

四川盆地丘陵区农林复合系统林地土壤的稳渗速率

骆宗诗¹, 章路², 向成华¹, 谢大军¹, 陈俊华¹, 罗晓华¹

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081)

摘要: 运用 Hood IL-2700 自动采集土壤入渗仪测定了四川盆地丘陵区农林复合系统 3 种林地(柏木 *Cupressus funebris* 纯林、麻栎 *Quercus acutissima*-柏木混交林和桤木 *Alnus cremastogyne*-柏木混交林)土壤的稳渗速率。结果表明: 同一林地的土壤稳渗速率随土层加深而下降; 不同林地的各层土壤中, 混交林土壤稳渗速率显著高于纯林($P < 0.05$), 混交林之间差异不显著($P > 0.05$)。0 ~ 10 cm 土层稳渗速率的大小为: 桤柏混交林($13.269 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > 桤柏混交林($10.438 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > 柏木纯林($4.513 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$); 10 ~ 20 cm 土层稳渗速率的大小为: 桤柏混交林($4.338 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > 桤柏混交林($3.791 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > 柏木纯林($1.329 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$); 20 ~ 30 cm 土层稳渗速率的大小为: 桤柏混交林($3.095 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > 桤柏混交林($2.653 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > 柏木纯林($1.965 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$)。土壤物理性状、林分结构和林地凋落物与土壤稳渗速率存在密切关系, 建议在四川盆地丘陵区农林复合系统景观格局配置中, 应积极营建混交林林带, 以提高森林的水土保持功能。表 5 参 15

关键词: 森林土壤学; 土壤稳渗速率; 土壤储水量; 林地

中图分类号: S714.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)02-0233-06

Steady infiltration rates in soils of three forest types for an agroforestry system in the hilly region of Sichuan Basin

LUO Zong-shi¹, ZHANG Lu², XIANG Cheng-hua¹, XIE Da-jun¹, CHEN Jun-hua¹, LUO Xiao-hua¹

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Sichuan Forestry Investigatory Planting Institution, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Using a Hood infiltrometer IL-2700 (Germany, 2006), the steady infiltration rate in three soil layers (0–10, 10–20, and 20–30 cm) of three forest types (a *Cupressus funebris* plantation, a mixed *Quercus acutissima*-*C. funebris* forest, and a mixed *Alnus cremastogyne*-*C. funebris* forest) from an agroforestry system in the hilly region of the Sichuan Basin was measured. The relationship between soil features, forest structure, and steady soil infiltration rate was also discussed. Results showed that for a given forest type the steady infiltration rate of the soil decreased with soil layer depth. For different soil layers, the steady infiltration rates of the two mixed forests were significantly greater ($P < 0.05$) than the *C. funebris* plantation. The order of steady infiltration rates by soil depth was as follows: 1) for the 0–10 cm depth, mixed *Q. acutissima*-*C. funebris* forest ($13.269 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > mixed *A. cremastogyne*-*C. funebris* forest ($10.438 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > *C. funebris* plantation ($4.513 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$); 2) for 10 – 20 cm, mixed *Q. acutissima*-*C. funebris* forest ($4.338 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > mixed *A. cremastogyne*-*C. funebris* forest ($3.791 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > *C. funebris* plantation ($1.329 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$); and 3) for 20 – 30 cm, mixed *A. cremastogyne*-*C. funebris* forest ($3.095 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > mixed *Q. acutissima*-*C. funebris* forest ($2.653 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) > *C. funebris* plantation ($1.965 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Thus, to enhance the water and soil conservation capacity of forested land in agroforestry systems of the hilly regions of Sichuan Basin, a mixed forest should be planted. [Ch, 5 tab. 15

收稿日期: 2009-02-02; 修回日期: 2009-05-21

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2006BAD03A0504)

作者简介: 骆宗诗, 副研究员, 从事森林生态学研究。E-mail: luozongshi168@yahoo.com.cn

ref.]

