

植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响

林超文,涂仕华,黄晶晶,陈一兵*

(四川省农业科学院土壤肥料研究所,四川 成都 610066)

摘要 植物篱的水土保持效果已得到广泛的认可,并在世界很多地方推广应用,然而,到目前为止,植物篱对坡耕地土壤肥力的影响规律研究却很少。利用长期定位小区试验,研究了植物篱对坡耕地土壤肥力的影响规律,旨在弄清植物篱提高土壤肥力的作用与效果,不断完善植物篱技术。研究发现,坡耕地在建立植物篱后,土壤粘粒在篱前富集,篱下加剧侵蚀,粘粒的富集与侵蚀沿等高线成水平带状分布,土壤有机质、N、P 等主要营养元素出现与土壤颗粒相同的分布规律;对 K 来说,其分布不受植物篱的影响,表现出较为均一分布的特点。从土壤养分的绝对数量来看,P 呈高度富集,而有机质和 K 则是高度耗竭。因此,坡耕地施肥时可以适当减少 P 的施用量,增加有机物和 K 的施用量。针对植物篱带对坡耕地肥力影响的特点,即篱前肥力升高,篱下肥力下降,在坡耕地管理上应特别加强篱下土壤带的培肥,以提高坡面整体生产能力。

关键词 植物篱 土壤侵蚀 土壤养分分布 土壤机械组成

文章编号:1000-0933(2007)06-2191-08 中图分类号:Q948 S154.1 S158.5 文献标识码:A

The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area

LIN Chao-Wen, TU Shi-Hua, HUANG Jing-Jing, CHEN Yi-Bing*

Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Sichuan, Chengdu 610066

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2191 ~ 2198.

Abstract : Effect of using plant hedgerows to control soil and water losses has received wide recognition and this technology has been applied in many areas in the world. Yet, studies on its effect on soil fertility of sloping lands are rare. Using an eight-year fixed field experiment, the authors investigated the effect of two different hedgerows against the control treatment on soil fertility. Results showed that clay particles tended to accumulate above the plant hedgerows and to be eroded downward below the hedgerows along contour lines across the field. Distribution of soil organic matter and all plant nutrients except K showed the same pattern as the clay particles. Potassium (K), however, was evenly distributed in the field without any noticeable influence from the hedgerows. Since the fixed experiment started, soil P has kept accumulating, while soil organic matter and K are in depletion. The results suggest accordingly better nutrient management practices on the sloping lands by using reduced rates of P and increased rates of farm manure and K. Taking the sloping field as a whole,

基金项目 国家 973 计划资助项目 (2006CB100206) 国际植物营养研究所及四川省科技厅应用基础资助项目 (07jy029-105)

收稿日期 2006-12-04;修订日期 2007-03-01

作者简介 林超文 (1968 ~) 男,四川资中县人,副研究员,主要从事农业生态及水土保持研究工作. E-mail: linchaowen2002@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ybchen@mail.sc.cninfo.net

Foundation item The project was financially supported by 973 Foundation of China (No. 2006 CB100206); the Foundation of International Plant Nutrition Institute and the Basic and Applied Foundation of Sichuan Science and Technology Department (No. 07jy029-105)

Received date 2006-12-04; **Accepted date** 2007-03-01

Biography LIN Chao-Wen, Associate professor, mainly engaged in agricultural ecology and soil and water conservation. E-mail: linchaowen2002@yahoo.com.cn

special attention in nutrient management should be given to the soil stripes the portions below the plant hedgerows suffering from more serious soil erosion.

Key Words : Hedgerow ; soil erosion ; soil nutrient distribution ; soil texture

坡耕地等高植物篱-农作系统在减少土壤侵蚀、控制面源污染、增加系统产出和降低投资等方面都有非常好的效果^[1]。近年包括我国在内的世界各地热带至温带山区均已获得广泛应用。特别是陈一兵等提出了经济植物篱的概念,组合出了11种适用于长江上游地区使用的经济植物篱模式,并在四川、云南、贵州、重庆累计推广了200余万亩^[2],产生了良好的生态、社会、经济效益。国外近20余年来在植物篱控制土壤侵蚀^[3~5]、面源污染^[6]及对微地貌的影响^[7]等领域已有不少报道。但在植物篱侵蚀控制机理、坡形变化等方面与国内应用的等高植物篱均有所不同^[8,9]。国内近年对等高植物篱控制侵蚀的效果、机理已有一些研究,如孙辉等讨论了等高植物篱控制侵蚀的效果^[10],蔡强国等分析了等高植物篱控制侵蚀的原因,认为机械拦阻是植物篱减少侵蚀的主要原因^[11]。在对土壤养分影响方面的研究主要集中在植物篱减少养分流失^[12]、对土壤有机质、N、P的提高以及从深层土壤富集养分到表土的养分泵研究上,但对植物篱农作系统的土壤肥力空间变化研究很少。特别是在长江上游的丘陵和山区,由于坡耕地土层较薄,长期的土壤侵蚀与泥沙拦截使土壤颗粒在耕层的移动和再分配频繁,这势必对土地生产力产生很大影响,但目前这方面的研究很少。20世纪末朱远达研究了在植物篱影响下坡耕地土壤颗粒的再分配规律^[13]。但由于试验小区面积较小(10m×2m),时限较短(5a),未能评估不同年龄植物篱以及对较大面积上土壤颗粒分配的作用与效果。为了完善植物篱农作系统的理论基础,提出更科学合理的植物篱模式及植物篱管理措施,开展了此项研究。

