

## 农林复合经营模式对干热河谷退化坡地土壤水分参数的影响

孙 辉, 谢嘉穗, 唐 亚, 黄雪菊

(四川大学环境科学与工程系, 成都 610065)

**摘 要:** 土壤水分状况是制约金沙江干热河谷植被恢复和造林的主要因素, 改善土壤水分性质是实现该区域生态恢复重建和农业持续发展的必然途径。长期的实验和示范结果显示等高植物篱模式是一种非常适合干旱河谷环境的有极大应用潜力的水土保持和肥力改善、退化生境重建和植被恢复的农林复合经营模式。经过实地研究和实验室分析, 结果表明等高固氮植物篱模式 0~30 cm 和 30~70 cm 土层容重与对照分别在 0.05 和 0.10 水平差异显著, 而对 70 cm 以下土壤无显著差异; 0~30 cm 土壤水总库容和有效库容分别比对照提高了 5.5% 和 42.4%, 30~70 cm 土壤水总库容和有效库容分别提高了 5.8% 和 32.6%; 土壤饱和导水率、吸渗率和稳定入渗率比对照增大, 同时比对照土壤提高低吸力段土壤比水容量和土壤饱和含水量, 从而有效改善了坡地退化土壤的水分入渗性能和水分状况。

**关键词:** 等高固氮植物篱; 坡耕地; 土壤水分参数; 金沙江干旱河谷

中图分类号: S152.7; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)03-0025-03

## Impacts of Hedgerow Intercropping on Soil Water Parameters of Degraded Slopeland in Dry Valley of the Jinsha River

SUN Hui, XIE Jia-sui, TANG Ya, HUANG Xue-ju

(Department of Environmental Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Soil moisture status are the dominating contributors to revegetation and reforestation in degraded dry valleys of the Hengduan Mountains, and improvement of soil moisture parameters is the only alternative to ecological restoration and agricultural sustainable development in the region. Contour hedgerow system was proved to be a promising simultaneous agroforestry system for soil conservation, soil fertility improvement and more farming options for sloping agriculture in these valleys. A long-term research work was carried out in the typical dry valley of the Jinsha River. Soil bulk densities of the 0~70 cm layer are ameliorated by the hedgerow intercropping. Total water capacities and available water capacities of 0~30 cm layers under hedgerow system are improved 5.5% and 42.4%, and improved 5.8% and 32.6% in the 30~70 cm layers compared with those of CK, respectively. Soil infiltration rate, saturated hydraulic conductivity and soil specific water capacities of lower suction stage are also increased under the hedgerow intercropping system.

**Key words:** contour hedgerow system; sloping arable land; soil moisture parameters; dry valley of the Jinsha River

干旱河谷是分布在横断山区金沙江、怒江、澜沧江、元江、雅砻江、岷江、大渡河、安宁河等及其支流的河谷的部分地段, 垂直幅度 200~1 000 m, 干旱河谷总长 4 105 km, 总面积 11 230 km<sup>2</sup>。干旱河谷光热资源丰富, 人口稠密, 是横断山区农业和城镇发展的中心。该区域山高谷狭, 地质活跃, 生态脆弱, 很多县坡耕地比例高达 80% 以上, 绝大部分为雨育农业, 同时降雨集中且严重季节分配不均, 雨季水土流失和重力侵蚀极为严重, 因而也是长江中上游水土流失重点治理区域。由于横断山区是“西部的西部”, 交通不便, 经济落后。对光热资源相对较好的干旱河谷区, 如何通过对退化生态系统

的生态恢复重建实现其土地的可持续利用, 对本区乃至整个流域经济持续发展和生态环境建设都具有重要意义。

近年来, 国内外对植物篱种植模式进行了大量的试验与研究, 如 Kiepe 等在肯尼亚半干旱区坡耕地上对植物篱模式下土壤物理性质作了研究<sup>[1]</sup>, Agus 对菲律宾植物篱种植模式下土壤水分的空间分异作了探索<sup>[2]</sup>。已有的研究和试验示范表明, 等高固氮植物篱种植作为一种农林复合经营模式, 在减少坡地水土流失、改良土壤、增加农作物产量等方面, 均有良好的效果<sup>[3~9]</sup>。干旱河谷由于其独特的降雨季节性分布格局、气候环境和土壤状况, 与国外热带地区具有显著差别, 生态恢

