

# 华北土石山区油松林对降雨再分配的影响

梁文俊, 丁国栋, 臧荫桐, 高广磊, 包岩峰, 安云, 贺宇

(北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**森林对大气降雨的再分配有着重要的作用,2010 年通过对河北省木兰国营林场油松林穿透降雨、冠层截留量和树干径流的观测,分析了华北土石山区油松林降雨再分配的特征。结果表明:油松林的穿透降雨量、冠层截留量和树干径流量分别占大气降雨量的 67.07%,29.79%,3.10%。油松林冠层穿透降雨量和树干径流量与林外降雨量呈明显的线性关系( $R^2=0.986, R^2=0.893$ ),林冠截留量与降雨量成幂函数关系( $R^2=0.765$ );根据回归方程,当林外降雨量大于 0.264 mm 时,可发生穿透降雨,当林外降雨量大于 4.89 mm 时,可发生树干径流;林冠在降雨再分配过程中起着主要的作用,在空间和时间上都进行了再分配。

**关键词:**油松林;降水再分配;水文过程

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0077-04

## Study on Effect of *Pinus tabulaeformis* Plantation on Rainfall Redistribution Processes in the Mountainous Area of North China

LIANG Wen-jun, DING Guo-dong, ZANG Yin-tong, GAO Guang-lei, BAO Yan-feng, AN Yun, HE Yu

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification,

Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Forestry plays an important role in the atmosphere rainfall redistribution. Throughfall, stemflow and canopy interception of a natural forest stand of *Pinus tabulaeformis* in Mulan in Hebei Province of China were observed in 2010. The characteristic of rainfall redistribution of *Pinus tabulaeformis* in the mountainous area was analyzed. The results showed that the rainfall, canopy interception and stem flow accounted for 69.07%, 29.79%, 3.10% of total rainfall, respectively. Throughfall, stemflow had significant relationship with total rainfall ( $R^2=0.986, R^2=0.893$ ). Relation between canopy interception and rainfall could be described by a power function ( $R^2=0.765$ ); according to the regression equation, when the rainfall outside the forest was greater than 0.264 mm, the penetration of rainfall could occur, when rainfall outside the forest was greater than 4.89 mm, the runoff of trunk could occur; canopy in the process of redistribution rainfall played a major role in spatio-temporal redistribution.

**Key words:** *Pinus tabulaeformis*; rainfall redistribution; hydrological process

森林与水是人类生存和发展的物质基础,大气降水在森林生态系统和全球水量平衡中占极其重要的地位<sup>[1-4]</sup>。森林对水文过程的影响是多方面的,其中很重要的一项是森林对大气降水的再分配作用,主要有 3 种表现形式:林冠截留、穿透雨和树干径流。国内外对这一过程已经做了许多的研究<sup>[5]</sup>,主要的森林树种类型有针叶林<sup>[6]</sup>、杉木林<sup>[7]</sup>、高山栎林<sup>[8-12]</sup>、温带落叶林<sup>[13]</sup>、落叶松混交林<sup>[14]</sup>、热带雨林、亚热带常绿

阔叶林<sup>[15-16]</sup>等。研究结果表明,降雨通过林冠层后,林冠截留率为 10%~40%,林内降水透过率为 60%~90%,树干径流率为 0.5%~14%。

森林对降雨的再分配过程也可以称作第二次降雨,即森林次降雨。与次降雨损失量密切相关的就是森林的蒸散,但其对林外大气降雨与林冠截留、穿透雨和树干径流之间的比值关系没有决定性的影响。研究降雨再分配过程,能够更深入地理解森林水文

收稿日期:2011-12-15

修回日期:2012-02-22

资助项目:国家林业局林业公益性行业科研专项经费项目“典型区域森林生态系统健康维护与经营技术研究”(200804022)

