

川西亚高山暗针叶林土壤渗透性能研究^{*}

霍小鹏,李贤伟,张健,范川,代杰,张兴华,张良辉

(四川农业大学 生态林业工程省级重点实验室,四川 雅安 625014)

摘 要:对川西亚高山针叶林土壤渗透性能进行研究,结果表明:(1)林地表层土壤(0-30 cm)滞留贮水量受土壤容重、孔隙度及林龄影响显著。天然冷杉林土壤滞留贮水量变化范围为 593.7~694.2 t/hm²,大小排序为:185 a>80 a>40 a 生。人工云杉林 175.8~545.1 t/hm²,从大到小依次为 40 a>30 a>25 a>20 a。(2)天然林初渗率为 10.6~30.1 mm/min,最大为 80 a 生冷杉林;稳渗率为 3.3~6.4 mm/min,185 a 生冷杉林为最大。人工林土壤初渗率为 2.7~8.3 mm/min,稳渗率 1.9~5.4 mm/min,两指标中均以 40 a 生云杉林为最大。(3)构建了土壤渗透过程回归方程,拟合度 R^2 为 0.869~0.959,表明回归方程可以较好地反映各试验标准地土壤入渗过程。

关键词:亚高山针叶林;渗透性能;贮水量;入渗模型

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)03-0192-04

Soil Permeability Capability of Subalpine Coniferous Forests in Western Sichuan, China

HUO Xiao-peng, LI Xian-wei, ZHANG Jian, FAN Chuan,

DAI Jie, ZHANG Xing-hua, ZHANG Liang-hui

(Provincial Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: The study on soil permeability of subalpine coniferous forests was carried out in western Sichuan, China. The results showed that: (1) In 0-30 cm soil layer, the non-capillary water capacity (NCWC) is affected strongly by soil bulk density, porosity and age of forests. The NCWC in natural forests ranged 593.7~694.2 t/hm², and capacity sequence is 185 years>80 years>40 years old. The NCWC ranged 175.8~545.1 t/hm² in plantation forests, and the sequence is 40 years>30 years>25 years>20 years old spruce. (2) The soil initial permeability rates of natural forests varied 10.6~30.1 mm/min, the highest one is 185 years old forests of fir; steady-state permeability rates ranged 3.3~6.4 mm/min, the highest one is 185 years old forests of fir. The IPR and SPR in plantation forests changed 2.7~8.3 mm/min and 1.9~5.4 mm/min respectively and the highest velocity of both is 40 years old forests of spruce. (3) Constructing soil permeability regression model and its fitting degree is 0.869~0.959, which shows that equation analog could reflect the process of each plots in this research.

Key words: subalpine coniferous forests; soil permeability; water storage capacity; permeability model

森林生态系统三个界面间的水分传输中,林地土壤层的水分传输对降水资源分配格局影响最为明显,其水文作用主要表现在透水性和贮水性能两方面。在森林-土壤系统中,只有具备良好森林植被结构的林型和深厚优良结构的土壤层,才可能取得最大水文生态效益^[1],因此研究林地土壤水分入渗和贮存性能对森林流域产流机制具有十分重要的意义。国内外学者围绕坡地产流及林地入渗,进行了大量

的研究^[2-6]。川西亚高山针叶林是长江上游重要的水源涵养林区,是中国半壁江山的“水塔”,是西南及长江上游地区重要的生态屏障,被誉为庇护四川及长江流域的“绿色万里长城”^[7]。近些年来,长江洪灾固然有全球气候异常的客观原因,但也与人为因素造成的对长江上游天然林的过度采伐、乱砍滥伐、毁林开荒所引起的水土流失加剧、森林调洪蓄水及消洪补枯能力降低有关。仅 1985-1995 年间川

^{*} 收稿日期:2008-10-29

基金项目:国家“十一五”科技支撑项目(2006BAC01A11);国家自然科学基金面上项目(30771717);教育部重点建设学科博士点基金(20050626001);四川省教育厅重点实验室项目(2006ZD006)

