

六盘山北侧不同立地土壤的蓄水性能和渗透性研究^{*}

刘建立^{1,2}, 王彦辉², 程丽莉³, 余新晓¹, 管伟⁴, 杜阿朋²

(1. 北京林业大学 水土保持学院 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;
3. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093; 4. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广州 510520)

摘 要:通过对六盘山北侧不同立地类型华北落叶松、阳坡草地、半阴坡草地、虎榛子灌丛和沙棘灌丛的土壤水文物理性质的调查和比较,结果表明这几种植被类型下的土壤容重、持水性能和渗透性均有较大的差异。土壤持水能力的变化范围为 520.34 ~ 585.82 mm,初始渗透率变化范围为 0.76 ~ 9.71 mm,稳定渗透率变化范围为 0.50 ~ 2.93 mm/min,比较后发现营造的华北落叶松人工林具有很好的增加入渗和涵养水源作用。

关键词:六盘山; 立地类型; 土壤持水能力; 渗透性能; 涵养水源

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0061-04

Study on Water Conversation with Infiltration Capacity of Different Types of Sites in the North Side of Liupan Mountain

LIU Jian-li^{1,2}, WANG Yan-hui², CHENG Li-li³, YU Xin-xiao¹, GUAN Wei⁴, DU A-peng²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Institute of Forestry and Pomology Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100093, China; 4. Research Institute of Tropical Forestry of CAF, Guangzhou 510520, China)

Abstract: The investigation and comparison of soil hydrological and physical properties are carried out in the different types of sites such as *Larix principis-rupprechtii*, sunny grassland, semi-shady grassland, *Ostryopsis davidiana*, *Hippophae rhamnoides* in the north side of Liupan Mountain. The results show that these plots are different among soil bulk density, water holding capacity and the infiltration characteristic. The water holding capacity is between 520.3 ~ 585.82 mm; The initial infiltration coefficients and stable infiltration coefficients are between 0.76 ~ 9.71 mm and 0.50 ~ 2.93 mm/min respectively. After a comparison, it can be concluded that the plantation of *Larix principis-rupprechtii* plays a good role in increasing soil infiltration and water-holding capacity in the studied region.

Key words: Liupan mountain; site condition; soil water storage capacity; infiltration capacity; water resource conservation

植被是土壤的主要成土因素之一,土壤也是植被的主要环境因子。森林土壤是森林发挥水文调节作用的主要场所,森林土壤水文物理性质是决定森林生态水文功能的主要基础^[1]。目前在干旱半干旱地区的有关研究主要集中在植被类型、土壤物理性质及环境因子对土壤水分状况的影响方面^[2],这些研究一直是黄土高原地区水分利用和环境治理研究的主要内容^[3]。其中,森林土壤的蓄水能力和渗透

性是十分重要的土壤水文物理性质^[4-6],主要取决于土壤孔隙的数量和大小的组成,它们决定着土壤动态蓄水的有效空间^[7]。

本文对六盘山北侧不同立地条件下的土壤蓄水和渗透特征进行了研究,了解不同植被类型下的土壤水文物理性质的差别,用土壤层的蓄水能力和渗透性能来衡量不同立地土壤的涵蓄能力,旨在加深植被与土壤水文物理性质之间关系的认识,探索该

* 收稿日期:2008-11-10

基金项目:国家自然科学基金项目(40730631,40671038,30671677);科技部“十一五”科技支撑计划项目课题(2006BAD03A1803);中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAF YBB2007038);科技部科研院所社会公益研究专项(2004DB3J102);国家“十一五”科技攻关项目(2006BAD-03A11-4)

作者简介:刘建立(1978-),男,河北石家庄人,博士,主要从事生态水文方向的研究。E-mail:liujianli7331@sina.com

通信作者:王彦辉(1957-),男,河北人,研究员,主要从事生态水文和森林健康方向的研究。E-mail:wangyh@caf.ac.cn

地区和相似地区的植被恢复与重建中土壤环境建设的科学依据和技术途径。

1 研究区和研究样地自然概况

六盘山处于华北地台与祁连山地地槽之间的一个过渡带,位于黄土高原的中西部,本研究的地点位于六盘山北侧的叠叠沟小流域,属于六盘山外围土石山区。其地理坐标为东经 106°45′ - 106°15′,北纬 35°42′ - 35°58′33″,叠叠沟小流域面积 25.4 km²,海拔范围为 1 975 ~ 2 615 m,流域呈南北走向,流域形状系数为 1.58。研究区属于典型的大陆性季风气候,该地年均气温为 6 ~ 7℃,无霜期 130 d