作者简介:梁文俊(1983—),男,山西人,博士研究生,主要研究方向:森林生态、荒漠化防治。E-mail:liangwenjun123@163.com

通信作者:丁国栋(1963—),男,内蒙古赤峰人,教授,博士生导师,主要从事荒漠化防治、森林生态方面的研究。E-mail:dch1999@263.net

过程和作用。本研究旨在为河北地区森林生态发展提供一定的理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于河北省围场县境内的木兰国营林场,地理坐标为  $116^{\circ}32'—118^{\circ}14'E, 41^{\circ}35'—42^{\circ}40'N$ , 南临京津地区,北接内蒙古浑善达克沙地,不仅是下游潘家口水库的水源涵养地和滦河主要发源地,同时也是北京地区的上风区和影响北京生态环境质量重要的风沙通道。气候属于中温带向寒温带过渡、半干旱向半湿润过渡的山地气候。具有雨热同期,冬长夏短、四季分明、昼夜温差大的特征。平均气温  $-1.4\sim 4.7^{\circ}C$ , 极端最高气温  $38.9^{\circ}C$ , 极端最低气温  $-42.9^{\circ}C$ ,  $\geq 0^{\circ}C$  的年积温  $2180^{\circ}C$ ,  $\geq 10^{\circ}C$  年积温  $1610^{\circ}C$ ,  $\geq 15^{\circ}C$  年积温  $859^{\circ}C$ ; 无霜期  $67\sim 128$  d,  $\geq 6$  级大风日数 27 d。灾害天气主要有暴雨、霜冻、冰雹、风、沙尘暴和低温等。日照充足,平均日照为 2832 h,日照百分率为 64%。太阳辐射总量为  $532.5\sim 559.7$  kJ/cm<sup>2</sup>。5—9 月植物生长发育时期的太阳辐射量为  $299.7$  kJ/cm<sup>2</sup>,占年总辐射量的 54%。土壤有棕壤、褐土、风砂土、草甸土、沼泽土、灰色森林土和黑土 7 类;分为 7 个植被类型 53 个群系,有维管植物 81 科 382 属 693 种。主要乔木树种有华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、白桦 (*Betula platyphlla*)、山杨 (*Populus davidiana*) 等;主要灌木有毛榛 (*Corylus mandshuica*)、照山白 (*Rhododendron mircranthum*)、土庄绣线菊 (*Spiraea fritschiana*) 等;草本植物主要有披针藁草 (*Carex lancifolia*)、糙苏 (*Phlomis umbrosa*)、东亚唐松草 (*Thalictrum minus*) 等。

## 2 研究方法

### 2.1 群落调查

在密度为 1500 株/hm<sup>2</sup> 的油松人工林内设置 50 m×50 m 的标准样地,将样地分成 10 m×10 m 的小单元进行调查,林分调查内容包括:郁闭度、坡向、坡度,并用全站仪定位每棵乔木的相对位置 ( $x, y$ ),测量其胸径、树高、冠幅、枝下高等因子;取 5 m×5 m 样方调查所有灌木名称、数量、高度和盖度;每个小样方四角和中心调查 1 m×1 m 的草本,记录其种类、数量、高度和盖度。

### 2.2 穿透雨和树干径流的测定方法

根据基础调查数据,在每块样地内选出 5 棵标准

木(以平均冠幅为标准),在标准木下安置 5 个集水槽(由不锈钢材料制成,收集面积为  $1.5\text{ m}\times 0.2\text{ m}$ ),同时在林外空旷地上安置 1 个集水槽作为对照,每个集水槽距离树干 1.5 m;为了避免灌木及草本植物对穿透雨的影响,集水槽的放置高度不低于周围灌木和草本的高度,集水槽较低的一端底部开口,用塑料管连接一个体积为 10 L 的塑料桶。为了避免枯枝落叶等凋落物对测量结果的影响,每次降雨前把集水槽内的凋落物等杂物清理干净。

