

# 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

孙辉<sup>1,2</sup>, 唐亚<sup>1</sup>, 王春明<sup>1</sup>, 何永华<sup>1</sup>

(1. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都, 610041; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京, 210008)

**摘要:** 固氮植物篱近年来被热带地区用作防治坡耕地的水土流失和肥力退化的有效手段。在地处亚热带金沙江干热河谷区的中科院成都生物研究所宁南持续发展实验站的研究结果表明: 与传统顺坡耕作方式相比, 利用新银合欢(*L. leucocephala*)或山毛豆(*T. candida*)在坡耕地上每隔4 m培植高密度的双行等高植物篱可使坡耕地的径流量平均减少49.6%以上, 土壤侵蚀及其产生的养分流失均减少98%以上, 土壤有机质、全氮、阳离子交换量等养分有很大程度的恢复和改善, 农作物产量得以维持和提高, 这说明等高固氮植物篱对我国亚热带坡耕地的水土保持和土壤改良同样具有十分良好的效果。

**关键词:** 坡耕地; 固氮植物篱; 水土保持; 土壤改良; 持续发展

中图分类号: S157.433

文献标识码: A

等高植物篱技术, 即在坡耕地上根据不同坡度和需要, 每隔4 m~8 m种植双行植物篱, 农作物则种植在植物篱之间的种植带中。在国际上作为热带地区坡耕地水土保持技术和刀耕火种农业的替代耕作方式受到重视<sup>[1,2]</sup>。从1991年开始, 中国科学院成都生物所在地处金沙江干热河谷区的中科院成都生物研究所宁南县山区持续发展实验站试验、研究和示范等高固氮植物篱技术, 并根据当地实际情况加以改进, 从30余个树种中筛选出速生、固氮、耐刈割、萌蘖力强、深根系的多用途固氮树种培植等高植物篱, 同时系统地对该模式在水土保持、培肥和其它用途方面进行定位研究<sup>[3~5]</sup>, 许峰等在三峡地区对坡耕地应用植物篱的带间距等也进行了研究<sup>[6]</sup>。本文就该模式在我国亚热带坡地农业持续发展, 特别是在土壤培肥、坡耕地水土保持和多种经营等方面的研究结果加以探讨。

## 1 实验区和研究方法

### 1.1 实验区概况

为研究固氮植物篱在坡耕地上水土保持和培肥土壤的效果及其配套模式和管理技术, 1991年和1994年在中国科学院成都生物研究所宁南实验站

先后建立了面积为8 hm<sup>2</sup>坛罐窑和面积为12 hm<sup>2</sup>马桑坪两个实验点。

坛罐窑实验点位于披砂镇下村, 坡向西南, 海拔1 100 m~1 203 m, 平均年降雨量为910 mm, 91%分布于5~10月的雨季, 年均蒸发量2 263 mm, 土壤为燥红土; 马桑坪实验点坡向西北, 海拔1 400 m~1 485 m, 年均降雨量915.1 mm, 5~10月的雨季降雨量占全年的87.9%以上, 土壤为褐红壤。两个实验点均在建点时开始培植新银合欢(*L. leucocephala*)和山毛豆(*T. candida*)植物篱。

### 1.2 实验材料与方法

#### 1.2.1 样方设置

1991年坛罐窑实验小区建立植物篱时表土全氮0.41 g/kg, 有机质8.00 g/kg, 实验小区坡度18°; 1994年马桑坪实验小区建立植物篱时表土全氮0.53 g/kg, 有机质11.10 g/kg, 实验小区坡度25°。两个实验点实验小区均为5 m×20 m径流小区, 各设四个处理三个重复:

CK: 顺坡耕作, 施肥;

T2: 新银合欢双行植物篱+农作物, 不施肥;

T3: 新银合欢双行植物篱+农作物, 施肥;

T4: 山毛豆双行植物篱+农作物, 施肥。

除CK外, 每个实验小区都分别培植5带双行

收稿日期: 2000-05-06; 改回日期: 2000-09-19。

基金项目: 国际山地中心(ICIMOD)ATSCFS(1991-2001)项目、四川省青年科技基金和中科院成都地奥科学基金资助。

作者简介: 孙辉(1971-), 男(汉族), 四川南充人, 主要从事农林复合经营和土壤资源持续利用方面的研究工作, 现为中国科学院南京土壤研究所与成都生物研究所联合培养博士生。发表论文4篇。Tel: 028-5229223; Email: sunhui@mail.cib.ac.cn