Key words: forest soil science; steady infiltration rate in soils; water retaining capacity; forest land

林地土壤是森林水文效应的第3个活动层面^[1-2],即降水在通过林冠层和枯枝落叶层的分配后,渗入并储存于土中。根据土壤入渗曲线,土壤层对降水有3次调解分配过程^[3-5]。一是降水初期的土壤入渗和地表径流,此时土壤水还没有达到饱和状态,土壤初渗速率较快,地表径流较小;其次是降水进一步加强,降水入渗不断补充土壤水分,雨水在土壤中达到饱和稳定阶段;最后是降水进一步加强,雨水在土壤中打破稳定阶段,出现稳渗。可见,土壤稳渗是土壤入渗的一部分,稳渗速率是土壤重要的物理性质之一,是判断土壤透水性能优劣的重要指标。土壤水分运动是一个复杂的过程,它涉及到土壤饱和、非饱和带中的水、空气、水汽在水力梯度、温度梯度、浓度梯度和渗透梯度等影响下的动态流过程,进而影响到森林流域的界面产流^[6]。森林植被又以其独特的方式对土壤入渗性能产生直接和间接的影响^[7],而不同森林土壤的入渗特性有很大的差异^[8-10]。采用 Hood IL-2700 自动采集土壤入渗仪测定了四川盆地丘陵区农林复合系统林带中3种典型林地(柏木 *Cupressus funebris* 纯林、麻栎 *Quercus acutissima*-柏木混交林和桤木 *Alnus cremastogyne*-柏木混交林)土壤的土壤稳渗速率,旨在为四川盆地丘陵区农林复合系统景观格局的优化模式配置提供参数依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究地位于四川省阆中市哑口乡,属于典型的四川盆地丘陵区。气候为亚热带季风气候,年平均气温为 17.1 °C,1月平均气温为 6.3 °C,7月平均气温为 27.1 °C,≥10 °C 积温为 5 460 °C,无霜期 292 d,年平均降水量为 1 049 mm,主要集中在 7-9月。土壤为紫色土,厚 20~50 cm,呈微酸性,pH 6左右^[11]。研究区曾经是荒山秃岭,20世纪80年代初开始绿化造林,1989年长防林工程启动,大规模营造水土保持林,形成了现有以片林、带林、林盘和台地等3~7级交错分布为主体的农林复合生态景观。人工林主要是柏木纯林、栎柏混交林和桤柏混交林。林下灌木以黄荆 *Vitex negundo*,铁籽 *Myrsine africanan*,火棘 *Pyracantha fortuneana* 等为主;草本植物以薹草 *Carex* spp.,圆果雀稗 *Paspalum orbiculare*,竹叶草 *Oplismenus compositus* 等为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择及群落基本情况 在对阆中市哑口乡踏查的基础上,选择3种典型林地类型,即柏木纯林、栎柏混林和桤柏混交林,并在典型地段设置样地,各样地间的环境条件基本一致(表1)。以林缘内 8~10 m 为样地的外缘线确定样地(避开边缘效应),样地大小为 20 m × 20 m。乔木层进行每木检测,并记录灌木层和草本层的覆盖度和林下凋落物层厚度。3种林地的群落结构较简单,可分乔、灌、草为3层。柏木纯林乔木层由单一树种构成,林下灌木和草本稀疏,呈小丛分布,灌木平均高度

表 1 3种森林类型样地基本情况

Table 1 Situation of three sampling forest stands

群落类型	密度/(株·hm ⁻²)	胸径/cm	树高/m	海拔/m	坡度/(°)	坡向
柏木人工林	7 800	5.3	5.52	540	25	SE
桤柏混交林	5 200	6.8	6.95	465	35	SE
栎柏混交林	5 700	6.4	6.86	465	35	SE
群落类型	地形	郁闭度	母岩	土壤类型	土壤厚度/cm	石砾/%
柏木人工林	山坡	0.85	紫色砂页岩	中性紫色土	30	5.12
桤柏混交林	山坡	0.60	紫色砂页岩	中性紫色土	35	5.26
栎柏混交林	山坡	0.75	紫色砂页岩	中性紫色土	35	5.08

1.6 m, 盖度 10%; 草本平均高度为 0.8 m, 盖度 15%; 林下土壤呈斑块状裸露, 地表无苔藓和地衣覆盖, 凋落物层平均厚度为 0.5 cm, 林内生境相对干燥。栎柏混交林乔木层由麻栎和柏木组成, 林下灌木和草本较多, 呈丛状分布, 灌木平均高度为 2.7 m, 盖度 30%; 草本平均高度为 1.2 m, 盖度 35%; 地被物层中有苔藓和地衣出现, 林内枯枝落叶厚, 平均厚度为 4.5 cm; 桉柏混交林乔木层由桉木和柏木组成, 林灌木平均高度为 2.2 m, 盖度 25%; 草本平均高度为 1.3 m, 盖度 30%; 地被物层中有苔藓和地衣出现, 林内枯枝落叶层平均厚度为 3.0 cm。