根据调查数据,再选择 5 株标准木(以不同径级为标准)观测树干径流。将直径为 1.5 cm 的聚乙烯塑料管沿中缝剪开一段,然后用钉子将塑料管开口处固定在树干上,再将剪开的塑料管从两边螺旋上升缠绕于树干一圈,用玻璃胶将接缝处封严,在塑料管的下端接一个 10 L 塑料桶,用于收集树干茎流。每次降雨结束后及时用标准雨量筒测量塑料桶内水的体积。在距离试验地不远的空地安置小型气象站,以便获得林外降雨量、降雨时间、历时、温度、湿度、风速等一系列数据。

### 2.3 数据处理

林冠截留量根据公式(1),通过观测的林外降雨量、穿透雨量和树干径流量计算求出:

$$I = P - (P_t + S) \quad (1)$$

式中: $P$ ——林外大气降水量(mm); $P_t$ ——穿透降雨量(mm); $I$ ——林冠截留雨量(mm); $S$ ——树干径流量(mm)。

树干径流的计算公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{S_N \cdot M_N}{A \times 10^4} \quad (2)$$

式中: $S$ ——树干径流量(mm); $N$ ——树干径级数; $S_N$ ——每一径级的单株树干径流量(ml); $M_N$ ——每个径级的树木株数; $A$ ——样地面积(m<sup>2</sup>)。使用 SPSS 专业统计分析软件对获取的试验数据进行相关性分析和回归分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 林外降雨与穿透雨的关系

观测时间从 2010 年 7 月 5 日—2010 年 11 月,实验区内共测得降雨 15 次,降雨总量 209.97 mm,平均每次降雨量为 14.00 mm,最大降雨量为 39.94 mm,最大降雨强度为 7.95 mm/h,本地区大部分为小雨和中雨,出现了一次短历时的大暴雨。表 1 是标准地森林对降雨再分配过程的调查数据。

表 1 油松人工林内降雨再分配

序号	林外降雨量/mm	穿透雨量/mm	穿透率/%	林冠截留/mm	截留率/%	树干径流/mm	径流率/%
1	6.42	3.15	49.04	3.27	50.93	0.0023	0.04
2	39.94	31.50	78.88	6.93	17.35	1.5050	3.77
3	20.86	14.58	69.91	5.08	24.35	1.1969	5.74
4	2.12	0.48	22.73	1.63	77.07	0.0044	0.21
5	7.82	3.19	40.78	4.62	59.13	0.0075	0.10
6	14.62	10.26	70.18	3.95	27.04	0.4077	2.79
7	14.81	8.32	56.17	6.03	40.71	0.4622	3.12
8	15.90	11.03	69.35	4.44	27.91	0.4346	2.73
9	2.82	1.68	59.66	1.14	40.28	0.0018	0.06
10	10.80	5.08	47.03	5.68	52.60	0.0396	0.37
11	15.53	11.62	74.82	3.27	21.08	0.6357	4.09
12	18.98	12.58	66.28	5.77	30.38	0.6338	3.34
13	8.34	4.79	57.47	3.45	41.38	0.0961	1.15
14	28.11	21.88	77.82	5.16	18.35	1.0747	3.82
15	2.92	0.71	24.40	2.20	75.46	0.0041	0.14

在 2010 年 7 月—11 月 15 次降雨过程中,林内穿透雨占据主要地位(表 1),分别拟合林内穿透雨量与林外降雨量之间的关系后,根据最大  $R^2$  值选择最佳的拟合模型。结果显示,用线性回归方程最能反映穿透雨与降雨量的关系,即随着林外降雨量的增加,穿透雨量呈线性增加,呈现出很明显的正相关关系,这

种规律和国内外的许多研究结果一致。通过检验得知林内穿透水量与林外降雨量的相关性达到极显著水平( $p < 0.01$ ),穿透雨率与降水量的相关性也达到极显著水平( $p < 0.01$ ),随着降雨量或降雨强度的增加,穿透雨率呈上升的趋势,并且逐渐趋于稳定(图 1)。

