

# 黄土丘陵区退耕还林后不同林地土壤孔隙与贮水特性

李红<sup>1</sup>, 范素芳<sup>1</sup>, 张光灿<sup>1</sup>, 张淑勇<sup>2</sup>, 周泽福<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学 林学院 山东农业大学农业生态与环境重点实验室, 山东 泰安 271018;

2. 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业局林木培育实验室, 北京 100091)

**摘要:** 为探索退耕还林工程中树种配置措施对林地土壤水文性质的影响, 在黄土丘陵区采用环刀法测定了退耕还林后 10 年生刺槐、侧柏、油松林分的土壤孔隙度和贮水能力。(1) 各种林分都具有明显改善土壤贮水性能的作用, 表现为降低土壤容重, 增加土壤孔隙度及贮水量; 改善程度以刺槐林分为最大, 油松林分次之, 侧柏林分较小。(2) 各种林分对土壤(非毛管孔隙度) 滞留贮水量的提高程度均大于对(毛管孔隙度) 吸持贮水量的提高程度。(3) 林地土壤贮水性能的垂直空间变异性较明显, 随着土层深度的增加, 土壤容重增加而土壤孔隙度和贮水量减小。

**关键词:** 黄土丘陵区; 退耕还林; 土壤容重; 土壤孔隙度; 土壤贮水量

文献标识码: A 文章编号: 1009-288X(2010)01-0027-04 中图分类号: S152.5, S714.2, S714.6

## Characteristics of Soil Water-holding and Soil Porosity Under Different Tree Species After Conversion of Cropland to Forest in the Loss Hilly Region

LI Hong<sup>1</sup>, FAN Su-fang<sup>1</sup>, ZHANG Guang-can<sup>1</sup>, ZHANG Shu-yong<sup>2</sup>, ZHOU Ze-fu<sup>2</sup>

(1. Forestry College, and Key Laboratory of Agricultural Ecology and Environment,

Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, and State Forestry Administration Forest Cultivation Lab, Beijing 100091, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of species configuration measures on the nature of soil hydrology in the project of conversion of cropland to forest land, soil porosity and the capacity of water-holding for 10-year-old *Robinia pseudoacacia*, *Platycladus orientalis*, and *Pinus tabulaeformis* are determined using forest ring in the loss hilly region. Results show that (1) a variety of stands have significantly improved the capacity of water-holding, i. e., the performance to reduce soil bulk density and increase soil porosity and soil water-holding. The greatest improvement is by *Robinia pseudoacacia*, the second is by *Pinus tabulaeformis* stand, and the third is by *Platycladus orientalis*. (2) Increase in the amount of residual water of soil (non-capillary porosity) by various stands is greater than the degree of (capillary porosity) water retention. (3) The vertical spatial variability of forest soil is obvious. With the increase in soil depth, soil bulk density is increased, but soil porosity and water storage are reduced.

**Keywords:** loss hilly region; conversion of cropland to forest land; soil bulk density; soil porosity; soil water-holding

林地土壤的贮水性能是森林植被水文生态效应研究的重要内容。通过对林地土壤贮水特征参数的测定分析, 可以了解和评价不同植物群落类型土壤层的保持水土和涵养水源功能。黄土丘陵区是我国生态脆弱性最高和水土流失最严重的区域之一, 长期以来对森林植被的严重破坏和对土地资源的不合理利

用其是重要原因。因此, 实施退耕还林和恢复森林植被是防治水土流失的重要措施。迄今为止, 关于黄土高原不同植物群落水文生态效应的研究, 已经取得了丰硕的成果<sup>[1-4]</sup>, 但针对退耕还林后土壤贮水性能的研究还相对较少。本文以黄土丘陵退耕还林工程区圪针耳小流域为背景, 对退耕 10 a 后不同树种林地

收稿日期: 2009-07-16

修回日期: 2009-09-02

资助项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD03A1205; 2006BAD26B06-1)

作者简介: 李红(1983—), 女(汉族), 山东省昌乐县人, 硕士, 主要研究方向为林业生态工程。E-mail: lihong8303@126.com。

通信作者: 张光灿(1963—), 男(汉族), 山东省寿光县人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为林业生态工程和植物水分生态。E-mail: zhgc@sdau.edu.cn。