1 研究地点及方法

1.1 研究地点概况

本试验布设在长江上游沱江水系的资阳市雁江区松涛镇花椒沟小支流的响水滩上段。地处东经104°34′12″~104°35′19″和北纬30°05′12″~30°06′44″之间,海拔395m。多年平均降雨量为965.8mm,最高年1290.7mm,最低年725.2mm,70%分布在6~9月份。年均温16.8℃。供试土壤为紫色土红沙土2,土层在50~80cm之间,土壤层次分化不明显,土壤质地轻,土壤有机质、全氮、有效磷含量偏低,土壤肥力不高。在实验实施时的土壤养分含量见表1。

表1 供试土壤初始化学性质

Table 1 Soil nutrient status prior to the experiment							
pH	O. M. (%)	全氮 (%) Total N	全磷 (%) Total P	全钾 (%) Total K	碱解氮 (%) Available N	有效磷 (%) Available P	有效钾 (%) Available K
8.0	0.94	0.056	0.068	1.59	44	3.05	91.3

1.2 材料方法

试验开始于1997年11月,在径流小区中完成。小区四周用水泥挡板分隔,坡度20°,共有3个径流小区,小区投影长度20m,宽7m。共设3个处理:处理1为对照(无植物篱);处理2为等高种植3带香根草(*Vetiveria zizaniodes*);处理3为等高种植3带紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)。植物篱带宽0.5m,带间距6.16m,每带均种2行,株距0.2m。具体布置见图1。

作物轮作方式为当地大面积使用的麦-玉-苕。红苕品种为徐薯18,每年6月16日左右移栽,密度45000株/hm²。玉米品种成单18,每年4月12日左右播种,密度42000株/hm²,每年8月20日左右收获。小麦品种川麦22号,每年11月7日左右播种,行窝距23.3cm×13.3cm,即150000窝/hm²(一半为预留空行)。每年5月11日左右收获。不同作物施肥量见表2。到现在为止,植物篱已经在坡耕地中自然生长了8a(1997~2005年),有植物篱处理已自然形成了3台梯土。

土壤样品取样方法 在每带植物篱上部 1.5、3.5、5.5m (整个坡面的布点位置从下部到上部分别为 2.4、6.8.5、10.5、12.5、15、17、19m)处分 5 点取耕层土样混合后分别代表植物篱带间下部、中部、上部土壤,在对照区相同位置取样作为对对照样,采用常规方法分析样品土壤全 N、P、K、有效 N、P、K、有机质及颗粒组成,通过对比分析植物篱处理与对照的土壤养分与颗粒空间分布差异,研究植物篱对土壤养分与颗粒空间分布的影响规律。

径流泥沙测定方法 每个小区的径流泥沙通过集流槽收集到日记式水位计中,通过水位流量关系计算每次降雨的径流量,取样分析径流中泥沙含量计算泥沙量,合计每次降雨的径流泥沙量即得年径流深和土壤流失量。

小区坡度测量方法 小区在初建时坡面平整,坡度均匀为 20° (如果有差异,通过人工整理后达到试验要求),小区水泥边框的坡度为 20°,通过测量土面与小区边框的高差变化来确定小区地貌的变化。