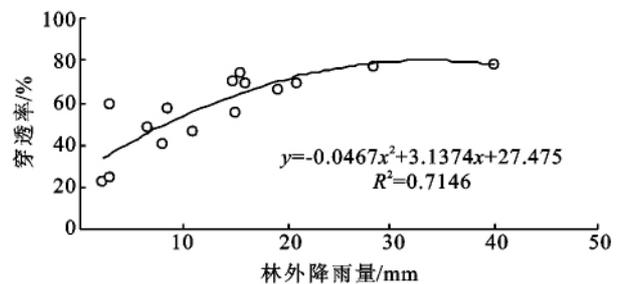
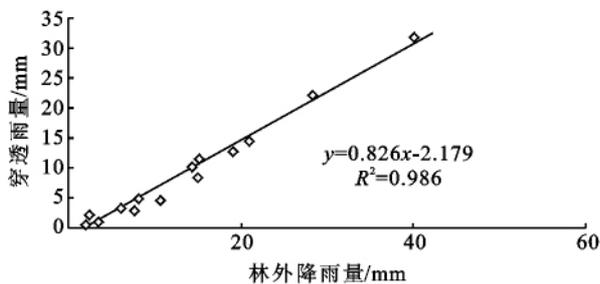


图 1 油松林外降雨量与穿透雨、穿透率的关系

林外降雨和穿透雨呈现线性关系,在降雨初期不会产生穿透雨,当降雨量达到 2.64 mm 时开始出现穿透雨;穿透率在前期与降雨量呈现正相关关系,在降雨达到一定量和时间的时候处于平衡状态,这时林冠充分渗透,截留达到饱和状态,此时降雨大多直接形成了穿透雨,穿透率趋于稳定。

### 3.2 林外降雨与林冠截留的关系

林冠截留在森林降雨再分配过程中占有很大的比例(表 1),拟合 15 次降雨和林冠截留量之间的关系,选择  $R^2$  值最大的拟合关系式,发现林冠截留量与林外降雨量也具有明显的幂函数关系(图 2),达到了极显著水平( $p < 0.01$ )。

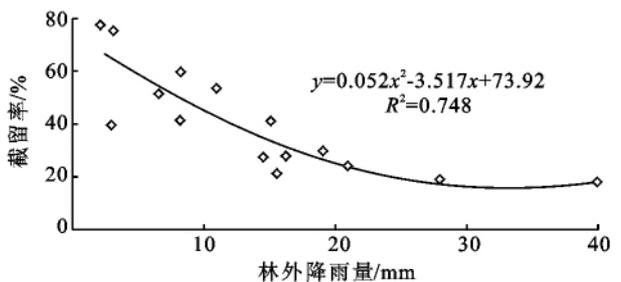
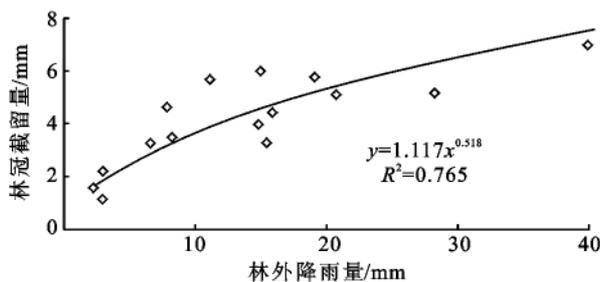


图 2 油松林外降雨量与林冠截留、截留率的关系

林冠截留率与林外降雨量之间的关系如图 2 所示,林冠截留率随林外降雨呈 2 次减函数关系。在雨

量很小时,林冠几乎截留了大部分降水,此时不会出现穿透雨,截留率最大;随着林外降雨量的不断

增加,林冠截留率不断降低,随着时间的推移,林外降雨量进一步增大时,林冠截留率变化趋缓,逐渐趋向最小截留率,最后趋于平衡,这时林冠截留达到饱和,林冠的饱和点与树种、冠幅、林冠厚度、当日湿度、温度和风速等因素密切相关。

