

陡坡地饲草玉米生物篱的生态效益研究

廖晓勇^{1,2}, 罗承德¹, 陈义相³, 田道平⁴

(1.四川农业大学, 四川 雅安 625014; 2.中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3.重庆市荣昌县农业局, 重庆 荣昌 402460; 4.达州市土壤肥料与生态建设工作站, 四川 达州 635000)

摘要:坡地水土流失对三峡库区生态环境与可持续性发展构成双重压力。生物篱技术是一条有效防治水土流失、提高土地生产潜力的坡地改良利用途径。本研究以饲草玉米为纽带营建坡地生物篱模式,经4a定位试验探讨了其生长状况和水土保持效益。结果表明,饲草玉米生物篱能有效改善陡坡地土壤性状、固持土壤、截持径流、减少养分流失,对减少库区水土流失与面源污染,保持和提高坡地生产力具有重要作用。

关键词:饲草玉米;生物篱;陡坡地;生态效益;三峡库区

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)03-0633-06

Ecological Effects of Forage Maize Hedgerow on Abrupt Slope Land

LIAO Xiao-yong^{1,2}, LUO Cheng-de¹, CHEN Yi-xiang³, TIAN Dao-ping⁴

(1. Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 3. Rongchang Agricultural Bureau, Chongqing 402460, China; 4. Dazhou Soil and Fertilizer Station, Dazhou 635000, China)

Abstract: Slope-land plays an important role in the agricultural economy in the Three Gorges Reservoir Area, and its soil and water loss brings a double pressure on both eco-environment of the reservoir area and the sustainable development of agriculture. Preventing soil erosion and improving productivity of slope-land is the main target of the plant hedgerow technology. On the basis of contour tillage and agro-forestry, this paper chose the forage maize (SAUMZ1) as the hedgerow plant and carried out a long-term observation on its growing properties and the ecological benefits of improving soil physical and chemical properties and conserving soil and water on the abrupt slope land. A four-year study showed that the forage maize was suitable to growing in the Three Gorges Reservoir Area, and the grass hedgerow was effective in improving soil fertility and preserving soil and water loss, especially in reducing the amount of soil erosion. Compared with the control treatment, soil organic matter had been raised 17.45%, runoff had been reduced by 35.71% up to 57.05% and soil erosion had been reduced by 41.41% up to 75.20%. Meanwhile, the grass hedgerow also brought an obvious reduction of soil nutrient loss and of nonpoint source pollution. It should be widely extended to contribute greatly to sustainable agricultural development and eco-environmental protection in the Three Gorges Reservoir Region.

Keywords: forage maize; hedgerow; abrupt slope land; ecological effects; Three Gorges Reservoir Area

三峡水利工程建设举世瞩目,涉及的经济、社会和环境生态问题很多,其中坡地水土流失的有效控制是一个难度很大的问题。三峡库区山多坡陡,加之不合理开发和科学耕种,坡地水土流失及其引起的土

地退化均十分严重^[1-2]。据测算,全库区坡度>25°的坡地占28%,土层<25cm的坡地占58%,水土流失面积 $5.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,年土壤侵蚀模数 $3751 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,年均入库泥沙量 $1890 \times 10^4 \text{ t}$,中度和极强度侵蚀达43.5%^[2]。搞好三峡库区生态环境建设与保护,事关三峡工程安危、库区社会稳定和可持续发展。

营建坡地生物篱是解决三峡库区生态安全问题并实现可持续发展的有效途径^[3-5]。生物篱技术是融生态、经济为一体的坡地可持续利用技术,在控制水土

收稿日期:2008-06-12

基金项目:中科院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-07);国务院三峡委办公室资助项目(SX2001-021)