左右,年均降雨量 428 mm,主要集中在 7 - 9 月。

研究区植被的水平分布属于温带草原区的南部森林草原地带,由于长期受到人类强烈干扰,形成了多种土地利用方式镶嵌的景观格局。主要植被类型是华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 人工林、山杨 (*Populus davidian*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*) 灌丛、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 灌丛、草地等;土壤类型以灰褐土面积最大,黄土次之。

选择华北落叶松、虎榛子灌丛、沙棘灌丛、阳坡草地、半阴坡草地 5 种小流域最主要的立地类型,建立调查样地并进行常规调查,记录其坡度、坡向、密度、覆盖度、生物量等指标,各样地情况见表 1。

表 1 各样地基本特征

植被类型	面积/(m × m)	海拔/m	坡度/(°)	坡向	总盖度/%	土层厚度/cm	根系层/cm	土壤类型
阳坡草地	20 × 20	2016	35	西南	75	75	0 - 30	灰褐土
华北落叶松	20 × 20	1997	11	北	98	> 200	0 - 60	灰褐土
半阴坡草地	20 × 20	2011	24	东南	90	120	0 - 25	灰褐土
沙棘灌丛	20 × 20	2010	25	东南	90	> 100	0 - 50	灰褐土
虎榛子灌丛	15 × 15	2076	34	西	85	80	0 - 40	灰褐土

2 研究方法

2.1 土壤物理性质测定

在不同植被类型典型样地上,选择具有代表性的地段,挖掘土壤剖面,记录土壤剖面的发生层次,并机械划分土层,用容积为 100 cm³ 的环刀在 0 - 10, 10 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80, 80 - 100 cm 深度取土,每层 3 个重复,利用环刀法测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度及非毛管孔隙度等物理性质。

2.2 土壤持水能力测定

土壤持水能力是评价土壤的涵蓄水分及水文调节能力的一个重要指标。采用下式可计算出土壤最大持水性能和有效持水性能指标^[8],即:

$W_1 = 10000 P_1 h$, $W_2 = 10000 P_2 h$, $W_3 = 10000 P_3 h$
式中: W_1 ——土壤最大持水量 (t/hm²); W_2 ——土壤非毛管持水量 (t/hm²); W_3 ——土壤毛管持水量 (t/hm²); P_1 ——土壤总孔隙度 (%); P_2 ——土壤非毛管孔隙度 (%); P_3 ——土壤毛管孔隙度 (%); h ——计算土层厚度 (m)。

2.3 土壤渗透性测定

在选取的典型样地上采用定水头法测定土壤渗透性,土壤分层利用自然发生层。环刀利用自制的容积为 1 000 cm³ 的大环刀。测定时将装有原状土柱的环刀下端套上有网孔且垫有滤纸的底盖,上端放置一个大小与环刀一致,高 2 cm 的环。利用凡士林涂抹将上下接口密封,严防从接口处漏水。将结合好的环刀放在漏斗上,架上漏斗架,漏斗下面承接盛水容器。从上端向环内加水,保持水与环的上沿

相平,即保持定水头 2 cm。试验过程中每隔 2 min (t) 称量并记录一次通过土柱渗透出的水量,直到单位时间内渗出水量相等为止。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型下土壤蓄水能力

森林土壤蓄水量通常以土壤非毛管水蓄水量为计算的基准。蓄水性能的提高有利于调节地表径流,增加土壤有效水,使土壤具有更大的接纳降雨的能力,从而为植被的生长提供了良好的土壤水分环境。而在干旱半干旱地区土壤水分很难达到饱和,土壤水分经常处于亏缺状态,土壤储水以吸持蓄水为主,因此,单用土壤非毛管水蓄水量评价土壤蓄水性能不全面也不合理,应以非毛管孔隙和毛管孔隙蓄水能力来反映和评价土壤贮蓄和调节水分的潜在能力^[8-9]。