收稿日期: 2004-05-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040800); 教育部“振兴行动”计划和四川大学青年科技基金资助

作者简介: 孙辉(1971-), 男, 博士, 副教授, 发表论文 20 余篇, 主要从事农林复合经营及环境土壤学方面的研究工作。

复和农业发展的最大制约因素就是水分,特别是土壤水分。因此,干旱河谷区农业一般为雨季农业,而植树造林的难关就是度过初期的旱季极端干旱的胁迫,改善土壤水分的有助于植树造林的初期越过早季的难关,提高旱季土壤的农业利用率。本文对金沙江干热河谷区坡耕地长期应用等高固氮植物篱模式后土壤物理性质变化的研究,探索该模式对干热河谷侵蚀坡耕地退化土壤水分性质的影响,以便更好利用这种模式实现该区域广大面积退化坡耕地的治理和生态恢复重建。

1 实验材料与方法

1.1 实验地点背景概述

等高固氮植物篱实验地点位于宁南县六铁镇增建村马桑坪,是彝族聚居区。坡向西南,距离宁南县城 45 km;实验地海拔 1 400~ 1 485 m。实验区面积 12 hm<sup>2</sup>,种植双行新银合欢(*L. eucaena leucocephala*)植物篱 30 000 m,山毛豆植物篱 500 m,引种实验树种 30 余种。实验点年均降雨量,约 87% 分布在 5~ 10 月的雨季。年均温 14.7℃,其中 7 月均温 20.9℃,1 月均温 6.6℃。农作物有马铃薯、玉米、花生和甘薯,经济作物有甘蔗、脐橙、烤烟和桑树等。土壤为表蚀筒育干润富铁土(褐红壤),母质为玄武岩坡残积物发育的古红色风化壳,风化彻底,砾石少,具深厚的红色黏土层,心土和底土棕红色,质地黏重,有大量褐色铁锰胶膜和软铁子,由于气候干燥,蒸发强烈,土壤复盐基作用明显;植被为扭黄茅和少量次生旱生灌丛。

1.2 实验方法

实验土壤采自新银合欢植物篱复合经营系统的作物种植带中间土壤,对照采用相邻的未种植植物篱的长期种植农作物的侵蚀坡耕地。

土壤容重采用环刀法测定;土壤水分特征曲线采用环刀取原状土,压力膜法测定,15 MPa 为按原容重重装土测定;土壤饱和导水率采用美国 Soil Physics Instruments Decagen Device 公司生产的渗透计(Disk infiltrometer)测定。该仪器通过测定土壤水分入渗确定土壤导水率。

2 实验结果与分析

2.1 土壤水库容

土壤总库容是指土壤剖面孔隙容积。如以> 30 kPa 时土壤含水量计算土壤可容纳的水分总量为贮水库容,以> 1 500 kPa 时的土壤水分容积为无效库容,30 kPa~ 1 500 kPa 为土壤有效库容,土壤的通气库容为总库容与贮水库容之差。

表 1 为传统坡耕地与等高植物篱模式中种植带土壤剖面的土壤水库容特征。坡耕地培植等高植物篱经营 5 年后,0~ 30 cm 土壤水总库容和有效库容分别提高了 5.5% 和 42.4%,30~ 70 cm 土壤水总库容和有效库容分别提高了 5.8% 和 32.6%。这说明植物篱模式可以有效提高坡耕地土壤的有效水库容。

表 1 不同处理下土壤剖面水库容 mm									
处 理	坡耕地				植物篱作物种植带				
土壤层次/cm	0~ 30	30~ 70	70~ 160	合计	0~ 30	30~ 70	70~ 160	合计	
总库容	140.89	180.15	392.77	713.81	148.70	190.57	405.17	744.43	
贮水库容	116.96	157.36	343.89	618.21	126.03	165.48	358.74	650.25	
有效库容	43.77	57.04	121.50	222.31	62.34	75.62	157.83	295.80	
无效库容	73.18	100.32	222.39	395.89	63.69	89.86	200.91	354.45	
通气库容	23.93	22.79	48.88	95.61	22.66	25.09	46.43	94.18	