作者简介:廖晓勇(1971—),男,四川自贡人,在读博士生,副研究员,主要从事土壤学、农业生态学研究。E-mail: xiaoyongl@163.com

通讯作者:罗承德 E-mail: lcdya@163.com

流失和提高地力方面显示了很大的潜力。国际上生物篱技术的研究非常活跃^[6-11],尤以菲律宾、尼泊尔、肯尼亚、印度等发展中国家更为积极,建立了多种坡地生物篱技术模式,对生物篱系统水平空间结构、系统内土壤、水分、养分流失机理及物种多样性影响开展了较为具体和深入的探讨,定量化研究水平进一步加强,有些研究借助模拟手段已经可以为实际工作提供指导。在我国以生物篱技术为核心的坡地农林复合系统的思路和方法亦已付诸实践,并取得了一定的经验和成效^[12-18]。如四川宁南的新银合欢和山毛豆生物篱试验、湖北秭归的多种生物篱试验、云南保山的香根草篱试验等。以三峡库区为例所开展的诸多生物篱试验研究中,具代表性的如施迅对坡地改良中生物篱的种类选择和水平空间结构的探讨;蔡强国通过人工模拟与自然降雨观测的对比,分析了生物篱减少侵蚀的原因;许峰通过生物篱对坡地土壤养分的影响研究,推导了可实际应用的篱间距估算公式;申元村、李秀彬、陈治谏等从不同角度探讨了生物篱技术提高坡地持续生产力的作用。

篱笆植物的选择事关生物篱技术应用成败的关键,本研究选择以饲草玉米为纽带营建陡坡地生物篱。饲草玉米(SAUMZ1)是多年生牧草^[9],根系发达,茎叶繁茂,适应性强,耐干旱贫瘠,从粗砂到轻粘土均能生长;其茎叶嫩绿多汁,营养丰富,适口性广,产量高,再生快,是各类畜禽和鱼类的最佳饲料,发展饲草玉米对库区荒山退草绿化、农民增收致富有着重要意义。在参考前人经验基础上,本文通过定位试验观测,研究了饲草玉米生物篱的生长状况及其对坡地水土流失的影响特征,以期揭示其滞流减沙机制,从而为生物篱技术在三峡库区的推广应用提供理论依据和实践措施。

1 试验区概况

试验区位于三峡库区中部的万州区五桥河流域(108°25′~108°35′E,30°42′~30°49′N),面积 29.5 km²,地势东高西低,海拔 200~1 118 m,地貌以丘陵、低山为主,>25°的坡地比重达 57.23%。土壤主要为紫色土,侵蚀严重。气候属中亚热带季风气候,年均气温 14~19℃,年均降水量 1 000~1 350 mm,年均日照时数 1 300~1 600 h。地带性森林植被为亚热带常绿阔叶林,原生植被破坏殆尽,现有植被以次生林被和灌丛草被为主。试验区较好地反映、代表了三峡库区中段紫色土为主的山区综合农业区及其环境背景类型。试

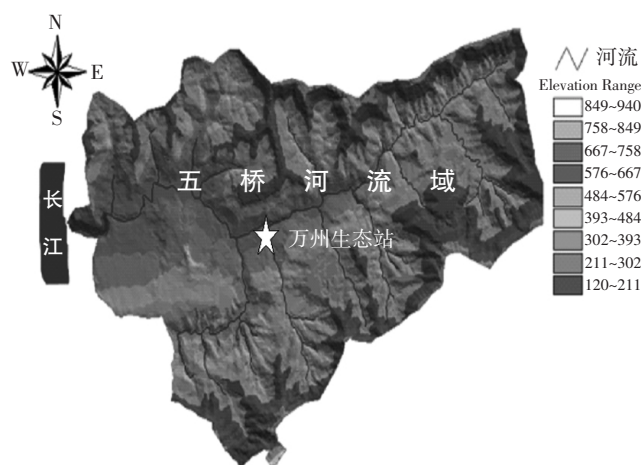


图 1 试验区概貌

Figure 1 General view of experimental area

验地位于中科院万州典型区生态环境监测重点站,地理位置 E108°30′,N30°46′,海拔 265 m,土壤类型为灰棕紫泥。2003 年 3 月建设 2 个简易径流小区,坡度 31°,坡向 WE,土层平均厚度 41.6 cm,面积 20 m×5 m,四周隔水墙采用铝皮,埋至不透水层。