土壤孔隙度的高低、孔隙大小及其分布情况决定着土壤水分可贮存的数量和移动的速度。孔隙度愈高,孔隙大,其透水性愈强。

由图 1 可以看出各样地中容重最大的是沙棘灌丛 1.16 g/cm³,其次是半阴坡草地、阳坡草地 1.12 g/cm³,而华北落叶松最小为 0.92 g/cm³。土壤的非毛管孔隙度大小顺序是阳坡草地 (10.45 %) > 华北落叶松 (7.49 %) > 沙棘灌丛 (5.86 %) > 虎榛子灌丛 (4.86 %) > 半阴坡草地 (4.84 %); 毛管孔隙度大小顺序是虎榛子灌丛 (52.9 %) > 华北落叶松 (51.1 %) > 半阴坡草地 (48.38 %) > 阳坡草地 (46.85 %) > 沙棘灌丛 (44.65 %); 总孔隙度大小顺

序是华北落叶松(58.59%)>虎榛子灌丛(57.82%)>阳坡草地(57.29%)>半阴坡草地(53.22%)>沙棘灌丛(50.51%)。可以看出华北落叶松利用其发育良好的根系使得土壤变得疏松,增加了林地的通气和透气性,使得林地涵养水源能力增强。同时克隆植物虎榛子多分布在坡顶部位,且密度较大,石砾含量较高,所以其容重较小,毛管孔隙度较大。

由表 2 可知,不同植被类型下土壤毛管持水深大小顺序依次为华北落叶松>半阴坡草地>沙棘灌丛>虎榛子灌丛>阳坡草地。非毛管持水深大小顺序依次为阳坡草地>半阴坡草地>华北落叶松>沙棘灌丛>虎榛子灌丛。由于阳坡草地石砾含量远高于其它样地,故其非毛管持水深远大于其它样地。但是由于其土层比较浅薄,保水能力较差,故这里是流域产流的主要地段。不同植被类型的最大持水深大小也有差别,顺序依次为华北落叶松>阳坡草地

>半阴坡草地>沙棘灌丛>虎榛子灌丛。可以看出在该地区人工华北落叶松在封育恢复 20 a 后森林环境已经形成了良好的小气候,土壤生物活动强度大,人为干扰减少,有利于改良土壤性质,土壤毛管持水深和最大持水深均最高,很好地发挥了土壤的水文调节功能。

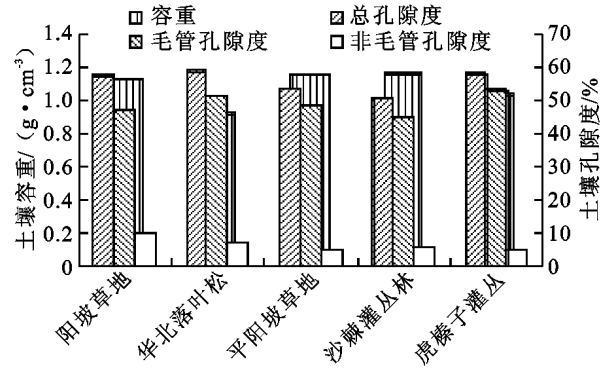


图 1 不同植被类型土壤容重和孔隙度比较

表 2 不同样地类型下 (0 - 100 cm) 土壤持水性能比较

样地类型	毛管持水深/ mm	非毛管持水深/ mm	最大持水深/ mm	根系主要 分布深/ cm	石砾含量/ (g · cm ⁻³)
阳坡草地	468.46	104.49	572.94	0 - 30	0.084
华北落叶松	511.01	74.81	585.82	0 - 60	0.065
半阴坡草地	492.73	78.74	571.47	0 - 35	0.071
沙棘灌丛林	485.69	52.17	537.87	0 - 50	0.075
虎榛子灌丛	476.60	43.74	520.34	0 - 40	0.079