等高植物篱, 双行固氮植物篱的行距为40 cm, 株距为5 cm, 相邻两带植物篱的间距为4 m。实验小区之间用水泥墙隔开以免相互干扰。当固氮植物篱长到1 m左右就刈割, 高度控制在0.5 m左右, 避免与农作物发生光热竞争。刈割枝叶作为绿肥施于作物种植带。

1999年坛罐窑实验小区种植花生, 施过磷酸钙350 kg/hm<sup>2</sup>作底肥; 马桑坪实验小区种植玉米, 施尿素500 kg/hm<sup>2</sup>作底肥和追肥。

### 1.2.2 地表径流与土壤侵蚀测量方法

记录每次降雨产生的径流量, 并将径流池搅拌均匀采集水样650 cm<sup>3</sup>, 用烘干并称量滤纸过滤、风干, 带回实验室, 用烘箱105℃恒温烘干称量, 测定径流泥沙含量, 并分析其中的有机质、全氮、有效磷和有效钾。根据每次降雨的径流量及其泥沙含量, 计算坡耕地单位面积的土壤侵蚀量。

### 1.2.3 实验小区表土取样分析

每年11月初农作物收获后进行土壤取样。在每个小区用φ42 mm土钻采集0 cm~30 cm土层土壤

样品, 带回实验室分析土壤有机质、全氮、全磷、有效钾和阳离子交换量。

## 2 结果与分析

### 2.1 坡耕地等高固氮植物篱水土保持的效果

坡耕地地表径流经过等高植物篱的层层拦截, 增加了地表径流的下渗时间, 降低了地表径流的速度, 不但减少了坡耕地地表径流量, 且削弱了地表径流对表土的侵蚀, 使坡耕地水土流失得到有效控制。表1是1999年各处理地表径流和土壤侵蚀量。其中坛罐窑T2、T3和T4土壤侵蚀量低于CK的2%, 地表径流低于CK的35.7%; 马桑坪T2、T3和T4土壤侵蚀仅为CK的1%左右, 地表径流为CK的36.4%~49.6%, T4的水土保持效果没有其他植物篱处理好, 与山毛豆在海拔较高的地方生长不良有关。这与国外有关植物篱可将地表径流降低到7.8%、土壤侵蚀降低到0.8%的研究结果<sup>[7]</sup>相比, 植物篱在坡耕地水土保持方面还有很大潜力。

表1 1999年固氮植物篱在坡耕地水土保持的效果

Table 1 Effects of Hedgerows on water and soil conservation in slope cropland in 1999

实验点 Sites	水土流失 Runoff & Soil loss	CK	T2	T3	T4
坛罐窑 Tanguanyao	径流量 Runoff(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	303.4	102.6	79.4	108.2
	CV	0.01	0.03	0.32	0.07
	侵蚀 Soil loss(t/hm <sup>2</sup> )	8.157	0.138	0.141	0.138
	CV	0.11	0.00	0.08	0.04
马桑坪 Masangping	径流量 Runoff(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	568.9	221.6	207.2	282.2
	CV	0.08	0.07	0.02	0.05
	侵蚀 Soil loss (t/hm <sup>2</sup> )	11.536	0.077	0.072	0.136
	CV	0.13	0.18	0.18	0.19

植物篱的拦截作用使流失的土壤在植物篱基部淤积, 最后形成以植物篱为地埂的生物梯地。实验结果表明, 18°~25°坡耕地培植植物篱后, 经4 a~7 a正常耕作, 坡度减为5°~11°, 形成相当平缓的生物梯地, 国外的研究和应用也有类似结果<sup>[1]</sup>。据调查, 当地不同标准的坡改梯每亩投入300~3000元, 而通过等高植物篱建立梯地的优点在于投入低, 每亩投入仅在30~40元, 且维护简单。

### 2.2 等高固氮植物篱防治坡耕地土壤养分流失的效果

养分流失是坡耕地土壤养分退化的主要因素之一。各处理1999年养分流失列于表2, 其中CK有机质和全氮损失量非常大, 而坛罐窑点T2、T3和T4

有机质、全氮、有效磷和有效钾损失量分别只有CK的1.7%、1.7%、1.4%和1.7%; 马桑坪实验点T2、T3和T4有机质、全氮、有效磷和有效钾损失量分别只有CK的0.36%~1.2%、0.6%~1.2%、0.7%~1.1%和0.6%~1.2%, 基本上可以忽略, 这与Comia的研究结果有相同的趋势<sup>[8]</sup>。