的土壤贮水性能进行观测研究,以期对退耕还林树种的合理选择与配置提供参考依据。

## 1 研究区概况

研究区位于山西省中阳县的圪针耳流域,属黄河流域典型的黄土丘陵沟壑区,地处东经  $110^{\circ}58'41''$ — $111^{\circ}01'55''$ ,北纬  $37^{\circ}09'51''$ — $37^{\circ}11'58''$ 。该区属暖温带亚干旱区大陆性明显的季风气候,气候干燥。多年平均降水量为 518.6 mm,多集中在 7—9 月份(占全年降水量的 70% 以上),多年平均蒸发量为 1 019.7 mm。多年平均气温  $6^{\circ}\text{C}$ — $10^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温  $35.6^{\circ}\text{C}$ (1994 年 6 月 16 日),极端最低气温  $-24.3^{\circ}\text{C}$ (1980 年 1 月 30 日),无霜期 120~200 d,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温达 3 000  $^{\circ}\text{C}$  以上。土壤为灰褐性土,发育差,水土流失严重。属于森林草原灌丛植被区,现有树种少,林地大部分是疏林地,林分稳定性差。

## 2 材料与方法

在小流域试验区内阳坡坡面,选取退耕还林工程中营造的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*) 3 种林分和 1 处荒草坡地(对照),进行土壤容重和土壤孔隙度测定。3 种林分皆为农地退耕后营造的 10 年生人工林,荒草坡为农地同期退耕后形成的灌草丛群落。

在每种林分内设置面积为  $400\text{ m}^2$  ( $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ ) 的临时样地,按对角线设置 3 个测点挖取土壤剖面,分 3 层(0—20, 20—40, 40—60 cm) 采用环刀法测定土壤容重和土壤孔隙度<sup>[5]</sup>,每土层重复 3 次取样。利用土壤孔隙度数据由公式计算一定土层厚度(60 cm) 的土壤贮水量。即:

$$W_c = 10 \cdot P_c \cdot h; W_{nc} = 10 \cdot P_n \cdot h; W_t = 10 \cdot P_t \cdot h。$$

式中:  $W_c$ ,  $W_{nc}$  和  $W_t$  ——土壤吸持贮水量、滞留贮水量和总贮水量(mm);  $P_c$ ,  $P_n$  和  $P_t$  ——土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度(%);  $h$  ——计算的土层深度(cm)。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同树种林地的土壤容重

土壤容重的大小与土壤质地、孔隙结构、有机质含量及土壤紧实度等密切相关,在一定程度上反映出土壤的孔隙状况和贮水能力。即土壤容重较低,意味着土壤疏松和空隙较多,水源涵养和水土保持功能较高;反之亦然。

就林地而言,土壤容重还与林分结构(树种组成、林分密度与年龄等)密切相关,或者说土壤容重的大

小,反映了不同植物群落对土壤水文物理性质(如孔隙状况与涵蓄水能力)改善程度的高低<sup>[6]</sup>。

由图 1 可以看出,各种林地和荒草坡地的土壤容重均随土层深度的增加明显增大,其中刺槐林地在 1.06~1.30  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,油松和侧柏林地的在 1.16~1.31  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,荒草坡地在 1.21~1.30  $\text{g}/\text{cm}^3$  之间变化。不同层次的土壤容重差别明显,方差分析结果达到极显著水平( $P=0.001$ )。不同林地及荒草坡地之间的土壤容重也具有明显差别,但差别主要表现在 0—40 cm 土层范围内,而 40—60 cm 土层的差别较小。例如 0—40 cm 土层的土壤容重平均值为:荒坡灌草地(1.21  $\pm$  0.05  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) > 油松林地(1.19  $\pm$  0.07  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) > 侧柏林地(1.16  $\pm$  0.08  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) > 刺槐林地(1.10  $\pm$  0.06  $\text{g}/\text{cm}^3$ )。方差分析结果为,刺槐与荒草坡之间的土壤容重差异极显著( $P=0.002$ ),但侧柏、油松与荒草坡之间的差异均不显著( $P>0.05$ )。与荒草坡相比,3 种林地土壤容重平均值降低了 5.51%,其中以刺槐林地的降低程度(8.99%)最大,侧柏林地的(3.59%)和油松林地的(3.96%)较小。上述结果表明,3 种林分都具有降低土壤容重的作用,其中以刺槐林分的降低作用明显大于油松和侧柏林分,而且降低作用主要发生在浅层土壤(0—40 cm) 范围内。