3.2 不同植被类型下土壤渗透性

土壤层对降雨有两次调节分配作用:一是降雨的入参与地表产流;二是入渗不断补充土壤水分,首先在毛管力作用下满足土壤毛管孔隙持水量,然后,其余的下渗水分通过非毛管孔隙在重力作用下运动,进一步形成壤中流与地下径流。因此,土壤渗透性是土壤水文物理性质的重要参数^[10-11]。

从图 3 可知,大多数样地土壤渗透速率的变化趋势一致,在渗透初期速率较高,随着时间的推移而下降,最后达到稳定状态。根据土壤水分渗透所受作用力和运动特性,土壤渗透曲线大致可分为 3 个阶段:渗透率瞬变阶段、渐变阶段和平稳阶段。虎榛子灌丛、沙棘灌丛、半阴坡草地最大初渗率均出现在表层(0 - 20 cm)中,大小顺序依次为虎榛子灌丛>半阴坡草地>沙棘灌丛,而华北落叶松最大初渗率则出现在渗层(100 - 120 cm)土壤中。这是因为在该地区由于降雨不能满足华北落叶松的蓄水要求,造成其根系向下延伸,改善了渗层土壤的孔隙状况,使得深层土壤形成了较大的非毛管孔隙。同时下层土壤石砾含量增多也是造成初渗率提高的因素之一。

另一个特殊的现象是在阳坡草地 0 - 20 cm 和虎

榛子灌丛 20 - 40 cm 土层测定的土壤入渗率却随着时间逐步升高。这可能是因为在这两层土壤大孔隙度很大,其中阳坡草地 0 - 20 cm 和虎榛子灌丛 20 - 40 cm 的非毛管孔隙度均最大,分别为 7.03 % 和 12.46 %。在进行土壤渗透率测定过程中土壤大孔隙的塌陷使土壤大孔隙得以联通导致有效大孔隙增大而造成的。

不同植被类型、不同深度的土壤稳渗速率变异性很大,表层土壤 0 - 20 cm 稳渗速率变化范围 0.6 ~ 3.4 mm/ min。通过数据计算不同植被类型下的稳渗速率大小顺序依次为华北落叶松>虎榛子灌丛>半阴坡草地>阳坡草地>沙棘灌丛。这说明华北落叶松林地较其它植被类型有较高的渗透率,有很好的保持水土、涵养水源作用,所以要加强人工华北落叶松林的保护和抚育管理工作。

4 小 结

(1) 5 种植被类型的土壤容重相差较大,各个样地的土壤容重均值大小依次为沙棘灌丛,其次是半阴坡草地、阳坡草地、虎榛子灌丛,而华北落叶松。更加直接地反映土壤有效水文调节能力的非毛管孔隙度的大小顺序依次是阳坡草地>华北落叶松>沙棘灌丛>虎