### 2.3 等高固氮植物篱改善坡耕地退化土壤肥力的效果

固氮植物的枝叶富含氮素和钾素, 大量的植物篱刈割枝叶施入坡耕地可有效提高土壤肥力。表3是已筛选出的6个比较适宜于热河谷环境的植物篱树种枝叶中养分含量。从表中可以看出, 枝叶中全氮和钾含量相当高, 只有磷含量较低。由于固氮植

表 2 1999 年 CK 和植物篱不同处理下随土壤侵蚀产生的养分流失(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 2 Nutrients loss in eroded soil of treatments at different treatments in 1999 (kg/hm<sup>2</sup>)

实验点 Sites.	处理 Treatments	有机质 Organic matter	全氮 Total N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
坛罐窑 Tanguanyao	CK	391.373	25.042	0.142	3.879
	T2	6.621	0.424	0.002	0.066
	T3	6.765	0.433	0.002	0.067
	T4	6.621	0.424	0.002	0.066
马桑坪 Masangping	CK	840.974	50.528	0.444	5.014
	T2	5.613	0.337	0.003	0.033
	T3	5.249	0.315	0.003	0.031
	T4	9.914	0.596	0.005	0.059

表 3 不同植物篱树种的刈割枝叶干物质中的养分含量(g/kg)  
Table 3 Nutrient content in prunings of different hedgerow species (g/kg)

树种 Species	山蚂蝗 <i>D. rensonii</i>	山毛豆 <i>T. candida</i>	云南合欢 <i>A. yunnanensis</i>	圣诞树 <i>A. dealbata</i>	黑荆树 <i>A. maamsii</i>	新银合欢 <i>L. leucocephala</i>
氮 N	35.20	32.70	34.40	31.80	26.00	41.80
磷 P	2.43	2.33	2.91	1.96	1.60	3.00
钾 K	23.75	17.13	28.54	13.88	13.25	29.14

物篱在雨季的刈割枝叶产量很大,如新银合欢植物篱每年可生产新鲜枝叶 8 t/hm<sup>2</sup> ~ 14 t/hm<sup>2</sup>,折合干物质 3.2 t/hm<sup>2</sup> ~ 5.6 t/hm<sup>2</sup>,向作物种植带输入的氮素和钾素分别为 133 kg/hm<sup>2</sup> ~ 234 kg/hm<sup>2</sup> 和 93 kg/hm<sup>2</sup> ~ 163 kg/hm<sup>2</sup>。

1999 年两个实验点表土养分状况列于表 4, T2、T3 和 T4 的有机质和全氮含量与 CK 均差异显著。其中坛罐窑 T2、T3 和 T4 土壤有机质含量分别比 CK 高 42.6 % ~ 76.4 %, 全氮比 CK 高 62.0 % ~ 83.5 %, 速效钾高 67.4 % ~ 142.0 %; 马桑坪 T2、T3

和 T4 土壤有机质含量分别比 CK 高 40.5 % ~ 68.5 %, 全氮比 CK 高 75.6 % ~ 137.8 %, 有效磷比 CK 高, 速效钾高 55.1 % ~ 78.3 %, 土壤阳离子交换量也得到改善, 可见固氮植物篱改善土壤肥力效果非常明显。与小区建立时土壤养分含量相比, 坛罐窑 CK 的全氮有所上升, 有机质下降; 马桑坪 CK 全氮剧烈下降, 有机质略有上升, 这与坛罐窑种植花生有利于氮素积累, 而马桑坪种植玉米消耗氮素有关; T2、T3 和 T4 有机质和全氮含量均比小区建立时显著上升。

表 4 1999 年不同处理下坡耕地土壤肥力

Table 4 Soil nutrients of sloping lands under different treatments in 1999

实验点 Sites	养分 Nutrient	CK	T2	T3	T4
坛罐窑 Tanguanyao	有机质 OM(g/kg)	6.80	10.34	12.00	9.68
	全氮 TN(g/kg)	0.79	1.28	1.36	1.45
	有效磷 Available P (mg/kg)	3.6	3.1	3.8	3.9
	速效钾 Available K (mg/kg)	156.5	349.5	378.8	262.0
	阳离子交换量 CEC(mmol/kg)	91.0	97.5	98.0	104.0
马桑坪 Masangping	有机质 OM(g/kg)	9.32	15.71	15.01	13.10
	全氮 TN(g/kg)	0.45	0.92	1.07	0.79
	有效磷 Available P (mg/kg)	1.3	2.7	2.2	2.1
	速效钾 Available K (mg/kg)	214.9	383.2	333.4	345.0
	阳离子交换量 CEC(mmol/kg)	108.0	111.5	106.0	110.0