1.2.2 土壤物理性质和储水量测定 在样地中央确定 3 个土壤剖面点, 各剖面之间的距离为 3 ~ 4 m。土层分 3 层, 即 0 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm。物理性质测定时, 各个土层取 3 个重复, 土壤稳渗速率各个土层取 2 个重复。采用烘干法分层测定土壤含水量, 用环刀法分层测定土壤容重、非毛管孔隙度、毛管孔隙度和总孔隙度^[3], 并由下列公式^[12]计算各层土壤最大吸持储水量、最大滞留储水量和饱和储水量。即: $W_c(\text{mm}) = 1000P_c h$; $W_n(\text{mm}) = 1000P_n h$; $W(\text{mm}) = W_c + W_n$ 。其中, W_c , W_n 和 W 分别为土壤水分最大吸持储水量、最大滞留储水量和饱和储水量; P_c 和 P_n 分别为毛管孔隙度和非毛管孔隙度(%); h 为土层深度(m)。

1.2.3 土壤稳渗速率的测定 采用德国产 Hood IL-2700 自动采集土壤入渗仪测定土壤稳渗速率。渗透室直接位于土壤表面, 无需专门接触层, 也不需要土壤表面预处理, 通过马氏瓶原理的导水管路导水, 渗透室压力由“马里奥特”供水系统调节。可随时通过向马氏瓶加水以补充压力。土壤表面压力可以在 0 和任何负压间调节, 直到土壤起泡点为止。土壤表面压力及起泡点可以通过 U 型管压力计直接测量出来, 仪器自动采集和记录数据。在实验过程中可以通过不同水压、同水压以及不同半径的情况进行测定, 得到多组数据, 从而计算得到土壤稳渗系数。

1.2.4 统计分析 统计分析使用 SPSS 13.0。土壤容重、孔隙度等土壤特性采用 3 个剖面的平均值表示, 其差异的显著性用完全随机设计的单因素方差分析 (one-way ANOVA 检验), 并对差异显著者对其平均值进行最小显著差数(LSD)多重比较。

2 结果与分析

2.1 林地土壤孔隙度及蓄水能力比较

由表 2 和表 3 可知, 表征土壤物理性质的土壤容重和孔隙度以及评价土壤涵养水源和调节水分循环的最大滞留储水量、最大吸持储水量和饱和储水量在不同森林、不同土层间表现出一定的差异。同一林地不同土层间, 随土层厚度加深, 土壤容重显著增大 ($P < 0.05$), 土壤孔隙度相应地显著减少 ($P <$

表 2 同一林分不同土层的土壤物理性状及储水特征比较

Table 2 Comparison of soil physical characteristic and water holding capacities at the same forest stands

林地类型	土壤层/cm	容重/(g·cm ⁻³)	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	最大滞留储水量/mm	最大吸持储水量/mm	饱和储水量/mm
柏木纯林	0~10	1.48 a	4.76 a	34.91 a	39.67 a	4.76 a	34.91 a	39.67 a
	10~20	1.50 a	4.06 b	35.52 b	39.58 a	4.06 b	35.52 b	39.58 a
	20~30	1.54 b	3.20 c	34.92 a	38.12 b	3.20 c	34.92 a	38.12 b
栎柏混交林	0~10	1.37 a	7.00 a	41.08 a	48.08 a	7.00 a	41.08 a	48.08 a
	10~20	1.42 a	7.06 a	36.14 b	43.20 b	7.06 a	36.14 b	43.20 b
	20~30	1.47 b	5.78 b	35.21 b	40.99 c	5.78 b	35.21 b	40.99 c
桉柏混交林	0~10	1.24 a	8.92 a	38.12 a	47.04 a	8.92 a	38.12 a	47.04 a
	10~20	1.31 a	5.38 b	36.63 b	42.01 b	5.38 b	36.63 b	42.01 b
	20~30	1.46 b	4.74 b	36.74 b	41.48 b	4.74 b	36.74 b	41.48 b

说明: 小写字母表示 LSD 检验结果, 同一林分类型字母相同或含有相同字母表示 0.05 水平差异不显著, 否则差异显著。

表3 同一土层不同林分类型森林土壤物理性状及储水特征比较

Table 3 Comparison of soil physical characteristic and water holding capacities in the same soil depth