2.2 剖面当量孔隙分布

土壤中不同孔径的孔隙对水分产生不同的吸力,根据不同吸力下的土壤水分含量,就可测算出土壤中不同孔径的孔隙分布状况。不同处理的孔隙分布列于表 2。表土的毛管孔隙高于深层土壤的毛管孔隙,植物篱模式下作物种植带土壤毛管孔隙远高于 CK 相应土层的毛管孔隙,这说明植物篱对土壤的毛管孔隙有较大的影响。

2.3 不同处理土壤入渗特征和饱和导水率

土壤饱和导水率采用美国 Soil Physics Instruments Decagen Device 公司生产的渗透计(Disk infiltrometer)测定。该仪器通过测定土壤水分入渗确定土壤导水率。土壤累积入渗量可用下面经验公式拟合:

表 2 土壤剖面当量孔隙分布 %						
处理	CK			作物种植带		
土壤层次/cm	0~ 30	30~ 70	70~ 160	0~ 30	30~ 70	70~ 160
总孔隙度	46.96	45.04	43.64	49.57	47.64	45.02
< 1200μm	38.99	43.34	38.21	45.00	41.37	39.86
1200~ 50μm	2.11	1.03	1.94	2.39	2.31	1.86
50~ 30μm	0.89	0.55	0.91	0.66	0.95	0.78
30~ 10μm	2.09	1.43	1.61	2.40	2.33	2.25
10~ 1μm	1.71	1.53	1.72	2.44	2.33	1.83
1~ 0.8μm	2.54	3.05	3.26	4.61	4.37	4.44
0.8~ 0.2μm	5.25	3.68	4.08	8.29	6.61	6.39
< 0.2μm	24.39	32.08	24.71	24.21	22.46	22.32
30~ 0.2μm	11.59	9.68	10.65	17.73	15.65	14.90

$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$   
式中:  $I$ ——累积入渗量,  $t$ ——时间,  $C_1$ 、 $C_2$ ——拟合常数。而导水率

$k = C_1/A$   
式中:  $A$ ——与 van Genuchten 土壤方程参数和渗透计本身特性有关的参数<sup>[10, 11]</sup>。

表 3 是不同处理下土壤饱和导水率。植物篱模式使土壤饱和导水率比 CK 高,但各相应土层的土壤饱和导水率并无显著差异,这可能与渗透计测量本身有关,接触面积太小。对土壤容重检验结果表明,0~ 30 cm 和 30~ 70 cm 土层容重分别在 0.05 和 0.10 水平差异显著,而对 70 cm 以下无显著差异。

表 3 土壤剖面饱和导水率和饱和含水量				
处理	土层/cm	饱和导水率 /(cm · s <sup>-1</sup> )	饱和含水量 /%	土壤容重
CK	0~ 30	3.88E- 04	39.29	1.41
	30~ 70	3.06E- 04	38.84	1.46
	70~ 160	8.16E- 05	37.51	1.49
作物种植带	0~ 30	7.55E- 04	42.42	1.34
	30~ 70	5.10E- 04	40.57	1.42
	70~ 160	3.17E- 04	38.68	1.36

土壤入渗采用渗透计测定。土壤的入渗过程可用 Philip 入渗模型拟和。

$I(t) = S t^{1/2} + A t$   
式中:  $I(t)$ ——水分累计入渗量;  $S$ ——吸渗率,  $A$ ——稳定入渗率。测量结果列于表 4。从表中可以看出,植物篱模式下稳定入渗率高于 CK 相应土层,而吸渗率差异不大。

表 4 不同处理下土壤 Philip 入渗模型拟合的水分入渗特性

处理	土层/cm	吸渗率	稳定入渗率	$R^2$
CK	0~ 30	0.0068	0.0019	0.9708
	30~ 70	0.0019	0.0015	0.9374
	70~ 160	0.0063	0.0004	0.9386
作物种植带	0~ 30	0.0057	0.0037	0.9936
	30~ 70	0.0035	0.0051	0.9934
	70~ 160	0.0048	0.0018	0.9960

