

## 黄土高原不同立地条件下刺槐生长与水分关系研究

单长卷<sup>1</sup>, 梁宗锁<sup>1,2</sup>, 郝文芳<sup>2</sup>, 刘淑明<sup>2</sup>

(1. 中国科学院、水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:**对黄土高原丘陵沟壑区3种立地下的刺槐生长状况与土壤水分条件的关系进行了研究。对生长中期和生长末期3种立地刺槐的蒸腾速率及与其有关的环境因子进行了测定。结果表明:在生长初期、中期、末期3个时期半阴坡、半阳坡、阳坡3种立地间土壤水分的差异均达极显著水平。半阴坡的蒸腾与半阳坡差异不显著,与阳坡差异极显著,蒸腾速率与光强和土壤水分有明显的相关关系。3种立地条件下刺槐新枝生长的差异达显著水平,胸径生长与土壤水分显著相关,新枝生长与土壤水分相关关系达极显著水平,这说明土壤水分是影响不同立地条件下刺槐生长差异的主要因子之一。

**关键词:**黄土高原;刺槐;立地;生长;土壤水分

**中图分类号:**S792.270.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-7461(2004)02-0009-06

### Relationship Between Growth of Locust and Soil Water in the Different Habitats on the Loess Plateau

万方数据

SHAN Chang-juan<sup>1</sup>, LIANG Zong-suo<sup>1,2</sup>, HAO Wen-fang<sup>2</sup>, LIU Shu-ming<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
2. NW Sci-Tech and Univ. of Agr. and For., Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Relationship between growth of locust and soil water in three different habitats on the Loess Plateau in north of Shaanxi were studied. The three different habitats are semi-shady, semi-sunny and sunny hillside. The data of DBH(diameter at breast height), growth of twig, water content of soil, transpiration rate and environment factors collected from field were studied. The results showed that the difference of twig growth was marked at initial stage, middle stage and last stage of growth, the order from long to short was semi-shady hillside, semi-sunny hillside and sunny hillside. As to soil water content, the difference was also obvious among three habitats. The transpiration was higher under better soil water condition and the growth was also better. This suggested that the soil water conditions of different habitats decided the growth. Relative relationship was found between transpiration and light intensity, soil water condition. Meanwhile, some problems are discussed.

**Key words:** Loess Plateau; *Robinia pseudoacacia*; habitats; growth; soil water

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)属豆科植物,落叶乔木,具有抗旱、速生和耐瘠薄等特点,是黄土高原干旱半干旱区植被恢复的主要人工林树种之一,对改善生态环境,防止水土流失,乃至对调节黄河水

文状况发挥着重要的作用<sup>[1,2]</sup>。刺槐具有发达的根系,对土壤深层水分可加以利用,但在土壤水分长期亏缺的环境中,刺槐的生长受到严重影响,使其形成小老树林。林地的土壤水分亏缺导致土壤干层的形

收稿日期:2003-10-28

基金项目:国家自然科学基金(90302005);中国科学院西部之光人才基金项目(2001)和知识创新(KZCX01-6)

作者简介:单长卷(1978-),男,山东巨野人,在读硕士,主要从事植物生理、生态方面的研究。

成,进一步恶化了林地的水分生态环境,使刺槐生长受到更严重影响。因此,对黄土高原刺槐生长与土壤水分关系的研究在植被建设和恢复中具有举足轻重的意义。

水分和养分是黄土高原地区制约林木生长的主导因素<sup>[3]</sup>,特别是丘陵沟壑区,由于丘陵,沟壑纵横,不同立地光热和降水的再分配,造成其水分条件的差异<sup>[4]</sup>。本文选择3种典型立地对刺槐生长与水分的关系进行了初步研究。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

试验区位于陕西省延安安塞县高桥乡任台流域,属黄土丘陵沟壑区,气候属中温带大陆性季风气候,在植被区划上属于森林草原带。年日照时数为2 397.3 h,年总辐射量为493 kJ/cm<sup>2</sup>,年均气温8.8℃,≥10℃的积温为3 524.1℃,年降水量为513 mm,年际变率大,枯水年只有300 mm左右,丰水年在700 mm以上,年内分配不均,主要集中于7~9月,年蒸发量大于1 463 mm。土壤为黄绵土。植被类型主要为人工林和天然草地。

