

红壤侵蚀区几种水土保持林水文效应研究

喻荣岗, 左长清, 杨洁, 谢颂华, 李小强, 王昭艳

(江西省水土保持科学研究所, 江西 南昌 330029)

摘 要: 水土保持林对天然降雨起着截流、吸收的作用。系统研究了试验区内马尾松林、湿地松林、板栗林以及马尾松+板栗混交林的冠层、枯落物层及土壤层的水文效应。结果发现,不同林分在这 3 个方面均表现出差异。(1) 林冠层截留量针叶林大于阔叶林,针阔混交林居中,其顺序为:湿地松林>马尾松林>针阔混交林>板栗林。(2) 林下枯落物层有效拦蓄量和土壤蓄水功能阔叶林大于针叶林,针阔混交林居中,其顺序为:板栗林>针阔混交林>马尾松林>湿地松林。通过 3 个层次水文效应研究,揭示出营造和管理水土保持林时,应促使 3 个水文层次功能的同时优化,尽量营造针阔混交林,增加植被层次结构的复杂性,既要发挥针叶林林冠层截留效应,又要发挥阔叶林枯落物层和土壤层的涵养水源功能。

关键词: 红壤侵蚀区; 水土保持林; 水文效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0194-05

中图分类号: S715

Hydrological Effects of Soil and Water Conservation Forest in Red-soil Erosion Region

YU Rong-gang, ZUO Chang-qing, YANG Jie, XIE Song-hua, LI Xiao-qiang, WANG Zhao-yan

(Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang, Jiangxi 330029, China)

Abstract: Rainfall can be intercepted and assimilated by soil and water conservation forest. Based on the analyses of hydrological effects of canopy, litter fall, and soil for different stands such as Masson pine, *Pinus elliotii*, Chinese chestnut, and Masson pine & Chinese chestnut mixed forest, the study showed that in terms of the interception amount of forest canopies, stands ranked in the descendant order of *Pinus elliotii*, Masson pine, needle-board leaf mixed forest, and Chinese chestnut. Stands, in terms of the effective interception amount and water holding of soil for litter, ranked in the descendant order of Chinese chestnut, needle-board leaf mixed forest, Masson pine, and *Pinus elliotii*. When planting and managing soil and water conservation forest, the three layer hydrologic function should be optimized simultaneously and a prior consideration should be given to the needle-board leaf mixed forest. The forest had a complicated vegetation structure and was propitious to exert interception effect of needle leaf forest and headwater conservation function of litter and soil of board leaf forest.

Keywords: red-soil erosion region; soil and water conservation forest; hydrological effect

植被重建和恢复是治理水土流失的重要措施之一,用植被保持水土的作用机理主要是林冠层对降雨的截留、蓄积和植被枯枝落叶层对降雨的阻流、增渗、涵养水源^[1-10],正是植被的这种水文效应,才能使植物措施在水土保持中占有其它任何措施无法替代的地位。关于植被的水土保持效应已有较多的报道,大多集中在对黄土高原区植被的水文效应研究,而南方

红壤侵蚀区水土保持林水文效应研究报道较少。本文研究了马尾松林、湿地松林、板栗林以及马尾松+板栗混交林等几种人工林地的水文效应,旨在为南方人工水土保持林发展提供依据。

1 试验区概况

试验区布设在德安县博阳河西岸。地貌类型为

收稿日期:2006-11-22

修回日期:2007-08-02

资助项目:国家农业科技成果转化资金项目“花岗岩侵蚀区水土保持植物优化技术区域试验与示范”(02EFN213601114)

作者简介:喻荣岗(1977-),男(汉族),江西省德安县人,工程师,主要从事水土保持研究和监测工作。E-mail:yrq1314@163.com。

通讯作者:左长清(1956-),男(汉族),湖南省衡阳市人,博士、教授级高级工程师,长期从事水土保持科学研究和管理工作。E-mail:zuochq@sina.com。

浅丘岗地,海拔在 30~100 m 之间,坡度小于 25°;土壤为侵蚀性红壤,成土母质为第四纪红色黏土;属亚热带季风气候区,四季分明,气候温和,雨量充沛,多年平均降雨 1 350 mm,多年平均气温为 16.7 °C,年日照时数为 1 650~2 100 h,多年平均无霜期 249 d;现状植被主要是天然次生、半次生和人工林木及其伴生的下木和地被物,主要植物建群种有马尾松、湿地松、杉木及经果林。