2.4 土壤剖面水分特性曲线

土壤水分特征曲线在高水势段主要取决于土壤结构, 在低水势段主要取决于土壤质地。因此高水势段采用环刀原状土测定, 低水势段采用重塑测定。土壤水分特征曲线反映了土壤水分数量与能量的关系。土壤水吸力  $s$  与体积含水量  $\theta$  之间的关系常用经验公式拟合:

$$S = \alpha \theta^b$$

式中:  $a, b, A, m, n$ ——经验常数。植物篱种植模式下作物种植带和 CK 的土壤水分特征曲线如表 5 所示。

表 5 植物篱种植模式与 CK 的土壤水分特征曲线

土壤层次/cm	处理	$a$	$b$	$R^2$
0~ 30	对照	1E+ 20	- 13.442	0.9512
	植物篱作物带	2E+ 14	- 9.3837	0.9101
30~ 70	对照	1E+ 21	- 14.218	0.962
	植物篱作物带	4E+ 14	- 9.7543	0.9371
70~ 160	对照	2E+ 25	- 16.762	0.9576
	植物篱作物带	9E+ 14	- 10.0600	0.9274

2.5 土壤剖面比水容

根据前面所得的土壤水分特征曲线  $S = \alpha \theta^b$  拟合结果, 可得到土壤比水容量方程:

$$C = - \frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{ab} \theta^{b+1} = - \frac{1}{a} b^{-1} S^{\frac{1}{b+1}}$$

表 6 是不同水势段的土壤比水容。可以看出植物篱模式下作物种植带在 30~ 300 kPa 吸力段土壤的释水性能优于 CK, 同一处理上层土壤优于中层土壤, 中层土壤优于深层土壤。庄季屏等认为比水容低于  $10^{-2}$  数量级时即为难效水<sup>[11]</sup>, 实验区土壤绝大部分在 30~ 300 kPa (深层土壤甚至在 10 kPa 时) 比水容即降低到  $10^{-2}$  级, 而此时植物生长仍然正常, 并无水分胁迫现象, 这说明该指标对干旱河谷区褐红壤可能不适用, 或者是因为某些植物对干旱适应的原因。

表 6 不同水势段土壤比水容 kPa

处理	CK			作物种植带		
土层/cm	0~ 30	30~ 70	70~ 160	0~ 30	30~ 70	70~ 160
2.5kPa	6.98E- 01	8.47E- 01	2.90E- 01	7.79E- 01	5.36E- 01	7.12E- 01
6.0kPa	3.12E- 01	3.84E- 01	1.82E- 01	4.43E- 01	3.16E- 01	3.98E- 01
10kPa	2.19E- 01	2.60E- 01	1.41E- 02	3.76E- 01	2.52E- 01	3.09E- 02
30kPa	9.26E- 02	1.28E- 01	7.14E- 03	2.04E- 01	1.27E- 01	1.63E- 02
100kPa	4.39E- 02	5.80E- 02	3.35E- 03	1.05E- 01	6.99E- 02	8.22E- 03
300kPa	1.34E- 02	1.14E- 02	6.61E- 04	2.66E- 02	1.43E- 02	1.98E- 03
1500kPa	8.02E- 04	1.11E- 03	7.42E- 05	1.25E- 03	8.86E- 04	1.44E- 04

参考文献:

[1] Kiepe P. No runoff, no soil loss: soil and water conservation in hedgerow barrier system [M]. Wageningen, Wageningen Agricultural University, 1995

[2] Agus F, Cassel D. K, Garrity D. P. Soil water and soil physical properties under contour hedgerow systems on sloping oxisols[J]. Soil & Tillage Research, 1997, 40: 185- 199.