在试区内选择不同坡向的3种典型立地类型(表1):半阴坡、半阳坡和阳坡。

表1 3种立地基本情况

Table 1 The conditions of three habitats

立地	树龄 /a	海拔 /m	坡度 /°	林分密度 /株·hm <sup>-2</sup>	灌草生物量 /kg·hm <sup>-2</sup>
半阳坡(西坡)	11	1 200	28	2 800	3 300
阳坡(北坡)	11	1 240	26	2 300	1 666
半阴坡(东坡)	11	1 195	17	3 000	4 580

## 2 结果与分析

### 2.1 不同立地条件土壤水分的差异及土壤干层现状的分析

2.1.1 不同立地条件土壤水分的差异 在生长季内,6、7月份的降雨量较大,分别为166.6 mm和104.9 mm,约占生长季总降雨量的56.2%,但黄土高原属于典型的雨热同季气候,在降雨量大的同时蒸发量也大,再加上各立地自身立地条件的差异、地表蒸发以及刺槐林分蒸腾耗水的差异,最终造成了不同立地间土壤含水率及水分状况的差异。表2是2002年生长季内不同时期3种立地条件下土壤含

### 1.2 测定指标及方法

1.2.1 土壤含水量的测定 在生长初期、中期和末期各样地各测一次土壤水分,每次3次重复,取样深度为600 cm,每20 cm为一层,分别取样测定,烘干法求其土壤含水量。

1.2.2 蒸腾速率及相关环境因子的测定 蒸腾速率的测定:用Li-1600型稳态气孔计测定。在7~9月,各样地选择典型天气进行测定,从7:00至19:00,每隔2 h测1次,每次3次重复。光照强度、大气相对湿度及气温,用Li-1600型稳态气孔计与蒸腾速率的测定同步进行。

1.2.3 生长量测定 在各样地各选择15株刺槐,在生长初期、生长中期和生长末期各样地对15株标准木各测一次胸径、新枝长度。

1.2.4 土壤贮水量计算 根据公式 $W = 0.1RVH$ ,其中, $W$ 为土壤贮水量(mm), $R$ 为土壤含水率(%), $V$ 为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>), $H$ 为土层深度(cm)。根据公式<sup>[5]</sup> $W_t = W_f + P_x - E_t$ 计算林地水分平衡,其中 $W_t$ 为某一时期末土壤贮水量, $W_f$ 为时段初期土壤贮水量, $P_x$ 为该时期降水量, $E_t$ 为该时期林地耗水量, $\Delta W = W_t - W_f$ , $W_t$ 、 $W_f$ 分别为0~300 cm各立地生长季初(5月)、末(9月)土壤贮水量的差值。

水率的方差分析结果,从中可看出,在生长初期和中期及生长末期3种立地的土壤平均含水率的差异均达极显著,其中中期的差异最大。土层间的差异也达极显著,且随生长的进行其差异逐渐减小,这可能与生长季内刺槐的生长而对土壤水分的强烈消耗有关。经多重比较(表3),半阴坡、半阳坡与阳坡土壤平均含水率间差异达显著水平,半阴坡与半阳坡差异不显著。

从表4可知,生长季内3种立地条件下刺槐林地的耗水量和林地消耗土壤水分量的大小顺序均为半阴坡>半阳坡>阳坡。植物蒸腾和地表蒸发是林地水分消耗的主要形式,但因蒸腾而消耗的林地水

分要大于因地表土壤蒸发而消耗的水分。对半阴坡和半阳坡来说,尽管其地表蒸发较阳坡要少,但其刺槐生长状况及林下灌草生长情况都要好于阳坡,加上林分密度大,因而蒸腾消耗的水分量要大于阳坡,半阳坡林地耗水量及消耗土壤水的量与半阴坡相差不多,这与两立地刺槐林分密度及林下植被生长都较大有关。从表 4 还可看出,在生长初期和生长末期 0~300 cm 土壤储水量的多少顺序均为半阴坡>半阳坡>阳坡,这就说明 3 种立地条件土壤水分状况的优劣次序为半阴坡>半阳坡>阳坡。

表 2 立地土壤含水率方差分析  
Table 2 Error analysis on water content of soil in different habitats