2 研究内容及方法

2.1 树冠层截流量的测定

选择条件基本一致的马尾松林、湿地松林、板栗林以及马尾松+板栗(以下简称针阔混交林)等 4 块标准试验地,其基本情况见表 1。

表 1 试验地基本情况

| 类型 | 面积/m ² | 树高/m | 胸径/cm | 郁闭度 |
|-------|-------------------|------|-------|-----|
| 马尾松林 | 400 | 7.3 | 11.8 | 0.6 |
| 湿地松林 | 400 | 7.5 | 12.1 | 0.6 |
| 板栗林 | 400 | 6.2 | 11.3 | 0.5 |
| 针阔混交林 | 400 | 6.9 | 11.5 | 0.6 |

2.1.1 林外雨量的测定 以邻近试验区气象站观测雨量代替,用自记雨量计和雨量筒观测。

2.1.2 林内降水测定 每块标准试验地采用网格法在林下布设 15~20 个雨量筒,测定林内穿透雨,并取算术平均值作为林内降水。

2.1.3 树干茎流量测定 在试验标准地内选择 5 株标准木,在其树干胸高处,将剖开的聚乙烯塑料管螺旋状嵌入树干四周,同时按每棵树的林冠投影面积换算成单位面积的茎流量。

2.2 枯落物持水量的测定

在所设不同人工林地类型标准地内,布设 5 个 1 m×1 m 样方,将其枯落物收集称重,取 2 个 1 kg 样品带回室内烘干称重,继而浸水 24 h,取出滤干后

(没有水滴下为止),依次称其自然含水率,最大持水率(饱和持水率)和单位面积枯落物现存量。由此估算出各类人工林枯落物层有效拦蓄量。

2.3 土壤水文性质的测定

采用环刀浸水法测定 4 块标准林地内的土壤孔隙度、土壤容重、毛管最大持水量、饱和贮水量等水文性状^[11]。

3 研究结果与分析

3.1 树冠层水文作用

大气降水落到水土保持林表面时,首先被林冠层截留,引起降水的第一次分配,这种分配使降雨的途径发生变化,转以林内穿透雨、树干茎流形式进入林地,并在分配过程中有一部分被林冠层枝叶和树干临时容纳而后由又蒸发返回大气中。这一分配主要与林冠结构、树干形态及林分郁闭度有关^[11]。

通过 2003 年全年 107 场降雨的观测,林冠截留量以湿地松为大,占全年降雨量的 17.3%;其次为马尾松,占全年降雨量的 15.7%;再次为混交林,占全年降雨量的 13.8%;最少的为板栗林,占全年降雨量的 12.5%(表 2)。

3.1.1 林内降水 T 林内降水是透过林冠雨量与滴下雨量之和,它是林地土壤水分主要来源。结果详见表 3,不同雨量级范围内林内降水随着降雨增加而逐渐增加,大致呈曲线上升。

降雨的透过率变化趋势,为同一林分随林外雨量的增加而增大,随着雨量级的增加而变化较小,且逐渐趋于稳定,不同林分在同一雨量级差异不大。运用 SPSS11.0 统计软件进行回归分析,发现林内降水 T 与林外降水 P 明显呈直线相关,拟合回归方程如下

$$T_{\text{马}} = 0.8559 P - 0.5850 \quad R^2 = 0.929^{**}$$

$$T_{\text{湿}} = 0.8437 P - 0.6967 \quad R^2 = 0.894^{**}$$

$$T_{\text{板}} = 0.8815 P - 0.6388 \quad R^2 = 0.903^{**}$$

$$T_{\text{混}} = 0.8752 P - 0.7115 \quad R^2 = 0.854^{**}$$

表 2 各人工林类型对降雨的分配

| 林分类型 | 林外降雨/ mm | 林内降水 | | 树干流量 | | 林冠截留量 | |
|-------|-------------|----------|------|-------|-----|--------|------|
| | | 雨量/mm | 比例% | 雨量/mm | 比例% | 雨量/mm | 比例% |
| 马尾松林 | 1 433.0 | 1 171.09 | 81.7 | 37.55 | 2.6 | 224.36 | 15.7 |
| 湿地松林 | 1 433.0 | 1 144.55 | 79.9 | 40.27 | 2.8 | 248.18 | 17.3 |
| 板栗林 | 1 433.0 | 1 204.48 | 84.1 | 49.97 | 3.5 | 178.55 | 12.5 |
| 针阔混交林 | 1 433.0 | 1 191.00 | 83.1 | 44.26 | 3.1 | 197.73 | 13.8 |