2 研究方法 with 内容

在试验小区分别布设试验处理:(1)对照处理(CK 小区),为覆盖度<65%的陡坡荒地。(2)生物篱处理(T 小区),设计饲草玉米育苗移栽、等高栽植。根据许峰推导的坡地植物篱间距估算公式^[13],设计饲草玉米篱带间距为 1.5 m;2003 年 3 月 5 日在苗床以饲草玉米种子肥团育苗,4 月 28 日将饲草玉米小苗(3~5 叶,苗高 18.5~27.2 cm)移栽于篱带,按株行距 20 cm×30 cm 等高双行错栽,在小区内 90%的饲草玉米株高达 90~120 cm 时,刈割至距地面 15 cm,割下的茎叶覆盖于篱间。

2.1 土壤理化性状和水文状况的测定

在 CK 与 T 小区分别随机布点采集土壤混合样,采用环刀浸水法测定土壤容重、孔隙度;用比重计速测法测定各小区土壤混合样与侵蚀泥沙的颗粒组成(国际制);用渗透筒法测定土壤的渗透性能,每次倒入渗透筒 100 mL,共计 400 mL,根据渗透所需时间和渗透深度求得渗透速度和渗透系数(K10℃);用常规土壤农化分析方法测定土壤有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K 含量;用烘干法测定土壤含水量、土壤毛管持水量、土壤饱和含水量、土壤贮水量^[20]。

2.2 茎叶生物量与根系密度的测定

随机选择 3 个调查样方 (1 m×1 m), 在样方内 90% 的植株高>90 cm 时, 将其茎叶刈割至距地面 15 cm, 称量茎叶鲜重, 并测定风干茎叶样品的水分含量 (烘干法), 计算其干物重。采用湿掘剖面法, 随机布点挖掘 3 个宽 1.5 m、深 0.5 m 的土壤剖面, 测定宽 1.0 m、深 0.5 m 范围内的饲草玉米须根数量和分布状况, 计算每 10 cm 土层内须根量占土壤剖面总须根量的百分比。

2.3 茎叶吸水量的测定

采用人工降雨法, 将 1 m² 范围内的饲草玉米地上部刈割称重, 然后放回原位, 距地面 2.0 m 处高度分别喷水 10、20、30、40 kg 而得出 10、20、30、40 mm 的降雨量, 再次称重刈割茎叶, 前后两次重量差值即为茎叶吸水量。

2.4 水土流失量的观测

采用 ST 型虹吸式雨量计观测降雨量和降雨时间, 计算降雨强度。观测计量采样池每次降雨产生的径流量, 均匀采集水样于室内过滤、烘干并称重, 测定单位体积径流的泥沙含量, 根据径流量计算单位面积水土流失量。

3 结果与讨论

3.1 饲草玉米生长特性

以饲草玉米为生物篱植物的 4 a 栽培试验结果表明, 在 31°陡坡地饲草玉米生长仍然快速, 年生长周期长达 8 个月, 植株高可至 1.9~2.6 m, 茎节数 17.1~23.2 个, 分蘖力强且成株率高, 年均可分蘖 9~16 株, 成株率达 72%。饲草玉米为碳四植物, 光合作用强, 茎叶生产量大, 耐刈割。年均刈割次数 3~4 次, 以 62 500 株·hm⁻² 计, 年均收割茎叶鲜生物总量 113.94~159.69 t·hm⁻², 折合年产干草 14.50~19.86 t·hm⁻², 年均单株产鲜茎叶 1.82~2.56 kg。就单次刈割饲草玉米生长状况而言, 以第 2 茬、第 3 茬的生长速度快、历时短、茎叶产量高, 生长期分别为 47、53 d, 收割的茎叶量分别占全年总产量的 28.21%、26.93%。

饲草玉米根系属须根系, 由地下茎节长出, 扩展

表 1 不同土层饲草玉米须根状况

Table 1 Forage maize fibrous roots properties in different soil layers

类型	样方	土层/cm			
		0~10	10~20	20~30	>30
须根量/条	I	426	501	336	177
	II	483	532	361	205
	III	464	528	406	215
	平均	458	520	368	199
差异性	5%	a	ab	bc	cd
	1%	A	AB	ABC	BC
须根量占总根量/%	I	29.58	34.79	23.33	12.29
	II	30.55	33.65	22.83	12.97
	III	28.77	32.73	25.17	13.33
	平均	29.63	33.69	23.80	12.88
差异性	5%	a	ab	bc	cd
	1%	A	AB	BC	BC