时间	变异来源	自由度	方差	F
生长初期(5 月)	立地间	2	10.52	18.05 **
	土层间	29	18.96	32.54 **
	误差	180	0.58	
	总变异	211		
	立地间	2	12.35	18.54 **
生长中期(7 月)	土层间	29	10.17	15.28 **
	误差	180	0.67	
	总变异	211		
	立地间	2	7.09	16.40 **
	土层间	29	6.19	12.83 **
生长末期(9 月)	误差	180	0.48	
	总变异	211		

表 3 不同立地不同生长时期土壤含水率差异性比较  
Table 3 Difference of average of soil water in different habitats

立地	生长初期(5 月)	生长中期(7 月)	生长末期(9 月)
半阳坡(西坡)	8.22a	7.30a	7.60a
阳坡(北坡)	7.40b	6.50b	6.90b
半阴坡(东坡)	8.23a	7.40a	7.80a

表 4 3 种立地 0~300 cm 林地水分平衡  
Table 4 The total table of every quantity of water balance in woodland in three habitats

立地	$W_i/\text{mm}$	$P_x/\text{mm}$	$W_f/\text{mm}$	$E_b/\text{mm}$	$\Delta W/\text{mm}$
半阳坡(西坡)	325.55	479.4	267.75	504.6	-57.8
阳坡(北坡)	251.17	479.4	201.9	496.07	-49.27
半阴坡(东坡)	346.88	479.4	288.26	505.42	-58.62

从图 1 可知,在生长季初期 0~20 cm 3 种立地条件下土壤含水率均较小,在 5.5% 左右。20~40 cm,半阴坡和半阳坡的土壤含水率均大于 9%,而阳坡的低于 8%。这是因为阳坡的地势较高,风力大,接受的太阳辐射量和日照时数大于半阳坡和半阴坡,因而地表土壤蒸发较大<sup>[6]</sup>。在 40~260 cm,各立地的土壤含水率变化情况基本相同,在 260~600 cm,3 种立地条件下土壤含水率普遍较低,半阴坡最低时为 6.5%,半阳坡为 5.9%,阳坡为 5.3%。

从图 2 可以看出,在生长中期,0~20 cm 的土壤含水率仍是阳坡较低,这与其强烈的地表蒸发有关。20~60 cm,3 种立地的土壤含水率均有所升高,主要是由于降雨的人渗,使土壤水分得到补给。在 60~220 cm,3 种立地的土壤含水率与生长初期相比均有大幅度降低。在 220~600 cm,3 种立地的土壤含水率较生长初期,略有降低,这与各立地刺槐生长对土壤深层水分的消耗有关。在生长中期(6~8 月),正值雨季,除 8 月降雨只有 49.4 mm 外,其他月均在 100 mm 以上,但从图 2 可看出,各立地土壤水分并未得到较好的补给,除 20~60 cm 土层含水率有所提高外,其他各层均呈降低趋势,这可能是与 6、7 月份的降雨多为暴雨,降雨强度较大,使大量降雨难以就地入渗,而以径流方式流失有关,土壤水分得到的补给较少,不能满足植物旺盛生长对土壤水分的强烈消耗。

图 3 表明,经过生长中期刺槐对土壤水分的强烈消耗,各立地除 0~40 cm 土层含水率有所升高外,其他各层均降低,尤其是 40~200 cm 范围的土

层。由于 0~40 cm 是土壤水分活跃层,其含水率受气候影响较大,土层含水率的升高可能与生长末期气温降低、地表蒸发减少有关。与生长初期相比,在生长末期各立地 200~600 cm 各土层土壤含水率均降低,这说明 3 种立地条件下在生长季内不仅对土壤浅层水分进行消耗,而且通过其根系对土壤深层的水分进行了消耗。对比图 1 和图 2 及图 3 可知,3 种立地条件下土壤水分的次序为半阴坡>半阳坡>阳坡。