2 研究结果

2.1 植物篱对水土流失的影响

表 3 是不同处理历年径流深及土壤侵蚀量。从表 3 可以看出,植物篱可以显著减少径流量和泥沙流失量,共减少泥沙 231.2~242.8t/hm²,相当于保住了约 1.8 cm 厚的表土(按土壤容重 1.3g/cm³折算)。在栽种植物篱的第 2 年,径流减少 63.0%~70.8%,泥沙减少 81.9%~85.7%,说明植物篱控制水土流失的效果不仅好,而且见效快。草本植物香根草控制水土流失的效果比木本豆科植物紫穗槐的效果好,香根草植物篱小区的径流泥沙分别比紫穗槐小区减少了 25.2% 和 39.7%。因为植物篱的主要生态功能是拦截径流,减缓径流速度,使径流有更长时间入渗。草本的香根草是丛生植物,形成的篱墙比木本的紫穗槐篱墙更密集,拦截效果更好。因此,在选择植物篱类型时,应以草本植物为主。

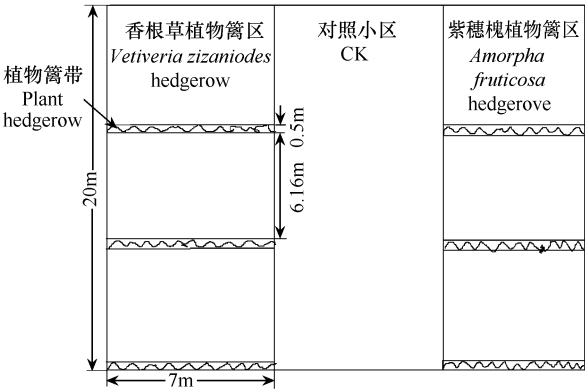


图 1 试验田间布置图

Fig. 1 Treatment layout of the field experiment

表 2 不同作物施肥量 (kg/hm²)

Table 2 Amounts of nutrients applied to different crops			
作物 Crops	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
玉米 <i>I. mays</i> L.	186.3	99	99
红苕 <i>Dioscorea esculenta</i>	58.5	58.5	58.5
小麦 <i>Triticum</i> L.	135	67.5	37.5

表 3 历年径流深及土壤侵蚀量

Table 3 Annual runoff and soil erosion from different treatments						
项目 Item	对照 CK		香根草植物篱 <i>Vetiveria zizanioides</i>		紫穗槐植物篱 <i>Amorpha fruticosa</i>	
	径流深	泥沙量	径流深	泥沙量	径流深	泥沙量
	Run-off (mm)	Sediment (t/hm ²)	Run-off (mm)	Sediment (t/hm ²)	Run-off (mm)	Sediment (t/hm ²)
1998	93.2	78.8	27.2	11.3	34.5	14.3
1999	78.3	65.8	15.3	1.3	23.1	3.5
2000	71.6	57.7	12.7	1.0	21.6	2.1
2001	171.7	44.4	33.7	3.1	41.9	8.2
2002	14.8	2.0	3.7	0.1	5.1	0.1
2003	15.3	0.4	5.1	0.1	5.4	0.2
2004	18.6	0.9	8.4	0.3	11.3	0.3
2005	18.2	10.4	6.1	0.4	7.2	0.5
合计 Total	481.7	260.4	112.2	17.6	150.1	29.2

2.2 植物篱对坡耕地微地形的影响

由图 2、图 3 可见不同处理地貌变化情况。所有处理顶部坡度都有较大幅度降低,原因是上部由于小区边缘的限制,在降雨过程中始终无上坡来沙堆积,而处于侵蚀的源头。对照小区中部有明显的侵蚀现象,其原因是坡上没有有效的阻挡物,径流在坡面上汇集,导致侵蚀力增强,搬运走更多的泥沙。在小区最下部,由于小区边缘的限制,侵蚀作用无法使坡面继续向下沉降而产生淤积^[4]。在经济植物篱小区中,7m 和 13m 处种植了香根草植物篱和紫穗槐植物篱,植物篱上部有明显的泥沙堆积,这是因为植物篱近地茎枝拦截坡面径流,减缓其流速,并在近地茎枝带前形成短距离的回水带,使粒径较大的土壤颗粒沉积下来,在篱前淤积^[5]。在篱带下方,由于植物篱拦截了大部分泥沙,少有泥沙冲刷下来补充被侵蚀的土壤,同时,由于耕作侵蚀使这部分坡面侵蚀加剧^[6],因此坡面下降较为明显,经过长时间后形成一道土坎。从坡面地形变化看,香根草处理篱前泥沙堆积较紫穗槐处理多,篱下土壤侵蚀较紫穗槐处理重,形成的土坎较紫穗槐处理高(图 4),带间土壤坡度降低幅度较紫穗槐处理大(表 4),再次验证了草本植物篱的水土保持效果较木本植物篱效果好。