2.3 等高固氮植物篱对坡耕地农作物产量的影响  
农作物产量实测结果表明, 坡耕地在等高植物

篱模式下土地生产力得到提高。表 5 是 1999 年实验点各处理的农作物产量。其中坛罐窑 T2、T3 和

T4 花生产量比 CK 高 16.7 % ~ 19.5 %，不施化肥仅将固氮植物篱刈割枝叶用作绿肥 T2 的产量也比 CK

高 18.9 %；马桑坪 T2、T3 和 T4 的玉米处理比 CK 高 5.2 % ~ 62.2 %，其中 T2 比 CK 高 5.2 %。

表 5 坡耕地不同种植模式下农作物产量 ( $t/hm^2$ )  
Table 5 Crop yields in different treatments in 1997 ( $t/hm^2$ )

实验点 Sites	农作物 Crop	CK	T2	T3	T4
坛罐窑 Tanguanyao	花生产量 Peanut Yield	3.28	3.90	3.83	3.92
	CV	0.05	0.11	0.11	0.21
马桑坪 Masangping	玉米产量 Maize Yield	2.78	2.93	4.51	3.08
	CV	0.04	0.11	0.12	0.10

## 2.4 等高固氮植物篱在发展木本饲料方面的应用

### 2.4.1 在发展山区木本植物饲料方面

山区农民有发展畜牧业的传统，但极大受到饲料缺乏的制约，固氮植物篱枝叶是很好的动物青饲料和干饲料，具较高粗蛋白含量，饲用价值比较高。据测定，新银合欢、山毛豆、云南合欢和山蚂蝗雨季的刈割枝叶(干物质)中粗蛋白含量分别为 26.1 %、20.44 %、21.5 % 和 22.0 %。筛选适宜的饲用固氮树种在坡耕地、荒山荒坡和退化牧地大面积培植等高植物篱，建立山区木本植物饲料基地，可为山区发展养殖业提供充足的优质饲料。如按 4m 的间距培植宽 50 cm 的规格在坡耕地上培植新银合欢植物篱，可提供  $8 t/hm^2 \cdot a^{-1} \sim 14 t/hm^2 \cdot a^{-1}$  青饲料，新银合欢刈割枝叶已成为马桑坪实验站饲养牛羊的主要饲料，厩肥沼气发酵后又返还坡耕地，就地解决了困扰山区经济和环境的饲料、肥料和燃料缺乏问题。

### 2.4.2 促进山区环境持续发展和产业结构转变

长江上游现有坡耕地  $1 \times 10^7 hm^2$ ，占耕地面积的 42.8 %；据统计每年长江上游因水土流失造成输沙量达  $5.3 \times 10^8 t$ ，相当于  $3.33 \times 10^5 hm^2$  耕地被刮去 13 cm 表土层，土壤侵蚀主要来自坡耕地<sup>[9]</sup>。等高固氮植物篱配套技术对坡耕地水土流失和土壤退化有极好的治理效果，可促进传统种植模式、耕作制度和农业产业结构调整，有效提高土地经营水平、土地生产力和减少环境灾害；同时可快速实现  $> 25^\circ$  的坡耕地退耕还林还草和合理利用和荒山荒坡植被恢复和水土流失治理，因此推广该模式可有效促进整个长江流域资源和环境的可持续利用。

山区经济持续发展必须建立在山区资源和环境持续利用的基础之上。固氮植物篱技术使山区自身具有这种造血机制，充分兼顾了经济效益、社会效益和生态效益，农民容易接受和应用。如在试验地区与果园、桑园或经济林木相结合，或在植物篱中与桑

树、优质水果和药材套种，农民通过多种经营增加收入来源，并减少了农药和化肥投入，取得了较好的综合效益<sup>[10]</sup>，逐步实现向绿色农业过渡。我国具有丰富的固氮植物种质资源，不同生态区只需根据利用目的对固氮植物篱树种进行选择，即可利用该模式获得较好效益；同时可营建木本固氮植物饲料林，这是山区大量陡坡地资源保护性开发利用的一个非常合理的途径，促进山区产业结构调整 and 农民增收，对避免山区荒山荒坡和退耕地的重新开垦、环境保护和经济持续发展都具有重要意义。