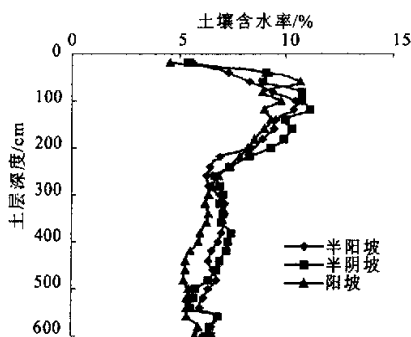


图 1 生长初期不同立地条件下土壤含水率

万方数据 Water content of soil under different habitats

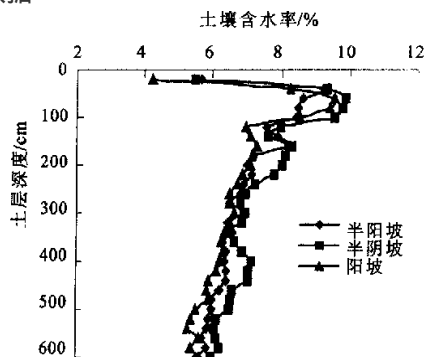


图 2 生长中期不同立地条件下土壤含水率

Fig. 2 Water content of soil in different habitats

2.1.2 3 种立地条件下土壤干层现状的分析 土壤干层是黄土高原特有的土壤水文现象,是土壤某一深度因水分的过度消耗而形成的低湿层<sup>[7]</sup>。近年来对刺槐林地土壤干层的研究已有不少,其中王力等<sup>[8]</sup>对土壤干层的量化指标和分级进行了探讨,据水分亏缺程度对刺槐生长的影响将土壤干层划分为轻度干层(含水量为 9%~12%)、中度干层(含水量为 6%~9%)和严重干层(含水量<6%)3 个等级。据此量化标准,对本试验中生长季末 3 种立地条件下刺槐林地土壤干层状况进行分析。从图 3 中可以看出,在 0~40 cm 三种立地含水率均在 9%~12%

之间,属于轻度干层,此干层对各立地刺槐的生长影响不大。在 40~600 cm 各立地的干层状况有所不同,半阴坡,40~480 cm 含水率 6%~9%,属于中度干层,半阳坡则在 40~380 cm 之间为中度干层,而阳坡干层深度为 40~340 cm。通过图 3 还可看出,三种立地均形成了严重干层,半阴坡在 480~600 cm 之间,半阳坡在 380~600 cm 之间,阳坡则在 340~600 cm 之间。总之,3 种立地条件下刺槐林地均形成了对其生长影响严重的中度干层和严重干层,即阳坡形成的干层最严重,半阳坡的次之,半阴坡形成的最轻。

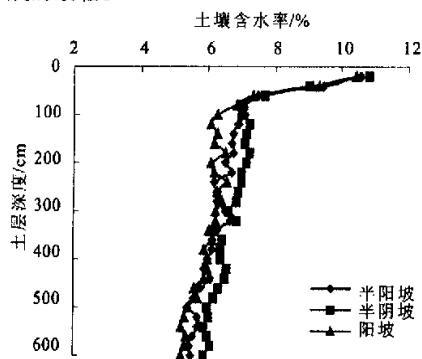


图 3 生长末期不同立地条件下土壤含水率

Fig. 3 Water content of soil in different habitats

## 2.2 3 种立地刺槐蒸腾速率的差异与环境因子的关系

2.2.1 刺槐蒸腾速率的差异 从图 4 可看出,在生长中期,3 种立地条件下,刺槐蒸腾变化趋势不同。7:00 时由于大气湿度较高且温度较低,因而各立地的蒸腾均较低。各立地在 11:00 以前随着太阳辐射的增强,蒸腾均逐渐增大,且均在 11:00 时达到最大值。但从图中可以明显看出,在 11:00 以前,半阴坡的蒸腾大于半阳坡和阳坡,这是因为半阴坡首先受到太阳辐射,受到的辐射较多,温度升高较快,因而其蒸腾较强。在 10:00 以前阳坡的蒸腾要大于半阳坡的,这与阳坡接受太阳辐射的时间早于半阳坡有关,而在 10:00 以后,由于半阳坡温度的升高和湿度的降低,使大气变干燥,因而增大了环境与植物体内水分差值而使其蒸腾增大,而阳坡的蒸腾则由于其水分条件较差而维持在较低水平,比 9:00 时的略有提高。在 11:00 以后半阳坡和半阴坡的蒸腾均逐渐降低,到 19:00 时达最低值。对阳坡而言,在 13:00 其蒸腾降低的幅度大于半阳坡和半阴坡,主要原因是气温较高,光照较强,湿度较低,叶子含水量急剧下降,气孔逐渐关闭以维持体内的水分平衡,因而蒸