作者简介:霍小鹏(1984-),男,陕西人,在读硕士,主要从事森林生态学研究。E-mail:huoxiaopeng1128@yahoo.com.cn

通信作者:李贤伟(1963-),男,教授,博士,主要研究方向:森林生态和恢复生态。E-mail:lxw@sicau.edu.cn

西天然林面积就减少了 35.1 %^[8],随后进行更新的人工林生产力低下、物种多样性低、水源涵养功能不断削弱。该区植被生态系统脆弱,一旦破坏极难恢复,加之对现有天然林资源保护不当以及人工更新林结构不合理、面积有限,致使长江上游森林水源涵养功能不断削弱、水土流失逐年加剧、干旱地区不断扩增,这也是造成长江下游水患的重要原因之一。因此,水源涵养性能的研究已经成为川西亚高山生态学研究的重要问题和热点^[9]。

以云杉属(*Picea*)、冷杉属(*Abies*)为主的川西亚高山暗针叶林是长江上游亚高山森林植被的主体之一,关于亚高山森林水文学一直是研究的重点,过去研究主要集中在冠层、地被物层水分传输方面^[9-13],而涉及林地土壤入渗、贮水性研究除余新晓^[14]等在贡嘎山研究区报道后却鲜见报道,因此,本文以川西亚高山不同年龄阶段的天然林冷杉林、人工云杉林为对象,初步研究了各林地土壤贮水、渗透性能,为进一步揭示该区土壤水分运动规律以及评价该区暗针叶林水源涵养功效提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 实验地基本情况

研究区位于四川省阿坝州理县米亚罗林区 and 毕

棚沟林区,地理坐标 30°54' - 31°12' N,102°32' - 103°30' E,两林区所在地——理县位于青藏高原东南部,具有典型的高山峡谷地貌,海拔 1 422 ~ 5 922 m,平均海拔 2 700 m。按海拔梯度和气候条件可划分为河谷区、低中山区、中山区、高山区和寒冻地区。气候受高原地形的决定性影响,属冬寒夏凉的高山气候,春夏季降水量多,冬季无霜期短,年降雨量 650 ~ 1 000 mm,平均为 857 mm。年均气温 6.9 ~ 11.7 °C,7 月最高温 31.2 °C,1 月最低温 - 16.1 °C。

所选亚高山天然林主要树种为岷江冷杉(*Abies faxoniana*)、鳞皮冷杉(*Abies squamata*);人工林树种主要为粗枝云杉(*Picea asperata*)。研究区乔木树种还有落叶松(*Larix kaempferi* Carr.)、红桦(*Betula albosinensis*)等;优势灌木属主要有蔷薇属(*Rosa* L.)、悬钩子属(*Rubus* L.)、忍冬属(*Lonicera* L.)等。

2.2 标准地选设

选择海拔、坡度、坡向相近的各类林分,包括不同年龄阶段的人工云杉林(林龄分别为 20 a,25 a,30 a,40 a 左右),天然冷杉林(林龄分别为 185 a,80 a,40 a 左右)。乔木林设置 20 m × 20 m 样方,灌木林 5 m × 5 m 样方,草本层 1 m × 1 m,调查样方内物种种类、数量、生长状况。每一林分类型标准地重复数为 3,标准地基本情况见表 1。

表 1 标准地基本情况

类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	坡位	郁闭度	起源	林龄/a	土壤类型
	3850	16	SE	上部	0.8 ~ 0.9	天然	185	山地棕壤
	3750	20	SE	中部	0.7 ~ 0.8	天然	70 ~ 90	山地棕壤
	3630	18	SE	底部	0.4 ~ 0.6	天然	30 ~ 50	山地棕壤
	3010	2	NW	底部	0.7	人工	20	砂壤
	3010	2	NE	底部	0.7	人工	20 ~ 30	砂壤
	3005	4	NE	底部	0.7	人工	30 ~ 35	砂壤
	3000	12	N	底部	0.6	人工	40 ~ 45	山地棕壤