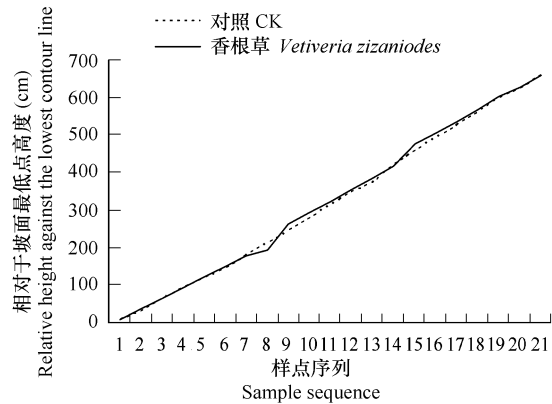


图 2 香根草植物篱对土壤坡面地形的影响 (以对照为参照)
Fig. 2 Effect of vetivar hedgerows on slope

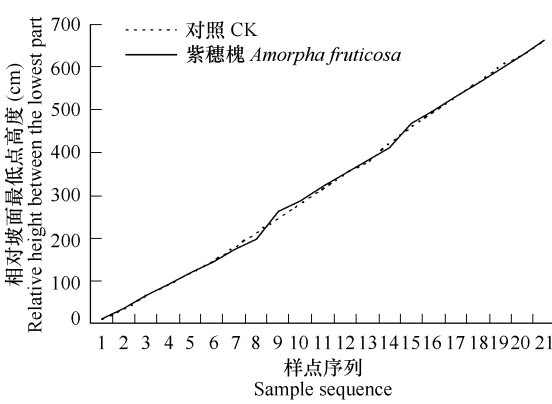


图 3 紫穗槐植物篱对土壤坡面地形的影响 (以对照为参照)
Fig. 3 Effect of false indigo hedgerows on slope

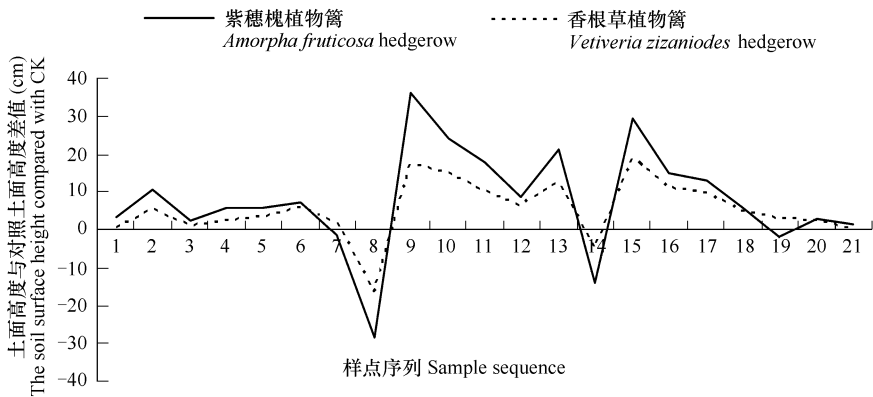


图 4 植物篱处理坡面高度与对照处理坡面高度的差异
Fig. 4 The difference of soil surface height between hedgerow treatments and CK

种植经济植物篱的两个小区坡度从原来的 20°减小为 16°28'和 17°11' (表 4),说明种植植物篱后土壤坡度减缓明显。对照小区的坡度虽也有所减缓,但是以土壤侵蚀为代价的。对照小区中部坡度大于 20°,因为这一段的土壤侵蚀由片蚀变为片蚀沟蚀兼有^[11],侵蚀更为严重,使土壤坡度加大。植物篱处理的土壤坡度从上部至中部再到下部表现出坡度逐渐减小,原因是篱带前泥沙淤积层不是无限的增高,随着带间侵蚀量的减少和每淤平一定高度所需来沙量增加,淤积层垂直方向上的淤高速度随时间减缓,小区上部因为有水泥挡板

的阻挡,没有上坡来沙,因此淤积速度减小最快。小区中部有从上部流下的泥沙,所以篱带前淤积速度减小较慢,坡度也进一步减缓。而小区下部,一是有来自上部的泥沙在篱前继续淤积,抬高坡面,二是因为小区边缘的限制增强了泥沙的淤积效果,因此坡度减缓的最为明显。

表 4 坡面不同部位坡度

坡面位置 Slope	对照 CK	香根草植物篱 Vetiver hedgerow	紫穗槐植物篱 False indigo hedgerow
1~6m (下部 Top)	17°42′	16°21′	16°8′
8~13m (中部 Middle)	20°31′	16°10′	17°34′
15~20m (上部 Bottom)	18°17′	16°52′	17°51′
平均 Average	18°50′	16°28′	17°11′