腾降低较大。经过一段时间的恢复后,在 17:00,阳坡的蒸腾升高,以后逐渐降低。

表 5 表明,在 7:00 半阴坡和阳坡与半阳坡之间差异极显著,而半阴坡和阳坡之间则差异不显著,这与半阴坡和阳坡首先接受太阳照射温度升高较快有关。各立地刺槐蒸腾出现较大差异的时间在 11:00 时,此时正处在刺槐蒸腾较强烈的时期,由于各立地的土壤水分状况空气相对湿度及气温不同,因此,此时各立地蒸腾差异较大。11:00 在  $\alpha=0.05$  和  $\alpha=0.01$  水平上各立地之间差异均较明显。13:00 时半阳坡和半阴坡之间差异不显著,而与阳坡之间差异极显著,此时阳坡的水分条件较差,蒸腾速率大幅度下降。19:00 半阴坡及半阳坡由于其水分条件较好而与阳坡的蒸腾差异显著,半阳坡和半阴坡之间则差异不显著。

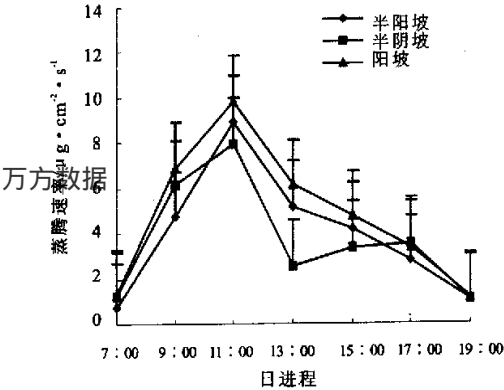


图 4 不同立地条件下刺槐蒸腾速率日变化  
Fig. 4 Variation of locust in different habitats

2.2.2 蒸腾速率的差异与其相关环境因子的关系

本研究结果表明,3 种立地条件下刺槐的蒸腾速率与光照强度显著相关(半阴坡、半阳坡及阳坡的相关系数分别为 0.593 6<sup>\*\*</sup>,0.553 1<sup>\*</sup>,0.467 5<sup>\*</sup>),与各立地土壤含水率密切相关(半阴坡、半阳坡及阳坡的相关系数分别为 0.950 9<sup>\*\*</sup>,0.947 9<sup>\*\*</sup>,0.944 8<sup>\*\*</sup>),但与气温和空气相对湿度相关性不密切。说明光照强度和土壤水分是影响刺槐蒸腾速率的主要环境因子。

2.3 不同立地条件下刺槐生长的差异与水分的关系

2.3.1 不同立地刺槐生长状况的差异 各立地刺槐平均胸径的大小顺序为半阴坡>半阳坡>阳坡,经方差分析可知,各立地刺槐胸径之间差异并不显著,其原因可能与各立地的密度有关,就密度而言,其大小顺序为半阴坡>半阳坡>阳坡,密度大的林分林木

个体之间对土壤水分和养分的竞争较剧烈<sup>[9,10]</sup>,严重影响了其胸径的生长,因而各立地刺槐胸径之间差异不显著。图 5 表明,刺槐新枝平均长度的大小顺序为半阴坡>半阳坡>阳坡。经方差分析知,在生长中期和生长末期,半阴坡和半阳坡与阳坡之间差异显著,而半阴坡和半阳坡之间差异不显著。

表 5 生长中期(7 月份)3 种立地刺槐蒸腾速率  
差异显著性比较

Table 5 Different of locust transpiration in different habitats			
时间	半阴坡	半阳坡	阳坡
7:00	1.27a	0.7a	1.19a
9:00	6.9Aa	4.722Bc	6.1Ab
11:00	9.833Aa	8.964Bb	7.98Cc
13:00	6.133Aa	5.183Aa	2.55Bb
15:00	4.733Aa	4.2Aa	3.383Ab
17:00	3.366ab	2.75b	3.55a
19:00	1.13a	1.07a	1.036a

注:大写字母为  $\alpha=0.01$  显著水平;小写字母为  $\alpha=0.05$  显著水平。

从表 6 可知,生长初期 3 种立地间新枝生长差异不显著,主要是由于生长初期刺槐生长速率较慢。在生长中期和生长末期,半阴坡和半阳坡差异不显著,这与两立地刺槐林密度较大有关,由于半阴坡和半阳坡的水分条件好于阳坡,故二者与阳坡差异显著。