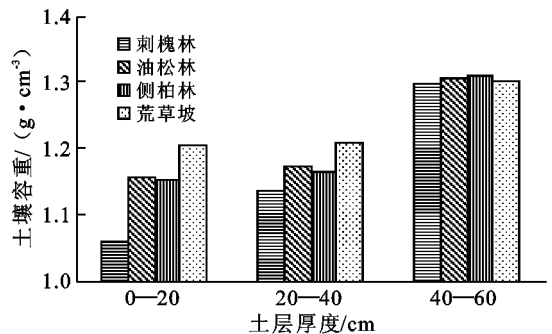


图 1 不同树种林地的土壤容重

### 3.2 不同树种林地的土壤孔隙性

土壤孔隙的大小、数量及分布是土壤物理性质的基础,也是评价土壤结构特征的重要指标<sup>[7]</sup>。土壤孔隙按其直径的大小可分为毛管孔隙和非毛管孔隙。毛管孔隙具有毛细作用,而且孔隙中水的毛管传导率大,易于被植物吸收利用,它的大小反映了土壤保持水分的能力。非毛管孔隙比较粗大,不具毛细作用,其孔隙中的水分,可在重力作用下排出。它一方面反映土壤的通气状况,另一方面在下雨时,通气孔发达的土壤可以快速吸收雨水,使之不致造成地表径流<sup>[8]</sup>。因此非毛管孔隙的大小反映了土壤的通气性、透水性和涵养水源能力的大小。由于不同植被类型

下的土壤机械组成和土壤结构状况存在着明显差别,决定了它们的孔隙状况会有明显不同<sup>[9]</sup>。

由图2可以看出,无论是3种林地还是荒草坡地,不同土壤层次的总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度,均呈现随着土层深度的增加而明显减小的特征。例如,不同土层(1—20, 20—40和40—60 cm)的土壤总孔隙度(图2a),刺槐林地的为60.5%, 55.6%和48.7%,荒草坡地的为51.8%, 50.8%和47.3%左右。另外看出,3种林地的土壤孔隙度有所不同,但都大于荒草坡地的孔隙度。例如,在0—60 cm土层孔隙度的平均值,总孔隙度的为刺槐林地55.0% ± 3.3% > 油松林地52.6% ± 3.1% > 侧柏林地

52.5% ± 2.6% > 荒草坡地50.0% ± 1.1%,毛管孔隙度的为刺槐林地48.2% ± 3.4% > 侧柏林地46.5% ± 2.49% > 油松林地46.2% ± 3.04% > 荒草坡地44.8% ± 2.13%,非毛管孔隙度为刺槐林地6.8% ± 1.35% > 油松林地6.4% ± 1.29% > 侧柏林地6.0% ± 1.39% > 荒草坡地5.2% ± 1.26%。从方差分析结果看,各种孔隙度(总孔隙度、毛管和非毛管孔隙度)均在刺槐林地与荒草坡地之间的差异显著( $P=0.011$ ,  $P=0.046$ 和 $P=0.010$ ),而在侧柏林地、油松林地和荒草坡之间的差异均不显著( $P>0.05$ ),尤其是油松和侧柏林地之间各种孔隙度的差别均较小。