## 3 结 论

1. 等高固氮植物篱模式能有效防治坡耕地水土流失和养分流失，使土壤侵蚀量和养分流失减少 98 % 以上，地表径流量减少 50 % 以上；

2. 植物篱的枝叶产量高，且枝叶氮素和钾素含量较高，可有效补充土壤有机质、全氮和有效钾，培肥坡耕地土壤，增加农作物产量；

3. 等高固氮植物篱模式在实现对坡地资源的保护性开发利用和山区产业结构转变方面有巨大应用潜力。

致谢：对宁南县人民政府特别是宁南县科技局在实验点建设和野外工作所给予的支持表示诚挚的谢意。

### 参考文献：

- [1] Teji, P. & Hanoh, R. W. Sloping agricultural land technology (SALT): A Regenerative Option for Sustainable Mountain Farming [M]. Kathmandu: CIMOD, 1994.
- [2] Kang B.T., Reynolds, L. and Atta-Kraah, A. N. Alley Farming [J]. *Advanced in Agronomy*, 1990, 43: 315 ~ 319.
- [3] 李文华, 赖世登. 中国农林复合经营 [C]. 北京: 科学出版社, 1994. 221 ~ 226.

- [4] 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.
- [5] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱防治坡耕地土壤侵蚀效果研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6): 1~6.
- [6] 许峰, 蔡强国, 吴淑安. 等高植物篱在南方湿润山区坡地的应用——以三峡库区紫色土坡地为例[J]. 山地学报, 1999, 17(3): 193~199.
- [7] Jeff. P. Sloping Agricultural Lands Technologies (SAIT): Nitrogen-fixing Agroforestry for soil and water conservation [M]. Kinuskusan, MBRLC, Philippines, 1997.
- [8] Comia, R. A., Paningbatan, E. P. and Hakansson, I. H. Erosion and crop yield response to soil conditions under alley cropping systems in the Philippines [J]. *Soil & Tillage Research*. 1994, 31: 249~261.
- [9] 赵燮京, 庞良玉, 张建华, 等. 改善生态环境, 防治长江上游水土流失[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 88~92.
- [10] 袁远亮, 孙辉, 唐亚. 固氮植物篱梯埂套种桑树效益初探[J]. 生态农业研究, 2000, 8(2): 69~71.

## Contour Hedgerow Intercropping for Exploitation and Conservation of Slope Cropland in Mountain Areas

SUN Hui<sup>1,2</sup>, TANG Ya<sup>1</sup>, WANG Chun-ming<sup>1</sup> and HE Yong-hua<sup>1</sup>

(1. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041 PRC;

2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008 PRC)

**Abstract:** Increasing population pressure drives farmers cropping even in steep lands, which induced land degradation such as soil erosion, nutrient loss, and seasonal drought. Field experiments were conducted to test the effects of contour hedgerow system on slope croplands in Ningnan County, which lies in the dry and hot valley of Jinsha River in the southwestern Sichuan with more than 90 % of its rainfall in monsoon. The results of four treatments with three replicates (CK: slope tillage, T2 and T3: *Leucaena leucocephala* hedgerow with and without fertiliser; and T4: *Tephrosia candida* hedgerow with fertiliser) showed that *L. leucocephala* and *T. candida* hedgerow planted apart 4m in slope reduced surface runoff to less than 49.6 % of the control, i. e., runoff were very large in CK, reaching more than 303 t/hm<sup>2</sup> and 568 t/hm<sup>2</sup> in Tanguanyao and Masangping Sites, respectively. However, runoff were markedly reduced to less than 110 t/hm<sup>2</sup> and 282 t/hm<sup>2</sup> respectively under contour hedgerows system, and soil loss were reduced to less than 2 % of the control due to obstruction by densely planted hedgerow barriers. Utilizing hedgerows' pruning as green manure ameliorated soil fertility of degraded soil and increased crops yield. Multi-purpose hedgerows can also provide fodder and firewood. The contour hedgerow has shown integrated benefits for sustainable agricultural development in mountain areas.

**Key words:** contour hedgerow; slope croplands; water and soil conservation; soil fertility improvement; sustainable agriculture