表 6 生长季内不同时期 3 种立地刺槐新枝长度  
差异显著表

Table 6 The mean length of twig in different habitats in different stages of locust growth		
生长时期	立地	平均新枝长度 /cm
生长初期	半阴坡	9.46a
	半阳坡	9.57a
	阳坡	9.42a
生长中期	半阴坡	31.8a
	半阳坡	29.9a
	阳坡	23.6b
生长末期	半阴坡	50.5a
	半阳坡	48.9a
	阳坡	40.4b

注:小写字母为  $\alpha=0.05$  显著水平。

2.3.2 不同立地条件下刺槐生长与水分的关系 3 种立地条件下刺槐的新枝生长与土壤含水率呈极显著相关(半阴坡、半阳坡和阳坡的相关系数分别为 0.915 2<sup>\*\*</sup>,0.931 6<sup>\*\*</sup>,0.886 6<sup>\*\*</sup>),胸径生长与土壤含水率呈显著相关(半阴坡、半阳坡和阳坡的相关系数分别为 0.762 9<sup>\*</sup>,0.716 8<sup>\*</sup>,0.671 9<sup>\*</sup>)。这说明不同立地条件下土壤水分与刺槐生长关系密切,是

影响刺槐生长的主要因素之一。

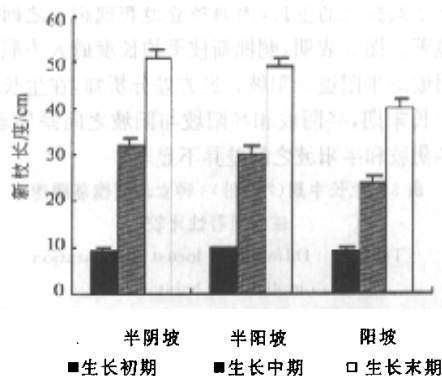


图5 不同时期不同立地条件下新枝长度

Fig. 5 The twig length of locust in different habitats at different stages of growth

### 3 结论与讨论

对半阴坡、半阳坡和阳坡3种立地条件下刺槐生长季内初、中、末3个时期生长的测定及土壤养分及含水率的测定和分析可知,各立地土壤养分间差异不显著,含水率差异极显著,且土壤水分与刺槐生长密切相关,土壤水分状况较好的立地其生长状况也较好,水分差的其生长较差,说明在该地区水分是制约刺槐生长的主要因素之一。

本试验中,3种立地的林分密度均较大,这也是影响各立地刺槐生长的因素,半阴坡和半阳坡由于

林分密度较大,严重影响了林木的径向生长,再加上各立地的水分条件不同,二者的综合效应使得3种立地条件下刺槐胸径的生长差异不显著。因此,在黄土高原,尤其是降水相对较少的地区,在营造人工刺槐林时,应选择适宜的立地条件和造林密度,以便使其成林成材,更好的发挥其生态效益和经济效益。

### 参考文献:

- [1] 李克亮. 中国林业发展战略问题研究[M]. 北京:中国林业出版社,1986. 3-21.
- [2] 王佑民,刘秉正. 黄土高原防护林生态特征[M]. 北京:中国林业出版社,1994. 105-132.
- [3] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与可持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998. 19-20.
- [4] 岳明. 陕北南部侧柏生长与生态因子的关系[J]. 武汉植物学研究, 1998. 16(1):47-53.
- [5] 李凯荣,王佑民. 黄土区刺槐林地水分条件与生产力研究[J]. 水土保持通报,1990,10(6):60-61.
- [6] 杨新民,杨文治,马玉玺. 纸坊沟流域人工刺槐林生长状况与土壤水分条件研究[J]. 水土保持研究,1994,1(3):32-33.
- [7] 李裕元,邵明安. 黄土高原气候变迁、植被演替与土壤干层的形成[J]. 干旱区资源与环境, 2001,15(1):72-76.
- [8] 王力,邵明安,侯庆春. 土壤干层量化指标初探[J]. 水土保持学报,2000,14(4):89-90.
- [9] 王克勤,王百田,王斌瑞等. 集水造林不同密度林分生长研究[J]. 林业科学, 2002, 38(2):54-60.
- [10] 刘君然. 林分密度理论及应用[M]. 北京:中国林业出版社, 1994. 9-27.

## 本刊获得“2003年度陕西省科学技术类优秀期刊”

近日,陕西省科技厅通报了2003年度陕西省科技期刊审读结果。经过专家组认真审读、复审,结合各项指标进行综合评审。本刊获得“2003年度陕西省科学技术类优秀期刊”。

本刊编辑部