of hilly lands in the Philippines. *Soil Technology*, 1995, 8: 193–204

Review on Benefits and Evaluation of Hedgerow Technique in Slope Land

PU Yu-lin^{1,2,3}, XIE De-ti^{1,3}, DING En-jun^{1,3}

(1 Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2 College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 3 Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China)

Abstract: Hedgerow technique has been used as a soil and water conservation measure and source control technique of agricultural nonpoint source pollution and it has been widely applied in the world. Based on introducing the definition and types of hedgerow technique, the domestic and international research status of the hedgerow technique's ecological benefits, economic benefits, social benefits, landscape benefits and benefit evaluation were summarized. Among them, the hedgerow's ecological benefit is reflected mainly in conserving soil and water, improving microtopography, increasing land productivity and controlling agricultural non-point source pollution. The problems were disclosed in the current benefit evaluation of the hedgerow, such as incomplete evaluation content and indices, poor comparability of evaluation result. Finally, the research prospects of the related problems in the hedgerow's benefits and benefit evaluation were put forward.

Key words: Hedgerow technique, Ecological benefits, Economic benefits, Social benefits, Landscape benefits, Benefit evaluation