表 3 各人工林类型一次降雨量级的林内雨量

mm

| 林外一次降雨量级/mm | 次数 | 林外平均雨量 | 林内平均雨量 | | | |
|-------------|----|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 马尾松林 | 湿地松林 | 板栗林 | 针阔混交林 |
| 0.0~1.0 | 24 | 0.61 | 0.23/38.5 | 0.22/34.4 | 0.28/45.4 | 0.28/45.4 |
| 1.0~5.0 | 31 | 2.69 | 1.72/63.9 | 1.58/58.9 | 1.75/65.1 | 1.71/63.6 |
| 5.0~10.0 | 14 | 7.20 | 5.58/77.5 | 5.38/74.7 | 5.71/79.3 | 5.59/77.6 |
| 10.0~15.0 | 5 | 11.78 | 9.50/80.6 | 9.24/78.4 | 9.75/82.7 | 9.60/81.5 |
| 15.0~20.0 | 14 | 17.01 | 13.97/82.1 | 13.65/80.2 | 14.35/84.3 | 14.17/83.3 |
| 20.0~25.0 | 3 | 22.50 | 18.67/83.0 | 18.29/81.3 | 19.19/85.3 | 18.98/84.4 |
| 25.0~50.0 | 9 | 36.64 | 30.78/84.0 | 30.22/82.5 | 31.66/86.4 | 31.36/85.6 |
| 50.0~100.0 | 5 | 56.80 | 48.03/84.6 | 47.22/83.1 | 49.43/87.0 | 49.00/86.3 |
| 100.0 以上 | 2 | 127.90 | 108.93/85.2 | 107.26/83.9 | 112.15/87.7 | 111.27/87.0 |

注：“/”右侧数据为透过率(%)，下同。

3.1.2 树干茎流量 S 树干茎流量在森林降水分配中所占比重很小,但由于茎流沿树干流入根基,被根基周围土壤吸收,对树木生长及营养元素循环具有很重要的生态意义(详见表 4)。

一般小雨时,一般不产生茎流。当降雨量大于 6.8 mm 时,马尾松林和湿地松林才开始产生茎流;降雨量大于 5.9 mm 时,混交林才开始产生茎流;降雨量大于 4.5 mm 时,板栗林才开始产生茎流。由于板栗树皮较硬而光滑,吸水量小,故相对于马尾松和湿地松的茎流量要大。茎流量的变化是随林外降雨量级增加而增大,而且明显呈现直线相关,拟合回归方程如下

$$S_{\text{干}} = 0.0381 P - 0.2611 \quad R^2 = 0.893^{**}$$

$$S_{\text{湿}} = 0.0404 P - 0.2673 \quad R^2 = 0.874^{**}$$

$$S_{\text{栗}} = 0.0454 P - 0.2057 \quad R^2 = 0.881^{**}$$

$$S_{\text{混}} = 0.0427 P - 0.2465 \quad R^2 = 0.833^{**}$$

3.1.3 林冠截留量 I 林冠截留量是达不到林地那部分降水,通过蒸发最后返回到大气层。林冠截留量的大小对于水土保持人工林水源涵养功能起着一定作用,由于林冠层截留部分降水,延长降水到达地表的时间,有利于水分下渗,利于地表水转化为地下径流,同时林冠层对下落雨滴有缓冲作用,可降低雨滴下落的动能,在一定程度上减少水土流失发生的可能性(见表 5)。