土壤层/cm	林地类型	容重/(g·cm ⁻³)	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	最大滞留储水量/mm	最大吸持储水量/mm	饱和储水量/mm
0~10	柏木纯林	1.48 a	4.76 a	34.91 a	39.67 a	4.76 a	34.91 a	39.67 a
	栎柏混交林	1.37 b	7.00 b	41.08 b	48.08 b	7.00 b	41.08 b	48.08 b
	桉柏混交林	1.24 c	8.92 c	38.12 c	47.04 b	8.92 c	38.12 c	47.04 b
10~20	柏木纯林	1.50 a	4.06 a	35.52 a	39.58 a	4.06 a	35.52 a	39.58 a
	栎柏混交林	1.42 b	7.06 b	36.14 ab	43.20 b	7.06 b	36.14 ab	43.20 b
	桉柏混交林	1.31 c	5.38 c	36.63 bc	42.01 b	5.38 c	36.63 bc	42.01 b
20~30	柏木纯林	1.54 a	3.20 a	34.92 a	38.12 a	3.20 a	34.92 a	38.12 a
	栎柏混交林	1.47 b	5.78 b	35.21 a	40.99 b	5.78 b	35.21 a	40.99 b
	桉柏混交林	1.46 b	4.74 c	36.74 b	41.48 b	4.74 c	36.74 b	41.48 b

说明: 数字右边字母表示 LSD 检验结果, 同一土层字母相同或含有相同字母表示 0.05 水平差异不显著, 否则差异显著。

0.05); 土壤储水量随土层厚度加深亦相应地显著减少($P<0.05$)(表 2)。同一土层不同森林类型间的容重、孔隙度和储水量等土壤性质有明显的差异($P<0.05$)(表 3), 各层土壤容重表现为柏木纯林>栎柏混交林>桉柏混交林; 土壤总孔隙度表现为栎柏混交林>桉柏混交林>柏木纯林, 但混交林之间差异不显著; 林地总土层的饱和储水量和最大滞留储水量表现为栎柏混交林>桉柏混交林>柏木纯林, 但混交林之间差异不显著。

2.2 林地土壤稳渗速率比较

由表 4 可知, 同一森林不同土层之间的稳渗速率存在极显著差异($P<0.01$), 0~10 cm 土层的稳渗速率远高于 10~20 cm 和 20~30 cm 土层, 3 个林分总的趋势是 0~10 cm>10~20 cm>20~30 cm 土层。通过 LSD 比较, 柏木纯林和桉柏混交林 10~20 cm, 20~30 cm 土层之间稳渗速率的差异没达到显著水平, 而栎柏混交林 3 个土层的差异都达到显著水平。由表 5 可知, 同一土层不同林分之间的土壤稳渗速率有显著性差异($P<0.05$)。通过 LSD 多重检验, 0~10 cm 土层稳渗率的大小为: 栎

表4 同一森林类型、不同土层的土壤稳渗速率及 LSD 多重比较

Table 4 Comparison of soil steady infiltration rate of different soil layers and their LSD multiple comparisons

群落类型	土壤层/cm	稳渗速率/(mm·min ⁻¹)
柏木纯林	0~10	4.513 ± 0.896 a
	10~20	1.329 ± 0.203 b
	20~30	1.965 ± 0.267 b
桉柏混交林	0~10	10.438 ± 0.872 a
	10~20	3.791 ± 0.799 b
	20~30	3.095 ± 0.738 b
栎柏混交林	0~10	13.269 ± 1.495 a
	10~20	4.338 ± 0.412 b
	20~30	2.653 ± 0.603 c

表5 同一土层不同森林类型的土壤稳渗速率方差分析

Table 5 ANOVA analysis of soil steady infiltration rate of three forest stands

土壤层/cm	差异源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
0~10	组间	239.584	2	119.800	94.60	0.000
	组内	18.994	15	1.266		
	总计	258.578	17			
10~20	组间	30.842	2	15.420	54.44	0.000
	组内	4.249	15	0.283		
	总计	35.091	17			
20~30	组间	3.894	2	1.947	5.97	0.012
	组内	4.896	15	0.326		
	总计	8.789	17			