注: , , 分别表示 185 a,80 a,40 a 天然冷杉林; , , , 分别表示 20 a,25 a,30 a,40 a 人工云杉林,下同。

2.3 土壤样本的采集

在各林分标准地坡面上、中、下各挖取一个深 100 cm 的土壤剖面,观测并记录土壤剖面特征。按 0 - 10,10 - 20,20 - 30 cm 用铝盒和环刀分别取土。

2.4 土壤样本的分析

土壤容重、孔隙度测定使用环刀法;土壤渗透性测定采用室内环刀法:保持土壤原始状态,人工供水,定量观测土壤渗透性能,包括土壤初渗速率、稳渗速率及到达稳渗率所需时间^[15]。土壤滞留贮水量计算公式为

$$S = 10000 h \cdot p \cdot r$$

式中:S——滞留贮水量(t/hm²);h——土层壤度;p——非毛管孔隙度(%);r——水的比重。

3 结果与分析

3.1 土壤滞留贮水量

土壤容重与孔隙度是反映林地土壤物理性质状况的重要指标之一,其大小可以反映森林植被对土壤物理性质(尤其是孔隙状况及其贮水能力)的改善程度^[16]。统计分析表明,土壤容重与非毛管孔隙度和毛管孔隙度均存在显著负相关性($P < 0.05$)。标准地土壤 0 - 30 cm 平均容重与孔隙度见表 2。天然林土壤容重在 0.65 ~ 1.07 g/cm³,平均为 0.88 g/cm³,其中 40 a 生次生冷杉林最大。人工林容重在 0.81 ~ 1.32 g/cm³,平均为 1.16 g/cm³,总体来看,人工林 0 - 30 cm 土层平均容重大于天然林。

表 2 标准地土壤容重与孔隙度				
类型	容重/ (g · cm ⁻³)	平均孔隙度/ %		
		非毛管	毛管孔隙	总孔隙
	0.92	23.14	44.25	67.39
	0.65	22.43	43.26	65.39
	1.07	19.79	34.37	54.16
	1.32	5.86	21.08	26.94
	1.30	5.94	37.98	43.92
	1.21	9.98	32.71	42.69
	0.81	18.17	41.66	59.83

林地土壤是森林涵养水源的主体,而林地蓄洪作用、涵养水源、削减洪峰的能力主要取决于滞留贮水量,即非毛管贮水能力。因此,不少学者认为,以土壤滞留贮水量(non-capillary water capacity,NCWC)作为计量土壤贮水量的基准较为合适^[17-18]。标准地 0 - 30 cm 土壤 NCWC 见图 1。

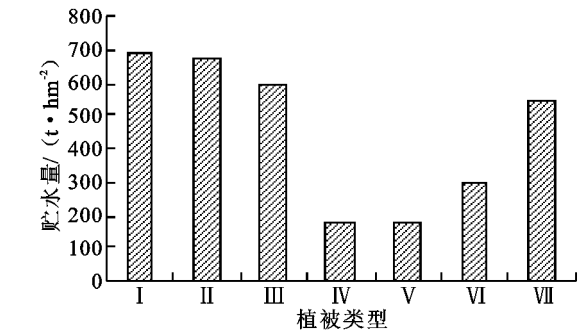


图 1 样地土壤滞留贮水量

统计分析,NCWC 与土壤容重呈显著的负相关($P < 0.05$),与总孔隙度呈显著的正相关($P < 0.05$)。天然冷杉林土壤 NCWC 593.7 ~ 694.2 t/hm²,表现为随着林龄增大而增大,其排序为:185 a (694.2 t/hm²) > 80 a (672.9 t/hm²) > 40 a (593.7 t/hm²) 生;人工云杉林 175.8 ~ 545.1 t/hm²,随着林龄增大而增大,从大到小依次为:40 a (545.1 t/hm²) > 30 a (299.4 t/hm²) > 25 a (178.2 t/hm²) > 20 a (175.8 t/hm²) 生。