不同处理土壤在各吸力段的释水量列于表 7。结果与土壤比水容有相同趋势, 植物篱种植模式可以明显增加 30 kPa ~ 300 kPa 吸力段的释水量, 这有助于解释植物篱种植模式显著改善土壤水分状况的原因<sup>[5]</sup>。

3 讨论

土壤物理性质和水分参数的改善, 关键是由于植物篱引入坡耕地种植系统后, 对作物种植带输入大量植物篱的刈割枝叶和凋落物, 显著增加土壤有机质<sup>[6]</sup>, 改善土壤团粒结构, 从而改善土壤物理性质; 植物篱对深层土壤物理性质的影响主要是通过根系对深层土壤的作用, 特别是根系分泌物和死亡细根增加了深层土壤有机质, 促进土壤生物活动的结果。

坡耕地在传统耕作下土壤侵蚀极为严重, 土壤有机质损失严重, 加上农作物长势差, 有机质输入少, 加之干旱河谷干湿交替明显的气候, 土壤有机质矿化损失大, 土壤团粒结构遭到破坏, 表层土壤丧失殆尽, 砾石化或沙化现象普遍发生, 导致土壤物理和水分性质恶化。植物篱种植模式土壤物理性质改善的另一个因素是由于植物篱种植大大减少了土壤侵蚀的发生, 保护了上层耕作层熟化土壤和有机质的损失。这可能是等高固氮植物篱种植有利于改善水分性质的另外一方面的原因。

表 7 不同水势段的释水量 %

处理	CK			作物种植带		
土层/cm	0~ 30	30~ 70	70~ 160	0~ 30	30~ 160	70~ 160
2.5~ 6.0kPa	2.11	1.94	1.03	2.39	2.31	1.86
6.0~ 10kPa	0.89	0.91	0.55	0.66	0.95	0.78
10~ 30kPa	2.09	1.61	1.43	2.40	2.33	2.25
30~ 100kPa	1.71	1.72	1.53	2.44	2.33	1.83
100~ 300kPa	2.54	3.26	3.05	4.61	4.37	4.44
300~ 1500kPa	5.25	4.08	3.68	8.29	6.61	6.39

已报道的在金沙江干旱河谷区坡耕地研究表明等高固氮植物篱作为一项山地恢复生态工程, 可以减少坡耕地地表径流 26% ~ 60%、土壤侵蚀减少 97% 以上<sup>[4~ 6]</sup>; 尹迪信等报道植物篱可减少坡耕地径流 18% 以上, 土壤侵蚀由 43.2 t/hm<sup>2</sup> 减少到 4 t/hm<sup>2</sup>; 许峰等报道植物篱种植模式下坡耕地径流和土壤侵蚀分别为对照的 24.8% 和 16.9%<sup>[8, 9]</sup>; 王正秋报道了陕北应用等高灌木带可以减少径流 30% 以上, 减少土壤侵蚀 50% 以上, 同时增加植被覆盖度 15% ~ 20%<sup>[13]</sup>。从这些报道结果可以看出, 植物篱种植模式在我国亚热带地区也可以有效控制坡耕地水土流失, 同时减少坡耕地的养分流失。由此看来, 植物篱种植模式可有效控制坡耕地土壤侵蚀和减少地表径流, 这不但与植物篱的物理拦截降低地表径流速度有关, 更重要的是植物篱种植模式对土壤水分参数的改善, 增加水分的入渗量和扩大土壤水分周转库容 (有效库容)。等高植物篱种植可改善干旱河谷退化坡耕地土壤水分参数, 因此这项技术在干旱河谷坡耕地植被恢复和水土保持方面取得了良好效果, 这对于该区域的退耕还林、生态恢复重建以及山地农业转型提供了理论依据和新的思路。

线。为便于研究和计算,现将各条线进行回归分析,得到用多项式表示的日蒸腾速率变化方程:

$$y = \sum_{i=1}^4 a_i x^i + b \quad (2)$$

式中:  $x = t/24$ ,  $t$ ——时间(24 时制), 单位为 h;  $y$ ——蒸腾速率, 单位为  $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ ,  $i$ ——多项式的次数, 系数  $a_i$ ,  $b$  及相关系数见表 2。

表 2 赖草日蒸腾速率回归方程的系数和相关系数

曲线类型	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$b$	$R$
$P = 5 \ 56\%$	3546.9	42922	- 77024	37863	251.77	0.8690
$P = 11 \ 11\%$	- 3840.1	37473	- 64658	31171	204.24	0.8806
$P = 16 \ 67\%$	- 3996.4	32971	- 55082	26175	209.91	0.9052
$P = 33 \ 33\%$	356.11	24415	- 49762	26227	- 773.8	0.9656
$P = 44 \ 44\%$	- 6249	39329	- 63628	30887	91.4	0.9813
$P = 50\%$	- 2054	27150	- 49003	24675	- 436.2	0.9839
$P = 66 \ 67\%$	36060	- 81449	82807	- 32895	- 5359.4	0.9998
$P = 77 \ 78\%$	- 13507	54802	- 77653	35689	1048.7	0.9700
$P = 94 \ 44\%$	36060	- 81449	82807	- 32895	- 5359.4	0.9998
平均线	- 9684	38266	- 52804	22950	762.01	0.9570