榛子灌丛 > 半阴坡草地; 反映土壤潜在和调蓄水分能力的土壤总孔隙度大小顺序依次为华北落叶松 > 虎榛子灌丛 > 阳坡草地 > 半阴坡草地 > 沙棘灌丛。

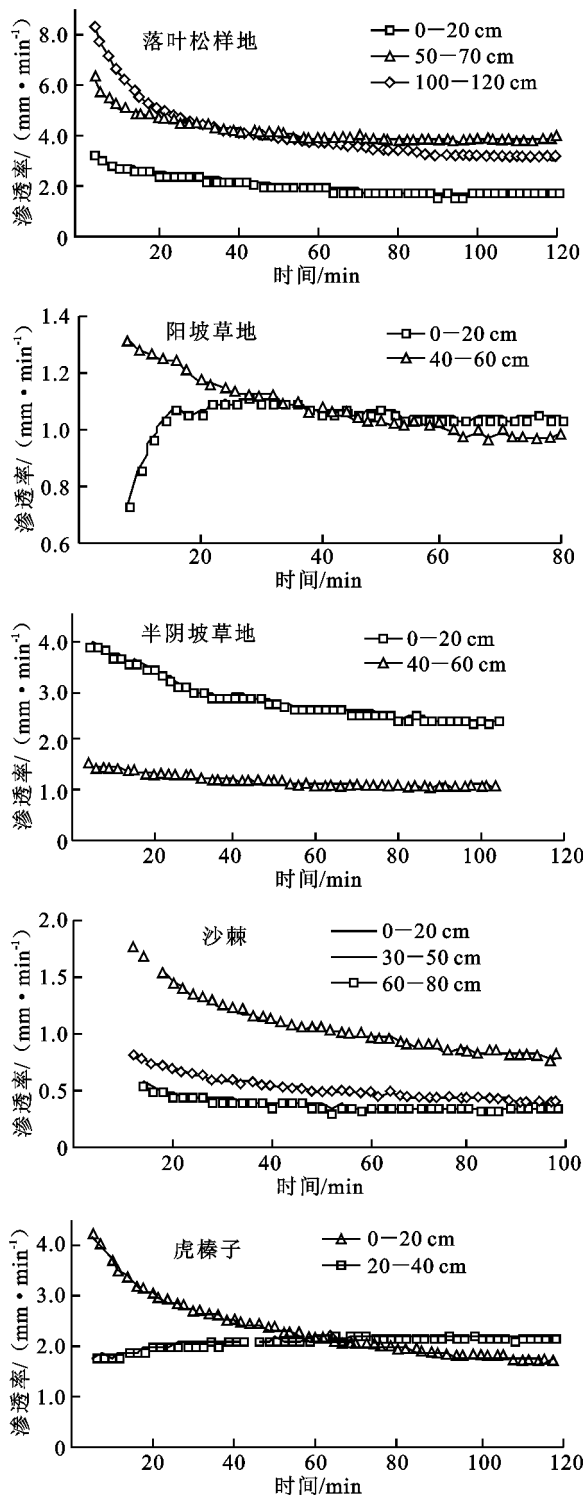


图 2 不同植被类型下土壤渗透性比较

(2) 5 种植被类型的土壤渗透性能也表现出较大差异, 整个样地的土壤稳渗速率的大小顺序是华北落叶松 > 虎榛子灌丛 > 半阴坡草地 > 阳坡草地 >

沙棘灌丛, 另一个特殊的现象是在阳坡草地 0 - 20 cm 和虎榛子灌丛 20 - 40 cm 土层测定的土壤入渗率却随着时间逐步升高。这可能是因为在这两层土壤大孔隙度很大, 其中阳坡草地 0 - 20 cm 和虎榛子灌丛 20 - 40 cm 的非毛管孔隙度均最大, 分别为 7.03 % 和 12.46 %。由于在进行土壤渗透率测定过程中土壤大孔隙的塌陷使土壤大孔隙得以联通导致有效大孔隙的增大而造成的。

(3) 通过以上几个指标的比较, 华北落叶松林地较其它植被类型有较高的渗透率, 有很好的保持水土、涵养水源作用。说明在干旱半干旱地区人工华北落叶松在封育恢复 20 a 后森林良好的小气候已经形成了, 土壤生物活动强度大, 同时人为干扰减少, 有利于改良土壤性质所以要加强人工华北落叶松林的保护和抚育管理工作。这样可以加强该地区森林的水源涵养功能。

参考文献:

- [1] 黄承标, 梁宏温. 广西不同地理区域森林土壤水文物理性质研究[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 96-100.
- [2] Singhl J S, Milchunas D G, Lauenroth W K. Soil water dynamic and Vegetation patterns in a semiarid grassland[J]. Plant Ecology, 1998, 134: 77-89.
- [3] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515-519.
- [4] 周泽福, 洪玲霞. 不同林地土壤水分入渗和入渗模拟的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(1): 9-16.
- [5] 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): 24-26.
- [6] 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.
- [7] 吴钦孝, 韩冰, 李秧秧, 等. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 1-5.
- [8] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 缙云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, 2006, 20(2): 106-109.
- [9] 郝占庆, 王力华. 辽西山区主要森林类型土壤持水能力研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237-241.
- [10] 张社奇, 王国栋, 时新玲, 等. 黄土高原油松人工林地土壤水分物理性质研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 60-64.
- [11] 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.