2.3 植物篱对土壤颗粒空间分布的影响

图 5~图 7 是不同处理土壤机械组成的空间分布图。从土壤的各级颗粒含量分析,土壤质地基本属于粉沙壤土-壤土,但从土壤的沙粒和粘粒含量看,土壤颗粒的分布存在明显的规律性。对照小区(图 5)最上端土壤沙粒含量(26.7%)明显高于小区其他区域土壤沙粒含量(平均为 19.5%),而粘粒含量(24.2%)明显低于其他区域土壤粘粒含量(平均为 29.9%),这主要是因为顶部土壤耕作侵蚀严重^[7~19],加之土层浅薄,使母质层甚至母岩的大量沙粒补充到土层中所至。中下部土壤在侵蚀过程中能够得到上部土壤的补充,质地差异不大。

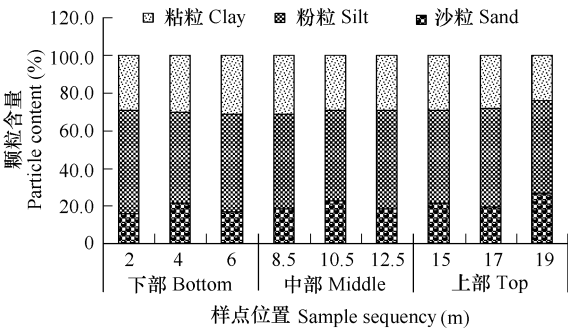


图 5 对照处理土壤颗粒分布图

Fig. 5 Soil particles distribution of the control treatment

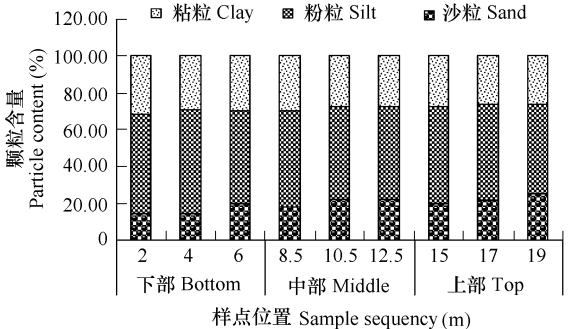


图 6 香根草植物篱处理土壤颗粒分布图

Fig. 6 Soil particles distribution of vetivar hedgerow treatment

当坡面栽培植物篱后,土壤颗粒在坡面的分布产生了较大的变化。由于植物篱对侵蚀土壤的拦截,粘粒在篱前富集,土壤粘粒含量升高。香根草植物篱前土壤带平均粘粒含量为 29.6%,分别比带间中部和篱下土壤高 6.6% 和 6.5%。篱前砂粒含量则相对降低,香根草植物篱前土壤带平均沙粒含量为 17.3%,分别比带间中部和篱下土壤低 11.4% 和 22.8%。这是因为植物篱带的土壤随植物的成长很快形成篱坎,径流穿过植物篱坎后流速加快,对坎下土壤侵蚀力增强,侵蚀加剧。但由于植物篱对侵蚀泥沙的拦截,使坎下土壤以侵蚀为主,导致粘粒含量降低,砂粒含量升高。因此,坡面在植物篱介入后,土壤机械组成在坡面上形成了规律性分