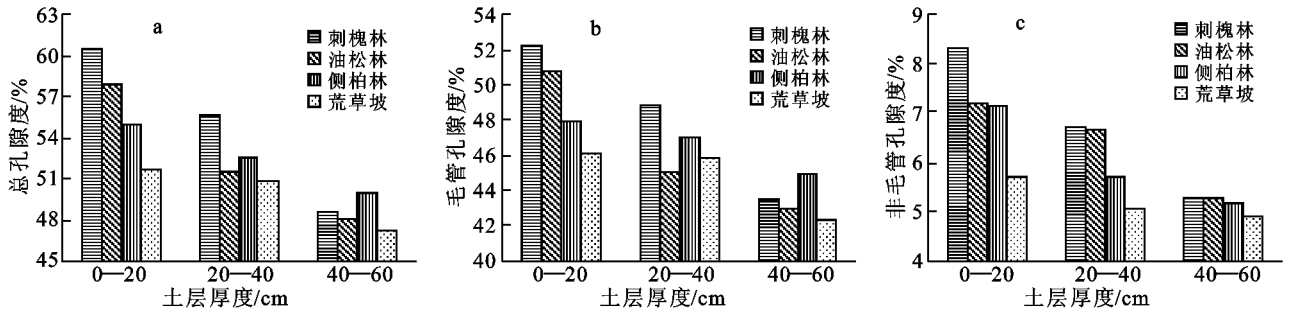


图2 不同树种林地的土壤总孔隙度(a)、毛管孔隙度(b)、和非毛管孔隙度(c)

上述结果表明,与荒草坡地相比,3种林分都具有增加土壤空隙数量,提高土壤保水能力和透水性的作用。其中以刺槐林分的作用程度明显高于油松林分和侧柏林分,而后两种林分的作用水平(孔隙度大小)比较接近。

### 3.3 不同树种林地的土壤贮水量

土壤贮水量作为评价森林植被水分保持与水源涵养功能的重要指标,其大小反映了土壤贮蓄和调节水分的潜在能力的大小<sup>[10]</sup>。

土壤水分贮存可分为吸持贮存和滞留贮存两种形式(某土层厚度内所贮存的水量分别称之为吸持贮水量和滞留贮水量,两者合称为土壤总贮水量)<sup>[11-12]</sup>,两者具有不同的水文生态功能:吸持贮存是水分在毛

管孔隙中的贮存,其水分主要供给植物根系吸收,叶面蒸腾或土壤蒸发,不能参与径流和地下水的形成,但能为植物生长提供必需的水肥条件,因而具有重要的植物生理生态功能。滞留贮存是土壤中自由重力水在非毛管孔隙(大孔隙)中的暂时贮存,为大雨或暴雨提供应急的水分贮存,能够有效地减少地表径流,降雨停止后水分逐渐向深层下渗,使土壤水分不断补充地下水或以壤中流的形式注入河网,因而具有较高的涵养水源功能。

从保持水土的角度看,吸持贮存与滞留贮存都具有减少地表径流和防止土壤侵蚀的功能;而从涵养水源的角度看,只有滞留贮存的水分才具有通过径流(壤中流或地下径流)补充给江河和地下水的功能<sup>[6]</sup>。

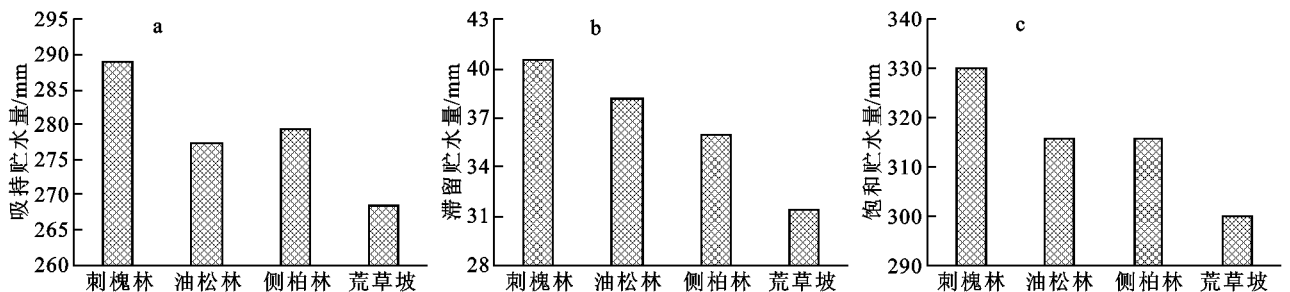


图3 不同树种林地0—60 cm土层的吸持贮水量(a)、滞留贮水量(b)、饱和贮水量(c)