林冠截留量随着林外降水的增加而增加,然后随着降水增加而逐渐减缓,最后趋近于稳定值。

表 4 各人工林类型一次降雨量级的树干茎流量

mm

| 林外一次降雨量级/mm | 次数 | 林外平均雨量/mm | 茎流量/茎流率 | | | |
|-------------|----|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 马尾松林 | 湿地松林 | 板栗林 | 针阔混交林 |
| 0.0~1.0 | 24 | 0.61 | — | — | — | — |
| 1.0~5.0 | 31 | 2.69 | — | — | — | — |
| 5.0~10.0 | 14 | 7.20 | 0.03/0.4 | 0.04/0.5 | 0.12/1.7 | 0.07/0.9 |
| 10.0~15.0 | 5 | 11.78 | 0.19/1.6 | 0.21/1.8 | 0.33/2.8 | 0.26/2.2 |
| 15.0~20.0 | 14 | 17.01 | 0.39/2.3 | 0.42/2.5 | 0.57/3.4 | 0.48/2.8 |
| 20.0~25.0 | 3 | 22.50 | 0.60/2.7 | 0.64/2.8 | 0.82/3.6 | 0.71/3.2 |
| 25.0~50.0 | 9 | 36.64 | 1.14/3.1 | 1.21/3.3 | 1.46/4.0 | 1.32/3.6 |
| 50.0~100.0 | 5 | 56.80 | 1.90/3.3 | 2.03/3.6 | 2.37/4.2 | 2.18/3.8 |
| 100.0 以上 | 2 | 127.90 | 4.62/3.6 | 4.90/3.8 | 5.61/4.4 | 5.22/4.1 |

注:茎流量单位为 mm,茎流率单位为 %。

表 5 各人工林类型一次降雨量级的林冠截留量

| 林外一次降雨量级/mm | 次数 | 林外平均雨量/mm | 截留量/截留率 | | | |
|-------------|----|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | | | 马尾松林 | 湿地松林 | 板栗林 | 针阔混交林 |
| 0.0~1.0 | 24 | 0.61 | 0.38/61.5 | 0.39/65.6 | 0.33/54.6 | 0.33/54.6 |
| 1.0~5.0 | 31 | 2.69 | 0.97/36.1 | 1.11/41.1 | 0.94/34.9 | 0.98/36.4 |
| 5.0~10.0 | 14 | 7.20 | 1.59/22.1 | 1.78/24.7 | 1.37/19.0 | 1.54/21.4 |
| 10.0~15.0 | 5 | 11.78 | 2.09/17.8 | 2.33/19.8 | 1.70/14.4 | 1.92/16.3 |
| 15.0~20.0 | 14 | 17.01 | 2.65/15.6 | 2.94/17.3 | 2.09/12.3 | 2.36/13.9 |
| 20.0~25.0 | 3 | 22.50 | 3.23/14.3 | 3.57/15.9 | 2.49/11.1 | 2.81/12.5 |
| 25.0~50.0 | 9 | 36.64 | 4.72/12.9 | 5.21/14.2 | 3.52/9.6 | 3.96/10.8 |
| 50.0~100.0 | 5 | 56.80 | 6.87/12.1 | 7.55/13.3 | 5.0/8.8 | 5.62/9.9 |
| 100.0 以上 | 2 | 127.90 | 14.35/11.2 | 15.74/12.3 | 10.14/7.9 | 11.41/8.9 |

注:截留量单位为 mm,截留率单位为 %。

3.2 枯落物层的水文作用

枯落物层是由不同林分落下的茎叶、枝条、芽、鳞片、花、果实、树皮等的凋落物及动物残体组成。它是山丘区森林地表的重要覆盖面。枯落物层可以吸收地表水,使地表径流转变为流速缓慢的层间流和层下流,它对改善土壤结构具有重要的作用,能增加土壤入渗,削减地表径流量,对于减少土壤侵蚀具有重要的作用。

枯落物层是植物群落发挥水土保持功效的第二作用层,是评价植物群落水文效应的重要因素。枯落物层的水文性质可以用它的最大持水率来评价。不同植物群落的枯落物层的最大持水率与枯落物层的种类、厚度、蓄积量、湿度及分解程度有密切关系。