注: $F_{\text{须根量/条}}=36.98$, $F_{\text{须根量占总根量 \%}}=42.23$, $F_{0.05}=3.48$, $F_{0.01}=5.99$ 。

范围广, 根长可达 1.7 m, 根幅可至 1.2 m。由表 1 可见, 饲草玉米根系主要集中分布于 0~30 cm 土层内, ≤1.0 mm 须根量占总根量的 87.12%, 根系密度为 41.3 条·100 cm⁻²。通过差异显著性检验证明, 饲草玉米的根系密度和每层须根量占总根量的百分数主要分布在 0~30 cm 土层内, 其中尤以 10~20 cm 土层最为显著。

3.2 饲草玉米生物篱的生态效益

3.2.1 改善土壤理化性状

4 a 试验结果表明 (表 2), 随着 T 小区饲草玉米生物篱的逐渐形成、郁闭, 饲草玉米密集根系与堆腐在篱底的枯茎落叶对陡坡地土壤理化性状有着明显的改善作用。这主要表现在: 其一, 土壤层厚度从饲草玉米栽植前的 41.6 cm 增至 47.8 cm, 年均增厚 1.55 cm, 与 CK 小区的土层逐年变薄形成鲜明对照。其二, 土壤通气状况显著改善, 土壤容重比 CK 小区小 0.19 g·cm⁻³, 总孔度是 CK 小区的 1.20 倍, 非毛管孔隙度是 CK 小区的 1.35 倍, 其占总孔度的比例比 CK 小区大 2.90%。其三, 由于茎叶对降雨的截持, 减小了雨滴击溅侵蚀, 而篱底密集的根、茎叶对地表径流的拦蓄, 又减少了土壤细粒的冲刷, 促进了土壤粗骨的风化成

表 2 2006 年各试验处理土壤理化性状

Table 2 Soil physical and chemical traits of different experimental treatments in 2006

小区	土厚/cm	容重/g·cm ⁻³	孔度/%	非毛管孔度/%	颗粒组成/%			有机质/g·kg ⁻¹	全 N/g·kg ⁻¹	全 P/g·kg ⁻¹	全 K/g·kg ⁻¹
					>2 mm	0.02~2 mm	<0.02 mm				
T	47.8	1.47	44.53	10.69	20.18	29.85	49.97	8.55	0.61	0.69	21.38
CK	37.1	1.66	37.36	7.92	30.44	32.61	36.95	7.28	0.56	0.66	20.95

土, 土壤中粒径<0.02 mm 的颗粒含量比 CK 小区多 13.02%, 而粒径>2.0 mm 的粗骨含量比 CK 小区少 10.26%。其四,通过饲草玉米根系吸收深层土壤养分并以刈割茎叶返还土壤, 促进了养分的循环与再分配,并且通过生物篱的阻滞和坡面覆盖,减少了由径流与侵蚀泥沙携带的养分损失,有效改善了土壤的养分状况,土壤有机质、全 N、全 P、全 K 含量分别比 CK 小区多 17.45%、8.93%、4.55%、2.05%。

3.2.2 截持降水、提高土壤保蓄水能力

雨滴降落在饲草玉米茎叶上,由于茎叶的吸附作用,很快形成水珠,当水珠重量超过茎叶吸附能力时,则从茎叶上缓慢下落到地表,被枯茎落叶所吸收。由表 3 可见,饲草玉米茎叶的吸水率随降水量增加而逐渐增加,当降水达到 40 mm 时,茎叶的吸水率达到自身重量的 42.53%。饲草玉米生物篱茎叶对降水的截持减小了水滴击溅能,减少了土壤表层结皮,增加了土壤的入渗能力(表 4),渗透速度和渗透系数分别是 CK 小区的 1.62 倍和 1.80 倍。由于提高了渗透速度,使降水很快渗入土壤内,减小了地表径流量。饲草玉米生物篱的构建增厚了陡坡地土壤层,增加了土壤毛管孔隙,改善了土壤颗粒组成,同样提高了土壤的保蓄水能力。观测结果表明(表 4),T 小区土壤含水量比 CK 小区增加 3.47%,土壤饱和含水量增加 4.13%,土壤现有土层贮水量增加 78.94 t·hm⁻²。