说明: 数字右边字母表示 LSD 多重比较结果。同一森林类型不同土层之间相同字母表示在 0.05 水平上差异不显著, 否则差异显著。

柏混交林>桉柏混交林>柏木纯林，达到 0.01 的差异极显著水平；10 ~ 20 cm 土层稳渗率的大小为：栎柏混交林>桉柏混交林>柏木纯林，混交林与纯林之间差异达到 0.01 的差异水平，而混交林之间的差异不显著；20 ~ 30 cm 土层稳渗率的大小为：桉柏混交林>栎柏混交林>柏木纯林，混交林与纯林之间达到 0.05 的差异水平，而混交林之间的差异不显著。

3 结论与讨论

3.1 土壤物理性状与土壤稳渗率的关系

土壤入渗是水分在土壤内部分布的一个动态过程^[6]，它的运动势必受到土壤物理性状的影响。有研究表明^[1,4,13]，土壤稳渗率与土壤容重、土壤孔隙度和非毛管孔隙度之间具有显著相关性，与大于 0.25 mm 的水稳性团粒含量关系十分密切。一般而言，土壤容重越小，土壤稳渗率就越大；孔隙度越大，土壤稳渗也越大；随着非毛管孔隙度的增加，土壤稳渗速率也不断增大。混交林林地土壤容重比纯林小，毛管孔隙度和非毛管孔隙度比纯林大，土壤稳渗速率较纯林高。土壤容重、孔隙度和土壤稳渗速率也反映了林地持水量的大小，反映了森林水源涵养能力^[2,5,12]。可见栎柏混交林、桉柏混交林的生态功能优于纯林。

3.2 林分结构与土壤稳渗速率的关系

植被对土壤入渗的影响主要是通过植被生物量，尤其是根系的发育实现的，而植被生物量和根系发育情况与林分结构如树种组成、林龄和郁闭度等存在十分密切的关系，不同的林分结构对改变林下土壤理化性质能力强弱不同。研究表明^[7-10,12]，阔叶林的土壤入渗性能优于针叶林，天然次生林优于人工林；成熟林优于中、幼龄林。在乔木层郁闭度适中的林分中，林冠透光性较好，林下灌木、草本丰富和地表覆盖物较多，土壤中根量、死亡的老根增多，有机质含量较高，食腐的土壤动物相应增多，这有利于大量的孔隙和毛管孔隙的形成，增加土壤孔隙度，提高了土壤的入渗能力。在乔木层郁闭度过大的林分中则正好相反。研究的 3 种林地类型，柏木纯林结构简单，地表无苔藓和地衣覆盖，林地裸露，而桉柏和栎柏混交林结构相对复杂，地被物层有苔藓和地衣，林地覆盖大，土壤稳渗速率的测定结果也表明混交林土壤的稳渗速率显著高于柏木纯林。

3.3 林地凋落物与土壤稳渗速率的关系

林地枯枝落叶是森林生产力的一部分，一方面是土壤动物和微生物的食物和能源，通过生物活动，增加孔隙，从而改善土壤结构，增加土壤入渗能力；另一方面枯枝落叶腐烂分解后形成的腐殖质与黏粒结合形成微团聚体，使土体变得疏松透水，减小土壤容重，增加土壤孔隙度，提高土壤表面的粗糙率，延缓径流，增加土壤入渗，也增大了土壤稳渗速率。Kohl 等^[14]的研究表明，地面覆盖可明显提高土壤入渗性能，并且随着覆盖度的增加入渗率明显提高；Bradford 等^[15]的研究也表明，去除覆盖在土壤上的秸秆，土壤入渗率明显降低。本研究的 3 种林地类型，柏木纯林林地表面覆盖物少，土壤裸露板结，因而土壤稳渗率低；而混交林中林地凋落物厚，凋落物中阔叶占有较大的比例，阔叶较针叶易于分解，土壤的物理性状较针叶纯林——柏木纯林得到极大的改善，土壤稳渗率高；混交林中，栎柏混交林的稳渗率又比桉柏混交林高。

人工柏木纯林是四川盆地丘陵区农林复合系统林带中的主要森林类型。据 2007 年四川省森林资料监测数据，人工柏木纯林占整个盆地丘陵区面积的 58.32%。然而，由于栽植密度过大，群落结构简单，林下灌木和草本稀疏，土壤裸露率高，大多柏木林已沦为低产低效林。从土壤入渗的角度看，建议在四川盆地丘陵区农林复合系统景观格局模式配置以及柏木低效林改造中，积极营建混交林，以达到改良土壤，增强土壤生态功能的目的，继而提高森林的水土保持功能。

参考文献：

[1] 吴长文，王礼先. 林地土壤的入渗及其模拟分析[J]. 水土保持研究，1995，2(1)：71-75.