各人工林的枯落物厚度较薄,变化幅度范围为 1~3 cm。板栗林厚度为 2.9 cm,混交林厚度为 2.7 cm,马尾松林厚度为 2.6 cm,湿地松林为 2.5 cm。枯落物层现存量板栗林为 10.3 t/hm²,针阔混交林为 9.8 t/hm²,马尾松林为 9.2 t/hm²,湿地松林为

8.6 t/hm²。阔叶林的枯落物层比针叶林枯落物层厚度大,现存量,针阔混交林居中。

枯落物层拦蓄能力用下式计算^[12]:

$$W = (0.85R_m - R_n) * M$$

式中:W——枯落物层的有效拦蓄量(mm);R_m——枯落物层的最大持水率(%);R_n——枯落物层的自然含水率(%);M——枯落物层的现存量(t/hm²)。

由表 6 可以看出,板栗林内枯落物层的最大持水率、有效拦蓄量最大,分别为 303.1%,2.4 mm;其次为混交林,最大持水率为 297.8%,有效拦蓄量为 2.2 mm,湿地松林最大持水率及有效拦蓄量最低,分别为 264.7%,1.8 mm。

总体看来,阔叶林枯落物层的最大持水率和有效拦蓄量大于针叶林,针阔混交林居中,主要是因为针叶林枯落物层数量少,针叶具有蜡质,吸水性能较差所致。由表 6 可以看出,在试验区内,板栗林内枯落物层截持降雨能力最强,其次为针阔混交林,湿地松林最弱。

表 6 各人工林类型枯落物层有效拦蓄量

| 人工林类型 | 现存量/(t·hm ⁻²) | 最大持水率/% | 自然含水率/% | 有效拦蓄量 | | |
|-------|---------------------------|---------|---------|-------|---------------------------|--------|
| | | | | 拦蓄量/% | 拦蓄量/(t·hm ⁻²) | 拦蓄量/mm |
| 马尾松林 | 9.2 | 268.9 | 22.4 | 206.2 | 19.0 | 1.9 |
| 湿地松林 | 8.6 | 264.7 | 20.7 | 204.3 | 17.6 | 1.8 |
| 板栗林 | 10.3 | 303.1 | 26.1 | 231.5 | 23.8 | 2.4 |
| 针阔混交林 | 9.8 | 297.8 | 25.7 | 227.4 | 22.3 | 2.2 |

3.3 林地土壤水文作用

林地土壤的水文作用常因林分的种类不同显示出差异,林地土壤物理性质的差异,尤其是土壤容重、孔隙度和贮水量,对其水文生态效应具有显著的影响(见表 7)。研究发现枯落物层现存量最大的板栗林内土壤容重最小,仅为 1.08 g/cm³,总孔隙度、毛管

孔隙度及非毛管孔隙度最大,分别为 60.6%,47.9%,11.2%。其次是针阔混交林、马尾松林和湿地松林。

试验地内,枯落物层现存量越大,土壤容重越小,土壤结构越好,质地越疏松,这有利于雨水迅速下渗,减少地表径流的冲刷。一方面非毛管孔隙大,容易使

地表径流渗入土壤,并在重力的作用下渗透到土壤下层变成地下水,直接缩短渗透时间。另一方面表现为毛管孔隙作用。

毛管孔隙中保存的水分包括一部分膜状水和全部毛管水,由于表面张力和重力的双重作用,滞留在土壤毛管中,起着保障植物正常生长的功能,能够灵

敏感受到土壤外界环境的影响。毛管孔隙度的增加,增加了土壤受水面积,不仅有利于水分纵向渗透,还有利于水分横向渗透,促使水分由高到低不断下渗到地下水层,起着调节径流,稳定水位的功能。由表 7 可知,板栗林地土壤截持地表径流能力最强,其次为针阔混交林,湿地松林最弱。