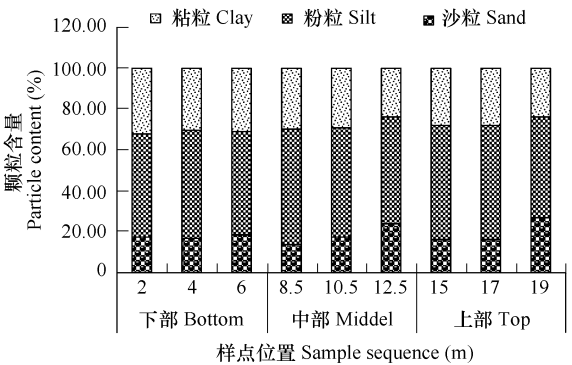


图 7 紫穗槐植物篱处理土壤颗粒分布图

Fig. 7 Soil particles distribution of false indigo treatment

布 篱前粘粒富集而篱下砂粒富集的带状分布 (图 6、图 7)。

2.4 植物篱对土壤有机质空间分布的影响

从表 5 可以看出 ,由于试验为了精确控制施入的养分量 ,没有施用有机肥 ,所有处理的土壤有机质含量较试验初始时都有降低。其中对照平均降低了 34.3%、香根草植物篱区降低了 25.8%、紫穗槐植物篱区降低了 21.8%。栽培植物篱后可以能够缓解有机质的降低速度 ,在相同条件下增加土壤有机质含量 ,香根草植物篱区和紫穗槐植物篱区分别比对照增加了 13% 和 19% ,豆科的紫穗槐植物篱增加土壤有机质含量更大 ,说明豆科植物篱培肥地力的效果更显著。从图 8 可以看出 ,土壤有机质含量在坡面上的分布呈现规律性。对照处理最上部土壤有机质含量很低 ,其他部位含量较为平均 ,这与土壤颗粒分布规律相似。因为土壤有机质主要富积在细小土壤颗粒中 ,随着土壤颗粒的移动 ,土壤有机质的分布随着变化。当坡面栽培植物篱后 ,坡面有机质分布出现了坡面上部较低、坡面下部较高 ,篱前含量增高而篱下含量降低的分布规律。出现这种分布规律也是因为植物篱影响了土壤粘粒分布 ,使土壤有机质分布出现同样分布规律。

表 5 各处理土壤有机质平均含量
Table 5 Soil organic matter changes with time as affected by different treatments

处理 Treatment	有机质平均含量 Average OM (%)	与初始含量比较 ± Compared to the initial content (%)	与对照比较 ± Compared to CK (%)
初始含量 Original content	0.94	—	—
对照 CK	0.618	- 34.3	—
香根草植物篱 Vetiver hedgerow	0.698	- 25.8	13.0
紫穗槐植物篱 False indigo hedgerow	0.735	- 21.8	19.0

2.5 植物篱对土壤 N 空间分布的影响

图 9 是各处理土壤全氮含量的分布图。各处理土壤全氮平均含量与试验土壤初始全氮含量基本持平略有增加 (对照 0.059%、香根草 0.062%、紫穗槐 0.058%) ,说明试验施 N 水平维持了土壤氮素平衡。对照处理 N 的分布规律是从坡顶部到坡下部含量逐渐增加 ,从 0.043% 增加到 0.068% ,增幅达 58.1% ,说明坡面氮素从坡顶向坡脚移动富积现象非常明显。栽培植物篱后 ,氮素向坡脚移动被阻断 ,呈现篱前氮素富积 ,篱下氮素流失的波浪形分布特点 ,并显著提高了坡面上部的氮素含量。

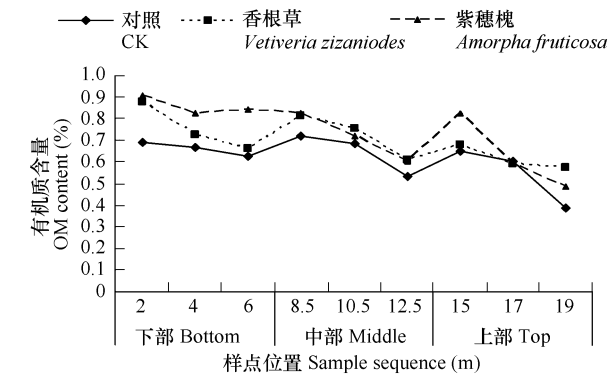


图 8 植物篱对坡面土壤有机质含量及分布的影响
Fig. 8 Effect of different hedgerows on organic matter content and distribution on the slope

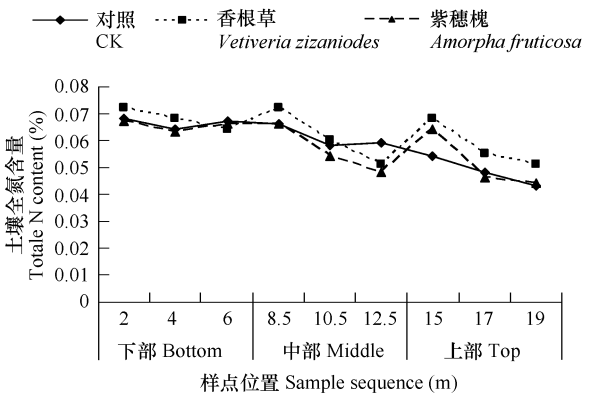


图 9 植物篱对土壤全氮含量分布的影响
Fig. 9 Effect of different hedgerows on soil total N and its distribution on the slope