3.2 土壤渗透性能

土壤渗透性是描述土壤入渗快慢极为重要的土壤物理特征参数之一,是林分涵养水源的重要指标。已有结果表明,土壤渗透性能越好,地表径流就越小,地表流失量也会相应地减少^[19-20],不同土地利用类型的土壤渗透性能存在着很大差异^[19,21],因此分析不同地区植被类型的土壤渗透性能对合理恢复植被及科学评价水源涵养能力有着重要的指导意义。不同植被类型标准地土壤渗透性见表 3。

从表 3 可以看出,各林地土壤渗透性存在差异。统计分析表明,初渗率(initial permeability rates,

IPR)、稳渗率(steady-state permeability rates, SPR)均与非毛管孔隙度和总孔隙度具有显著相关性($P < 0.05$),天然冷杉林初渗率变化范围为:10.6 ~ 30.1 mm/min,其排序为:80 a > 185 a > 40 a;稳渗率范围为 3.3 ~ 6.4 mm/min,从大到小为:185 a > 80 a > 40 a 生。人工云杉林土壤 IPR2.7 ~ 8.3 mm/min,SPR1.9 ~ 5.4 mm/min,表现为 40 a > 25 a > 30 a > 20 a 生。不同植被类型土壤标准地到达稳渗所需要时间存在差异,天然林到达稳渗的时间较长。

表 3 不同植被类型土壤入渗特征				
类型	土层 / cm	渗透率/(mm · min ⁻¹)		稳渗时间/ min
		初渗	稳渗	
	0 - 30	10.6	6.4	60
	0 - 30	30.1	5.3	70
	0 - 30	13.2	3.3	65
	0 - 30	2.7	1.9	35
	0 - 30	6.2	3.7	40
	0 - 30	4.0	2.0	40
	0 - 30	8.3	5.4	30

天然林入渗性能均显著高于人工林,可见天然林具有较强的入渗能力,这主要与土壤孔隙度状况有关。天然林林地表层地被物丰富,土壤有机质含量高,土壤容重低;天然林根系发达,根系的生长、穿插、死亡可以形成的大小孔道可以显著改善土壤的孔隙度。孔隙度的增加有利于土壤纵向和横向的水分渗透,特别是非毛管孔隙度的增加可以显著改善土壤渗透性能。人工林渗透性能较天然林低下的原因除了其本身的生产力和改善林地能力弱外,也与本地的封山育林措施不到位有关。

3.3 土壤水分入渗模型

通过对土壤入渗率和入渗时间回归分析,结果见表 4,林地入渗率和入渗时间之间存在着良好的幂函数关系,即: $y = ax^{-b}$,式中: y ——土壤入渗率(mm/min); t ——入渗时间(min); a, b ——常数,拟合的幂函数拟合度在 0.869 ~ 0.983 ($P < 0.01$)之间,表明方程拟合效果较好。

表 4 土壤入渗方程拟合度								
拟合度								
R^2	0.947	0.959	0.955	0.869	0.914	0.892	0.930	

从图 2 可以看出,各林地土壤入渗过程大致可分为两个阶段。天然林第一阶段为前 20 min,为高入渗期,递减最快;人工林为前 10 min,入渗率大,变化率大。随着土壤含水量增大,土壤逐渐趋于饱和,入渗率逐渐降低趋向于一个稳定的数值。

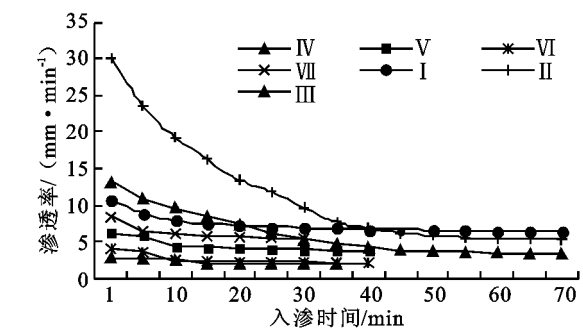


图 2 不同林地的土壤入渗过程

4 结论

(1) 天然林、人工林林地土壤容重受土壤孔隙度显著影响。标准地表层土壤 (0 - 30 cm) 滞留贮水量受土壤容重、孔隙度及林龄影响显著,天然冷杉林变化范围为:593.7 ~ 694.2 t/hm²,其排序为:185 a (694.2 t/hm²) > 80 a (672.9 t/hm²) > 40 a 生 (593.7 t/hm²);人工云杉林 175.8 ~ 545.1 t/hm²,从大到小依次为:40 a (545.1 t/hm²) > 30 a (299.4 t/hm²) > 25 a (178.2 t/hm²) > 20 a (175.8 t/hm²) 生。表明天然林比人工林具有更强水源涵养能力,在区域水源涵养和流域径流调节中起着主要作用。