表 3 饲草玉米茎叶截持降水状况
Table 3 Trapping and holding precipitation of forage maize stem leaf

降水量/mm	茎叶鲜重/kg	降水后茎叶重/kg	吸水率/%
10	12.78	16.06	25.65
20	16.47	21.93	33.18
30	15.92	22.24	39.72
40	11.35	16.18	42.53

表 4 2006 年各试验处理土壤水文特征
Table 4 Soil hydrographic characteristics of different experimental treatments in 2006

小区	土壤含水量/%	毛管持水量/%	土壤饱和含水量/%	土壤贮水量/t·hm ²	渗透深度/cm	渗透速度/mm·min ⁻¹	渗透系数
T	12.38	22.25	38.03	425.57	22.0	17.92	16.05
CK	8.91	18.12	30.44	346.63	18.0	11.06	8.92

3.2.3 减少水土流失

2003—2006 年不同试验处理的水土流失状况列于表 5。结果显示,T 小区与 CK 小区相比较,在不同降雨量下,其土壤侵蚀量减少了 41.41%~75.20%,地

表径流量减少了 35.71%~57.05%,LSD 检验表明,不同年度 T 小区与 CK 小区水土流失量差异均为极显著。可见,陡坡地营建饲草玉米生物篱能有效减少水土流失,尤其土壤侵蚀量的减少更为明显,这说明生物篱对陡坡地泥沙的拦截效率高于对径流的拦截效率。从不同年度饲草玉米生物篱的滞流减沙效率来看,生物篱营建的第二年(2004 年)以后,径流量、侵蚀量的削减率均比第一年(2003 年)明显提高,并且变幅小,这说明随着生物篱的形成、稳定,其水土保持效果越明显、稳定。从典型次降雨水土流失状况来看,随着降雨强度的增大,饲草玉米生物篱对径流量、侵蚀量的削减率就越大,在短历时、高强度降雨时其减流截沙作用尤为明显,能显著延迟产流时间和延缓产流过程。

表 5 不同年度水土流失状况
Table 5 Water and soil loss data in 2003–2006

观测时间	降雨量/mm	小区	径流量/		侵蚀量/		N
			m ³ ·hm ⁻²	Cv	kg·hm ⁻²	Cv	
2003 年	763.0	T	313.75	0.17	15 560.20	0.27	20
		CK	488.05	0.21	26 559.21	0.35	20
		T 比较 CK/%	-35.71		-41.41		
2004 年	682.9	T	205.93	0.11	5 615.11	0.31	18
		CK	454.63	0.12	18 602.81	0.29	18
		T 比较 CK/%	-54.70		-69.82		
2005 年	561.6	T	175.80	0.22	3 986.33	0.36	14
		CK	409.29	0.26	11 068.05	0.39	14
		T 比较 CK/%	-57.05		-63.98		
2006 年	262.6	T	110.35	0.23	3 302.72	0.42	8
		CK	248.11	0.29	13 316.55	0.48	8
		T 比较 CK/%	-55.52		-75.20		

笔者认为,饲草玉米生物篱减少坡地水土流失的作用主要体现在 3 个方面:其一,饲草玉米的茎叶截留降雨,减少雨滴击溅侵蚀;其二,篱带及堆置在篱底的饲草玉米枯茎落叶形成一个个条带,截断了连续坡面,层层直接阻滞、拦蓄、分散了地表径流,降低了坡面水流流速与冲刷力,减少了细沟形成、发育;其三,植株根系能提高土壤水稳性团聚体的数量,其实质是通过生长活跃的≤1.0 mm 须根来发挥作用^[2],而饲草玉米根系发达,须根密集,其必然增加坡地土壤中水稳性团聚体的总量,改善土壤团粒结构,增强土壤抵抗径流和雨滴击溅对其分散、悬浮和运移的能力,从而遏制土壤侵蚀。而堆腐在篱间的枯茎落叶的分解,增加了土壤有机质,促进了团聚体的形成和发展,改