2.6 植物篱对土壤 P 空间分布的影响

图 10 说明了植物篱对土壤 P 空间分布影响规律。对照处理土壤全 P 平均含量与试验土壤初始全氮含量基本持平 (对照 0.069%),说明试验施 P 水平在农户栽培模式下维持了土壤磷素平衡。对照处理 P 的分布规律是从坡顶到坡脚含量逐渐增加 ,从 0.05% 增加到 0.11% 增幅达 1.22 倍 ,说明坡面 P 素从坡顶向坡脚移动富积现象非常显著。栽培植物篱后 ,P 素向坡脚移动被阻断 ,呈现篱前 P 素富积 ,篱下 P 素流失的波浪形分布特点 ,并显著提高了整个坡面 P 素含量。香根草植物篱区坡面平均全 P 含量达 0.105% ,紫穗槐植物篱区坡面平均全 P 含量达 0.098% ,分别比初始土壤全 P 含量提高了 54.1% 和 44.1% 。说明植物篱通过控制土壤流失大量减少了 P 素流失 ,使 P 在坡面大量富积。栽培植物篱后可适当减少 P 肥施用量。

2.7 植物篱对土壤 K 空间分布的影响

图 11 说明了植物篱对土壤 K 空间分布影响规律。本试验区的紫色土含 K 较高 ,但由于 K 易流失的特点 ,所有处理 K 含量较初始时都有较大幅度降低 ,说明土壤 K 处于亏损状态 ,施肥上应注意钾肥施用。栽培植物篱后 ,整个坡面 K 素含量呈不规则变化 ,说明土壤侵蚀对钾素分布影响不大。

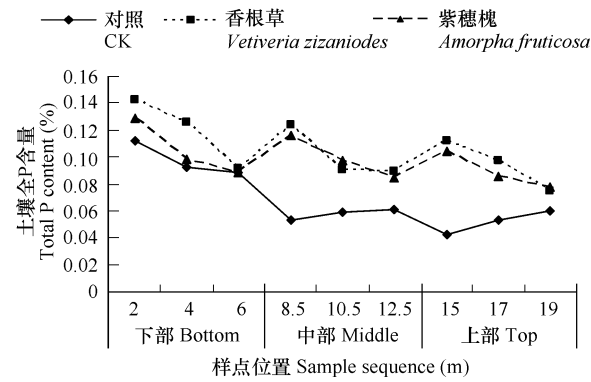


图 10 植物篱对土壤全 P 含量分布的影响

Fig. 10 Effect of different hedgerows on soil total P and its distribution on the slope

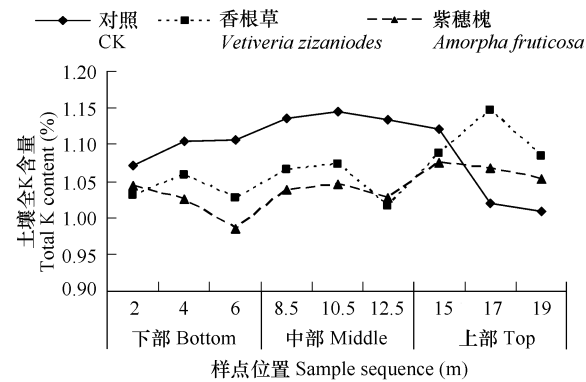


图 11 植物篱对土壤全 K 含量分布的影响

Fig. 11 Effect of different hedgerows on soil total K and its distribution on the slope

3 结论

在坡耕地栽种植物篱带可以显著减少径流量和泥沙流失量 ,且见效快。植物篱带形成的篱坎能降低坡面坡度 ,使坡地自然梯化。草本丛生植物拦截径流泥沙效果较木本好 ,但豆科木本植物篱则可提高土壤有机质 ,培肥土壤。土壤粘粒在篱前富积 ,篱下加剧侵蚀 ,形成水平带状分布规律 ,土壤有机质、N、P 等主要营养元素出现与土壤颗粒相同的分布规律 ,K 则不受植物篱的影响 ,在坡面上分布较均匀。土壤 P 呈高度富积 ,而 K 则是高度耗竭 ,在施肥时可以适当减少 P 的施用量 ,增加 K 的施用量。植物篱能明显提高篱前土壤肥力 ,削弱篱下土壤肥力。因此 ,在土壤管理上应加强篱下土壤带的培肥 ,提高土壤肥力的均衡化和坡地的整体生产能力。

References :

[1] Tu S H , Chen Y B , Zhu Q , *et al.* Role and Effect of Cash Crop Hedgerows on Controlling Soil and Water Losses from Sloping Farmlands in the Upper Reaches of Yangtze River. *Journal of Soil and Water Conservation* 2005 ,19 (6) :1 — 5.

[2] Chen Y B , Lin CH W , Zhu ZH L , *et al.* Study on Alley Cropping System and Its Ecological and Economical Benefits . *Journal of Soil and Water Conservation* 2002 ,16 (6) :80 — 83.