表 7 各人工林地土壤水文性质

| 人工林类型 | 土壤容重/ ($g \cdot cm^{-3}$) | 孔隙度/% | | | 毛管最大持 水量/% | 毛管最大贮 水量/mm | 饱和持 水量/% | 饱和贮 水量/mm |
|-------|--------------------------------|-------|-------|--------|---------------|----------------|-------------|--------------|
| | | 总孔隙度 | 毛管孔隙度 | 非毛管孔隙度 | | | | |
| 马尾松林 | 1.19 | 56.6 | 46.7 | 9.9 | 37.9 | 270.6 | 45.6 | 325.6 |
| 湿地松林 | 1.21 | 55.8 | 46.5 | 9.3 | 36.9 | 267.8 | 44.7 | 324.5 |
| 板栗林 | 1.08 | 60.6 | 47.9 | 12.7 | 44.6 | 289.0 | 51.1 | 331.1 |
| 针阔混交林 | 1.15 | 58.0 | 46.8 | 11.2 | 40.7 | 280.8 | 47.5 | 327.7 |

注:① 试验地土壤比重为 $2.74 g/cm^3$; ② 土层厚度为 60 cm。

4 结论

水土保持林水文效应离不开林冠层、枯落物层以及土壤 3 个层次的水文作用。通过对南方红壤侵蚀区几种主要水土保持林垂直结构层次水文效应分析,认为 3 个层次在蓄水保土中皆有其独特的功能,但又是相互联系,相互影响的。

降雨以林内降水、树干茎流的分配形式进入林地,几种主要水土保持林对降雨的分配格局是:马尾松林林内降水量 81.7%,树干茎流量 2.6%,林冠截留量 15.7%;湿地松林林内降水量 79.9%,树干茎流量 2.8%,林冠截留量 17.3%;板栗林林内降水量 84.1%,树干茎流量 3.5%,林冠截留量 12.5%;针阔混交林林内降水量 83.1%,树干茎流量 3.1%,林冠截留量 13.8%。试验区内,林冠层截留量针叶林大于阔叶林,针阔混交林居中。

林下枯落物层的水文效应主要受枯落物层数量及最大持水率高低的影响。有效拦蓄量阔叶林大于针叶林,针阔混交林居中。

水土保持林的存在,改善了侵蚀劣地土壤的物理性质,从而改变土壤的蓄水功能。本专题研究区域不同水土保持林类型土壤调节降水的功能为阔叶林大于针叶林,针阔混交林居中,其顺序为板栗林 > 针阔混交林 > 马尾松林 > 湿地松林。

通过对林冠层、枯落物层以及土壤 3 个层次水文效应的研究,可以揭示营造和经营管理水土保持林时,应该促使 3 个水文层次功能的同时优化,尽量营造针阔混交林,增加植被层次结构的复杂性,既要发挥针叶林林冠层截留效应,又要发挥阔叶林枯落物层和土壤层的涵养水源功能。

[参 考 文 献]

- [1] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 水土保持学报,1998,4(2): 23—28.
- [2] 刘文耀,郑征. 云南松林的枯枝落叶层持水效应初探[J]. 植物生态学与地植物学学报,1990,14(2): 191—196.
- [3] 张万儒,许本彤,杨承栋,等. 山地森林土壤枯枝落叶层结构和功能的研究[J]. 土壤学报,1990,27(2): 122—131.
- [4] 詹洪振. 阔叶林红松内枯枝落叶层的生态作用[J]. 植物研究,1989,9(1): 95—102.
- [5] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等. 陕北黄土丘陵区油松林枯枝落叶层蓄积量及其动态变化[J]. 林业科学,1993,29(1): 63—66.
- [6] 关明东,高军,范俊岗,等. 辽宁省试验林场主要森林植被类型土壤水源涵养的功能的研究[J]. 辽宁林业科技,2000(1): 28—30.
- [7] 王佑民. 中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J]. 水土保持学报,2000,14(4): 108—113.
- [8] 黄忠良,张光红,等. 南亚热带季风常绿阔叶林水文功能及其养分动态的研究[J]. 植物生态学报,2000,24(2): 157—161.
- [9] 魏天兴,余新晓,朱金兆. 陕西西南部黄土区林地枯落物截持降水的研究[J]. 北京林业大学学报,1998,20(6): 1—6.
- [10] 高甲荣. 秦岭林区锐齿林区栎林水文效应的研究[J]. 北京林业大学学报,1998,20(6): 31—35.
- [11] 中野秀章[日]著,李云森译. 森林水文学[M]. 中国林业出版社,1983.
- [12] Lee R 著,张建列译. 森林水文学[M]. 东北林业大学出版社,1984.