善了土壤的通透性能,从而减小了坡面径流损失。

坡地水土流失伴随着养分流失。坡地的养分流失主要由溶蚀携带和泥沙携带两部分组成,其中,泥沙携带的养分流失浓度远高于溶蚀携带的养分流失浓度^[22]。测定 2006 年次降雨各小区侵蚀土壤养分含量(表 6)可见,T 小区高于 CK 小区,这其一是因为 T 小区生物篱营建培肥了土壤而增加了侵蚀土壤养分含量,其二是因为土壤养分主要吸附于<0.02 mm 的颗粒,而 T 小区流失土壤以细小土粒为主。从年侵蚀土壤养分总量(表 7)来看,CK 小区高于 T 小区,这主要是由于 CK 小区土壤年侵蚀量远远高于 T 小区的缘故,因此,在库区坡地控制了土壤流失总量即能显著减少养分流失的总量,而生物篱对保持、提高土地生产力具有显著作用。

表 6 次降雨侵蚀土壤养分状况

Table 6 Nutrient features of eroded soil in typical individual rainfall

小区	有机质/ g·kg ⁻¹	全 N/ g·kg ⁻¹	全 P/ g·kg ⁻¹	全 K/ g·kg ⁻¹	碱解 N/ mg·kg ⁻¹	有效 P/ mg·kg ⁻¹	速效 K/ mg·kg ⁻¹
T	10.85	0.77	0.79	22.08	70.02	23.95	76.61
CK	9.11	0.63	0.71	21.40	62.25	22.18	71.55

表 7 2006 年侵蚀土壤养分总量

Table 7 Total amounts of nutrient contents of eroded soil in 2006

小区	有机质/ kg·hm ⁻²	全 N/ kg·hm ⁻²	全 P/ kg·hm ⁻²	全 K/ kg·hm ⁻²	速效 N/ g·hm ⁻²	速效 P/ g·hm ⁻²	速效 K/ g·hm ⁻²
T	30.55	2.16	1.91	55.90	195.53	70.17	269.52
CK	89.01	6.36	5.11	178.71	460.57	180.15	738.12

4 结论

(1) 饲草玉米在三峡库区的生长适应性强,在坡度大于 30° 的陡坡、荒山均能生长。在三峡库区推广应用饲草玉米对开展坡地退化生态系统的恢复,实现农户增收致富具有重要意义。

(2) 陡坡地营建饲草玉米生物篱显著改善了土壤理化性状,培肥了土壤,提高了地力。比较于对照陡坡荒地,土层厚度年均增加 2.07 cm,土壤容重减少 0.19 g·cm⁻³,粒径<0.02 mm 的颗粒含量增加 13.02%,现有土层贮水量增加 78.94 t·hm⁻²,土壤有机质含量增加 17.45%。

(3) 陡坡地营建饲草玉米生物篱的水土保持效益显著,其削减土壤侵蚀量、地表径流量的幅度分别达 41.41%~75.20%、35.71%~57.05%,在短历时、高强

度降雨时其滞流减沙作用尤为明显。同时,生物篱通过对坡面泥沙的有效拦截,从而减少了侵蚀泥沙中携带的养分流失总量,对防止三峡库区面源污染至关重要。

参考文献:

- [1] 陈国阶,徐 琪,杜榕桓,等. 三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京:科学出版社,1995:15-25.
CHEN Guo-jie, XU Qi, DU Rong-huan, et al. Three Gorges project on the ecological and environmental impacts and countermeasures [M]. Beijing: Science Press, 1995:15-25.
- [2] 钟 冰,唐治诚. 三峡库区水土流失及其防治 [J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 147-149.
ZHONG Bing, TANG Zhi-cheng. Soil and water loss and its control in Three Gorges region[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2001, 8(2): 147-149.
- [3] 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 [J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 56-59.
SHEN Yuan-cun. Improvement of land productivity by applying plant hedge-rows in the Three Gorges reservoir area[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(1): 56-59.
- [4] 李秀彬,彭业轩,姜 臣. 等高活篱笆技术提高坡地持续生产力探讨——以三峡库区为例[J]. 地理研究, 1998, 17(3): 309-315.
LI Xiu-bin, PENG Ye-xuan, JIANG Chen. The contour hedgerow technology in enhancing sustainable productivity of slope-lands—a case study of the Three Gorges area[J]. *Geographical Research*, 1998, 17(3): 309-315.
- [5] 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.
BU Chong-feng, CAI Qiang-guo, YUAN Zai-jian. Mechanism and effect of different contour hedgerow types on runoff and sediment erosion in Three Gorges reservoir area[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(4): 14-18.
- [6] Dabhey S M, Meyer L D, Harmon W C, et al. Depositional patterns of sediment trapped by grass hedges[J]. *Transaction of the ASAE*, 1995, 38(6): 1719-1729.
- [7] Alegre J C. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of peru[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1995, 57(1): 17-25.
- [8] Lim T T. Vegetated filter strip removal of cattle manure constituents in runoff[J]. *Transactions of the ASAE*, 1998, 41(5): 1375-1381.
- [9] Narain P. Agroforestry for soil and water conservation in western himalayan valley region of India [J]. *Runoff, Soil and Nutrient Loss Agroforestry Systems*, 1998, 39(2): 175-189.
- [10] De Costa W A J M. Environmental interactions between different tree species and mung bean in hedgerow intercropping systems in Sri Lanka[J]. *Agronomy and Crop Science*, 2000, 184(3): 145-152.
- [11] Tang Y, Xie J S, Chen K M, et al. Contour hedgerow intercropping technology and its application in sustainable management of sloping agricultural lands in the mountains[J]. *Research of Soil and Water Con-*

- vation(in Chinese), 2002, 8(1):104-109.
- [12] 施 迅. 坡地改良利用中活篱笆的种类选择和水平空间结构初步研究[J]. 生态农业研究, 1995, 3(2):49-53.
- SHI Xun. Species selection and horizontal structure design for living hedges in sloping land amelioration[J]. *Eco-Agriculture Research*, 1995, 3(2):49-53.
- [13] 许 峰, 蔡强国. 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.
- XU Feng, CAI Qiang-guo. The application of contour hedgerows in the humid mountainous areas of South China taking the purple soil slope land in the Three Gorges reservoir area[J]. *Journal of Mountain Research*, 1999, 17(3):193-199.
- [14] 孙 辉, 唐 亚, 王春明, 等. 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[J]. 山地学报, 2001, 19(2):125-129.
- SUN Hui, TANG Ya, WANG Chun-ming, et al. Contour hedgerow intercropping for exploitation and conservation of slope cropland in mountain areas[J]. *Journal of Mountain Research*, 2001, 19(2):125-129.
- [15] 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[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(4):345-351.
- ZHU Yuan-da, CAI Qiang-guo, ZHANG Guang-yuan, et al. Impact of hedgerow on the control of soil nutrient loss[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(4):345-351.
- [16] 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[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5):62-65.
- XIE Ting-sheng, LUO Lei. Research on natural vegetation recovery and erosion characteristic in the condition of building plant-fencing in corroded ditch of purple soil hills[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(5):62-65.
- [17] 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.
- LIN Chao-wen, TU Shi-hua, HUANG Jing-jing, et al. The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6):2191-2198.
- [18] 夏立忠, 杨林章, 李运东. 生草覆盖与植物篱技术防治紫色土坡地土壤侵蚀与养分流失的初步研究 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(2):28-31.
- XIA Li-zhong, YANG Lin-zhang, LI Yun-dong. Perennial alfalfa and contour hedgerow on reducing soil, nitrogen and phosphorus losses from uplands of purple soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2):28-31.
- [19] 任 勇, 唐祈林, 曹墨菊, 等. 新选育饲草玉米品系饲用营养价值初步研究[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(4):444-447.
- REN Yong, TANG Qi-lin, CAO Mo-ju, et al. Studies on forage nutritive value of forage maize [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2005, 6(4):444-447.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978:15-87.
- Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil physical and chemical analysis[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1978:15-87.
- [21] 吴 彦, 刘世全. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1):45-49.
- WU Yan, LIU Shi-quan. Study on improving soil water-stable aggregates amounts by botanic roots [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3(1):45-49.
- [22] 蒋光毅, 史东梅, 卢喜平, 等. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5):54-58.
- JIANG Guang-yi, SHI Dong-mei, LU Xi-ping, et al. Research on runoff and nutrient loss from slopeland of purple soil under different planting model[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5):54-58.