[3] Salvador-Blanes S , Cornu S , Couturier A , *et al.* Morphological and geochemical properties of soil accumulated in hedge-induced terraces in the Massif Central , France. *Soil & Tillage Research* ,2006 , (85) :62 — 77.

[4] Cullum R F , Wilson G V , McGregor K C , *et al.* Runoff and soil loss from ultra-narrow row cotton plots with and without stiff-grass hedges. *Soil &*

Tillage Research ,2007 (93) 56—63.

[5] Raffaello Jr J B ,McGregor K C ,Foster G R , *et al.* Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland. Transactions of the ASAE ,1997 40 (6) :1581—1587.

[6] Chaubey I ,Edwards D R ,Daniel T C , *et al.* Effectiveness of vegetative filter strips in controlling losses of surface2applied poultrylitter constituents. Transactions of the ASAE ,1995 38 (6) :1687—1692.

[7] Dabney S M ,Meyer L D ,McGregor K C. Sediment control and landscape modification with grass hedges. Proceeding of the Conference on Management of Landscapes Distributed by Channel Incision. 1997 ,1093—1099.

[8] Zheng F L. Effect of Vegetation Changes on Soil Erosion on the Loess Plateau. *Pedosphere*. 2006 ,16 (4) :420—427.

[9] Tian G M ,Wang F E ,Chen Y X , *et al.* Effect of Different Vegetation Systems on Soil Erosion and Soil Nutrients in Red Soil Region of Southeastern China. *Pedosphere* ,2003 ,13 (2) :121—128.

[10] Xu F ,Cai Q G ,Wu SH A , *et al.* Effect of Contour Hedgerows on Soil Nutrient Loss in Slope land. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation ,1999 5 (2) :23—29.

[11] Sun H ,Tang Y ,Chen K M , *et al.* Effect of Contour Hedgerow System on Slope Lands Erosion Control ,Bulletin of Soil and Water Conservation ,1999 ,19 (6) :1—5.

[12] Cai Q G ,Li S L. Effect of Contour Hedgerows on Control of Soil Erosion. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation ,1998 4 (2) :55—60.

[13] Zhu Y D ,Cai Q G ,Zhang G Y , *et al.* Impact of Hedgerow on the Control of Soil Nutrient Loss. Resources and Environment in the Yangtze Basin ,2003 ,12 (4) :345—351.

[14] Zheng F L. Effects of Accelerated Soil Erosion on Soil Nutrient Loss after Deforestation on the Loess Plateau. *Pedosphere*. 2005 ,15 (6) :707—715.

[15] Sun H ,Tang Y ,Chen K M , *et al.* Effect of Contour Hedgerow System of Nitrogen Fixing Trees on Soil Fertility Improvement of Degraded Sloping Agricultural Lands. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology ,1999 5 (5) :473—477.

[16] Zang J H ,Li Y ,DavidALobb , *et al.* Quantifying Tillage Translocation and Tillage Erosion in Hilly Areas of Sichuan. Journal of Soil and Water Conservation 2001 ,15 (2) :1—4.

[17] Zhang J H ,Lobb D A ,Li Y , *et al.* Assessment for tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Ichuan , China. Soil Tillage and Research ,2004 ,75 :99—107.

[18] Zhang J H ,Frielinghaus M ,Tian G , *et al.* Ridge and contour tillage effects on soil erosion from steep hillslopes in the Sichuan Basin , China. Journal of Soil and Water Conservation ,2004 ,59 (6) :277—284.

[19] Zhang J H ,Quine T A ,Ni S J , *et al.* Stocks and dynamics of SOC in relation to soil redistribution by water and tillage erosion. Global Change Biology ,2006 ,12 :1834—1841.

参考文献：

[1] 涂仕华,陈一兵,朱青,等. 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.

[2] 陈一兵,林超文,朱钟麟,等. 经济植物篱种植模式及其生态经济效益研究. 水土保持学报 2002 ,16 (6) 80~83.

[10] 许峰,蔡强国,吴淑安,等. 等高植物篱带间距对表土养分流失的影响. 土壤侵蚀与水土保持学报 ,1999 5 (2) :23~29.

[11] 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. 水土保持通报 ,1999 ,19 (6) :1~5.

[12] 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) :55~60.

[13] 朱远达,蔡强国,张光远,等. 植物篱对土壤养分流失的控制机理研究. 长江流域资源与环境 2003 ,12 (4) :345~351.

[15] 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. 应用与环境生物学报 ,1999 5 (5) :473~477.

[16] 张建辉,李勇,DavidALobb,等. 我国南方丘陵区土壤耕作侵蚀的定量研究. 水土保持学报 2001 ,15 (2) :1~4.