#### 4 结果与说明

(1) 赖草的蒸腾速率在一天之中是变化的, 如果把大于日平均蒸腾速率过程线的蒸腾日称为高蒸腾日, 小于日平均蒸腾速率过程线的蒸腾日称为低蒸腾日, 那么高蒸腾日表现为双峰特性, 且午后高蒸腾可维持到 20: 00; 低蒸腾日双峰

不明显, 且在中午 12: 00~ 16: 00 是一天之中蒸腾最大时段且比较稳定。这与一些学者得出的结论是一致的。

(2) 赖草全生育期蒸腾速率总是在上、下两条包络线之间变化, 就所在研究年份(2003)而言, 赖草的日平均蒸腾速率过程线可表示为:

$$y = 22950x^4 - 52804x^3 + 38266x^2 - 9684x + 762.01$$

式中:  $y$ ——赖草的蒸腾速率,  $(\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$ ;  $x = t/24$ ,  $t$  为时间(24 小时制), h。

上式的相关系数为 0.957, 具有较好的相关关系。这可以作为赖草全生育期蒸腾量计算的依据。

不同季节蒸腾速率的日变化可表示为下面的多项式:

$$y = \sum_{i=1}^4 a_i x^i + b$$

系数  $a_i$  和  $b$  及相关系数见表 2。这对于进一步研究赖草蒸腾速率的日、月和季变化规律及其赖草蒸腾速率的标准变化过程线具有参考作用。

(3) 由于观测中夜间蒸腾量的蒸腾值进行了有限的几次, 数据点相对较少, 因而使用回归多项式计算早晨 6: 00 前和晚上 20: 00 后的平均蒸腾速率有较大的误差, 利用式(2)进行计算出现“-”值时按 0 处理。

(4) 本研究观测资料为 2003 年 5~ 9 月份, 不同年份蒸腾速率与当年气象资料密切相关, 其赖草生育期平均蒸腾速率与主要气象要素尤其是年降雨量的关系尚待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 20- 21.
- [2] 张国盛, 王林和, 董智, 等. 毛乌素沙地几种植物蒸腾速率的季节变化特征[J]. 内蒙古林学院学报, 1998, 20(1): 7- 12.
- [3] 宋炳煌. 草原群落蒸发蒸腾的研究[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(3): 222- 235.
- [4] 孙铁军, 朴顺姬, 宋炳煌, 等. 退化羊草草原的群落蒸发蒸腾[J]. 中国沙漠, 2000, 20(增刊): 70- 72.
- [5] 杨宝珍, 董学军, 高琼, 等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)的蒸腾作用及其群落的水分状况[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 161- 170.

#### (上接第 27 页)

- [3] 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- 5.
- [4] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 48- 51.
- [5] 孙辉, 唐亚, 赵其国. 干旱河谷区坡耕地植物篱种植系统土壤水分动态研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 84- 87.
- [6] 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研究[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(5): 473- 477.
- [7] 蔡强国, 黎四龙. 植物篱减少侵蚀的原因分析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 54- 60.
- [8] 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: 193- 199.
- [9] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究[J]. 地理研究, 2000, 19: 303- 310.
- [10] Carsel R F, Parrish R S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics [J]. Water Resource Research, 1988, 24: 755- 769.
- [11] Zhang R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer [J]. Soil Sci Soc Am. J., 1997, 61: 1 024- 1 030.
- [12] 庄季屏, 王伟. 土壤低吸力段持水性能及其与早期土壤干旱的关系研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(4): 306- 312.
- [13] 王正秋. 试论等高灌木带在陕北丘陵区生态环境建设中的作用[J]. 中国水土保持, 2000, (8): 26- 28.