WU Changwen, WANG Lixian. The analysis on the characteristics of infiltration and its simulating into forested land [J]. Res Soil Water Conserv, 1995, 2(1): 71-75.

- [2] 王玉杰, 王云琦. 重庆缙云山典型林分林地土壤入渗特性研究[J]. 水土保持研究, 2006, **13** (2): 193 - 256.
WANG Yujie, WANG Yunqi. Research on forest soil permeability capability of typical forests in Jinyun Mountain in Chongqing City [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2006, **13** (2): 193 - 256.
- [3] 张万儒, 许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 30 - 36.
- [4] 樊军, 邵明安, 王全九. 田间测定土壤导水率的方法研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2006, **4** (2): 114 - 119.
FAN Jun, SHAO Ming'an, WANG Quanjiu. Development about methods of soil hydraulic conductivity determination in fields [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2006, **4** (2): 114 - 119.
- [5] 于志明, 王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991: 44 - 57.
- [6] 王力, 邵明安, 王全九. 林地土壤水分运动研究述评[J]. 林业科学, 2005, **41** (2): 147 - 153.
WANG Li, SHAO Ming'an, WANG Quanjiu. Review on soil water movement in forestland [J]. *Sci Silv Sin*, 2005, **41** (2): 147 - 153.
- [7] 郭忠升, 吴钦孝, 任锁堂. 森林植被对土壤入渗速率的影响[J]. 陕西林业科技, 1996 (3): 27 - 31.
GUO Zhongsheng, WU Qinxiao, REN Suotang. The effects of forests on penetration rate of soil [J]. *J Shaanxi For Sci Technol*, 1996 (3): 27 - 31.
- [8] 王兵, 魏文俊, 冷冷. 宁夏六盘山不同森林类型土壤贮水与入渗研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2006, **27** (3): 1 - 5.
WANG Bing, WEI Wenjun, LENG Ling. The comparison research of soil water-holding and infiltration in different forest type in Liupan Mountain of Ningxia [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ*, 2006, **27** (3): 1 - 5.
- [9] 高人, 周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型土壤渗透性能研究[J]. 农村生态环境, 2002, **18** (4): 1 - 4, 14.
GAO Ren, ZHOU Guangzhu. Permeability of soil under different forest vegetation in eastern Liaoning Mountain region [J]. *Rural Eco-Environ*, 2002, **18** (4): 1 - 4, 14.
- [10] 潘紫文, 刘强, 佟得海. 黑龙江省东部山区主要森林类型土壤水分的入渗速率[J]. 东北林业大学学报, 2002, **30** (5): 24 - 25.
PAN Ziwen, LIU Qiang, TONG Dehai. Water penetration rate of soil in main forest types in the eastern mountains area of Heilongjiang Province [J]. *J Northeast For Univ*, 2002, **30** (5): 24 - 25.
- [11] 向成华, 骆宗诗, 陈俊华, 等. 四川盆地丘陵区主要森林类型群落结构特征研究[J]. 四川林业科技, 2005, **26** (5): 25 - 29.
XIANG Chenghua, LUO Zongshi, CHEN Junhua. *et al.* Research on characteristics of community structure of the main forests in hilly regions of the Sichuan Basin [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2005, **26** (5): 25 - 29.
- [12] 漆良华, 张旭东, 周金星, 等. 湘西北小流域典型植被恢复群落土壤贮水量与入渗特性[J]. 林业科学, 2007, **43** (4): 1 - 8.
QI Lianghua, ZHANG Xudong, ZHOU Jinxing, *et al.* Soil water holding capacities and infiltration characteristics of vegetation restoration communities in watershed, northwest Hunan [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (4): 1 - 8.
- [13] 吴发启, 赵西宁, 余雕, 等. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2003, **23** (1): 16 - 19.
WU Faqi, ZHAO Xining, SHE Diao, *et al.* Analysis on affecting factors of soil infiltration in slope farmland [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2003, **23** (1): 16 - 19.
- [14] KOHL R A, SCHUMACHER T E. Infiltration with porous and nonporous simulated residue [J]. *J Soil Water Conserv*, 1999, **54** (3): 574 - 576.
- [15] BRADFORD J M, HUANG C H, USDA A. Interrill soil erosion as affected by tillage and residue cover [J]. *Soil Tillage Res*, 1994, **31**: 353 - 361.