由图 3 可以看出, 3 种林地(0—60 cm 土层)的土壤贮水量明显大于荒草坡地的贮水量。其中, 土壤总贮水量为刺槐林地(329.6 mm) > 油松林地(315.7 mm) > 侧柏林地(315.5 mm), 分别比荒草坡地(300.0 mm)高出 9.88%, 5.24% 和 5.18%; 吸持贮水量为刺槐林地(289.1 mm) > 侧柏林地(279.6 mm) > 油松林地(277.5 mm), 分别较荒草坡地的(268.6 mm)提高了 7.63%, 3.31% 和 4.08%; 滞留贮水量为刺槐林地(40.6 mm) > 油松林地(38.2 mm) > 侧柏林地(36.0 mm), 分别较荒草坡地的(31.3 mm)提高了 29.59%, 22.12% 和 14.95%。从方差分析结果看, 各种贮水量(总贮水量、吸持和滞留贮水量)除了油松林地与侧柏林地之间的差异不显著外( $P > 0.05$ ), 刺槐林地与侧柏、油松林地以及荒草坡地之间的均有显著差异( $P$  值都小于 0.04), 尤其是油松和侧柏林地之间各种孔隙度的差别均较小。

上述结果表明, (1) 3 种林分(与荒草坡地相比)都具有增加土壤贮水性能的作用。其中以刺槐林分的作用程度显著高于油松林分和侧柏林分, 而后两种林分的作用水平(尤其总贮水量水平)比较接近。(2) 3 种林分对土壤滞留贮水性能的提高程度明显高于对吸持贮水性能的提高。例如, 3 种林地滞留贮水量的平均值比荒草坡地高出 22.22%, 而其滞留贮水量平均值高出 5.01% 左右, 前者是后者的 4 倍多。这对于延缓或减少地表径流的形成, 提高土壤抗侵蚀能力和水源涵养性能至关重要。

## 4 结论

(1) 黄土丘陵区实施退耕还林工程后, 3 种(刺槐、油松和侧柏)林地的土壤水文物理性质得到一定水平的改善, 表现为土壤容重降低, 土壤孔隙度及其贮水量增加。

(2) 3 种林分对土壤贮水性能的改善作用差别较明显, 改善程度以刺槐林分的明显于油松和侧柏林分。表明刺槐是黄土丘陵区退耕还林生态效应较高的树种。

(3) 3 种林分对土壤滞留贮水量(非毛管孔隙度)的提高程度均大于对吸持贮水量(毛管孔隙度)的

提高, 表明退耕林分可以更好地提高土壤快速贮水能力而发挥防止侵蚀功能。

(4) 各种林地和荒草坡地土壤贮水量的垂直空间变异性较明显, 均表现为随土层深度的增加而减小, 表明退耕林分对土壤贮水能力垂直空间异质性的影响还不明显。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 张社奇, 王国栋, 刘建军, 等. 黄土高原刺槐林地土壤水分物理性质研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 11-14.
- [ 2 ] 刘胜, 贺康宁, 常国梁, 等. 黄土高原寒区青海云杉人工林地土壤水分物理特性研究[J]. 西部林业科学, 2005, 34(3): 25-29.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] 朱继鹏, 高甲荣, 胡封兵, 等. 晋西黄土区不同森林植被的林地水源涵养功能[J]. 林业资源管理, 2005(3): 47-50.
- [ 5 ] 陈立新. 土壤实验实习教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005: 17-50.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] 宫渊波, 麻泽龙, 陈林武, 等. 嘉陵江上游低山暴雨区不同水土保持林结构模式水源涵养效益研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 28-36.
- [ 8 ] 庞学勇, 包维楷, 张咏梅, 等. 岷江柏林下土壤物理性质及其地理空间差异[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(5): 596-601.
- [ 9 ] 吴蔚东, 黄月琼, 黄春昌, 等. 江西省主要森林类型下土壤的物理性质[J]. 江西农业大学学报, 1996, 18(2): 131-136.
- [ 10 ] 王棣, 吕皎. 油松混交林的水土保持及水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 44-46.
- [ 11 ] 张治国, 张云龙, 刘徐师, 等. 林业生态工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 63-65.
- [ 12 ] 于志民, 余新晓. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版, 1999: 45-55.