(2) 天然冷杉林初渗率变化范围为:10.6 ~ 30.1 mm/min,80 a 生最高,依次分别为 185 a,40 a;稳渗率为 3.3 ~ 6.4 mm/min,185 a 生最高,依次分别为 80 a,40 a 生。人工云杉林初渗率 2.7 ~ 8.3 mm/min,稳渗率 1.9 ~ 5.4 mm/min,最大均为 40 a 生,依次分别为 25 a,20 a,30 a 生。

(3) 各林地土壤渗透过程方程拟合度 0.869 ~ 0.959 ($P < 0.01$),表明方程拟合较好,可以较好地描述各试验标准地土壤入渗过程。

总之,人工林对林地涵养水源力有一定的改善作用,但与天然林相比,在滞留贮水量和入渗性方面还存在着很大差距。因此,加大混交林营造力度,现有人工林林分改造,加强封禁措施,林地土壤定期的水文动态观测与地上部分研究相结合等仍是今后生态恢复与建设、亚高山森林水文动态研究中考虑的重点。

参考文献:

[1] 张保华,何毓蓉,周红艺,等. 长江上游典型区亚高山不同林型土壤的结构性与水分效应[J]. 水土保持学报, 2002,16(4):127-129.

[2] Ulrik I, Elke V. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 251:45-51.

[3] 王育红,蔡典雄,姚宇卿,等. 保护性耕作对豫西黄土坡

耕地降水产流、土壤水分入渗及分配的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2):29-31,37.

[4] 巍强,张秋良,代海燕,等. 大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2):111-115.

[5] 柴亚凡,王恩坦,陈祥伟,等. 植被恢复模式对黑土贮水性能及水分入渗特征的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1):60-64,73.

[6] 杨英,孙虎,胡克志,等. 南水北调中线水源地不同植被类型坡地土壤水分特征研究:以秦岭南坡宁陕县寨沟小流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2):212-216.

[7] 杨玉波,李承彪. 四川森林[M]. 北京:中国林业出版社, 1992.

[8] 刘世荣,孙鹏森,王金锡,等. 长江上游森林植被水文功能研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5):451-456.

[9] 林波,刘,庆,吴,彦,等. 川西亚高山人工针叶林枯枝落叶及苔藓层的特水性能[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(3):234-238.

[10] 张远东,刘世荣,马姜明,等. 川西亚高山桦木林的林地水文效应[J]. 生态学报, 2005, 25(11):2939-2946.

[11] 张远东,赵常明,刘世荣. 川西亚高山人工云杉林和自然恢复演替系列的林地水文效应[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6):761-768.

[12] 巩合德,王开运,杨万勤,等. 川西亚高山白桦林穿透雨和茎流特征观测研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4):17-20.

[13] 吕瑜良,刘世荣,孙鹏森,等. 川西亚高山不同暗针叶林群落类型的冠层降水截留特征[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11):2398-2405.

[14] 余新晓,赵玉涛,张志强,等. 长江上游亚高山暗针叶林土壤水分入渗特征研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1):15-19.

[15] 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.

[16] 刘霞,张光灿,李雪蕾,等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6):1-5.

[17] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社, 1993:91-132.

[18] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文功能规律[M]. 北京:中国林业出版社, 1996.

[19] 杨海龙,朱金兆,毕利东. 三峡库区森林流域生态系统土壤渗透性能的研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3):63-65,69.

[20] 许明祥,刘国彬,卜崇峰,等. 圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4):54-58.

[21] 田育新,李锡泉,吴建平,等. 小流域森林生态系统林地土壤渗透性能研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4):173-175.