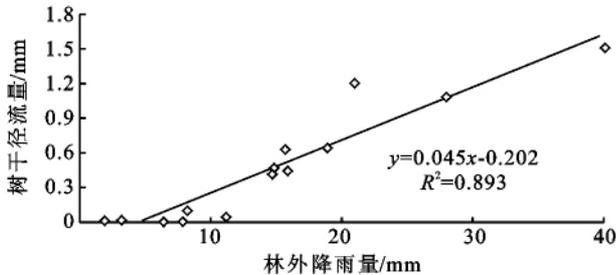


图 3 油松林外降雨量与树干径流、径流率的关系

树干径流具有一定的时滞性,时滞大小依赖于雨强和林木自身特征,雨强大,叶面积指数小,枝干夹角成 45°,树皮光滑且湿润时时滞就小,反之亦然<sup>[4]</sup>。对于本研究的油松林来说,考虑叶面积指数、树干夹角和树皮粗糙度,将树干看作圆柱体,沿树干每隔 1 m 测量周长和所有树皮的开裂弧长,用弧长和与所对应的周长之比就是这个圆处的粗糙度,共测量 3 次取其平均值。

## 4 结论

(1) 2010 年 7—11 月研究期内,共测定有效降雨 15 场,降雨量达 209.97 mm,降雨过程中油松林穿透雨量平均为 9.40 mm,林冠透过率平均为 57.64% (22.73%~78.88%),根据回归方程,可推断该地区产生穿透降雨的临界降雨量为 0.264 mm。

(2) 降雨过程中油松林林冠截留量平均为 4.17 mm,林冠截留率平均为 40.26% (17.35%~59.13%),林冠截留量与林外降雨量呈幂函数关系。

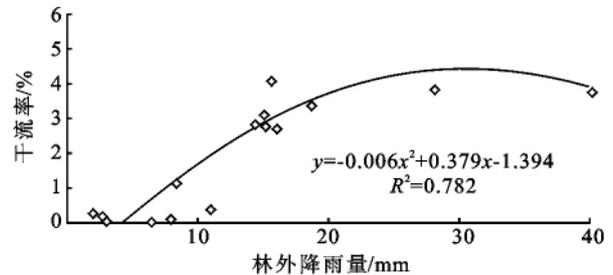
(3) 降雨过程中油松林树干径流量平均 0.43 mm,树干径流率平均 2.1% (0.04%~5.74%)。影响树干径流的影响因子有叶面积指数、树干夹角和树皮粗糙度。树皮粗糙度是指将树干看作圆柱体,沿树干每隔 1 m 测量周长和所有的树皮开裂弧长,用弧长和比所对应的周长就是这个圆处的粗糙度。

### 参考文献:

[1] 石培礼,李文华. 森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J]. 自然资源学报,2001,16(5):481-487.  
 [2] 张胜利,雷瑞德,吕瑜良,等. 秦岭火地塘林区森林生态系统水量平衡研究[J]. 水土保持通报,2000,20(6):18-22.  
 [3] 陈祥伟. 嫩江上游流域生态系统水量平衡的研究[J]. 应用生态学报,2001,12(6):903-907.  
 [4] 裴铁播,郑远长. 林冠分配降雨过程模拟与模型[J]. 林

### 3.3 林外降雨与树干径流的关系

据表 1,树干径流量占林外降雨总量的比例非常小,根据树干径流与林外降雨的关系(图 3),树干径流与林外降雨量也具有明显的线性相关关系,且达到了极显著水平( $p < 0.01$ )。



业科学,1996,32(1):6-10.

[5] Bosch J M, Hewlett J D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration[J]. Journal of Hydrology,1982,55(1/4):3-23.  
 [6] 殷晖,关文斌,薛肖肖,等. 贡嘎山暗针叶林林冠对降雨能量再分配的影响研究[J]. 北京林业大学学报,2010,32(2):2-5.  
 [7] 党宏忠,周泽福,赵雨森. 青海云杉林冠截留特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):61-64.  
 [8] Iida S, Tanaka T, Sugita M. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak[J]. Journal of Hydrology,2005,315(1/4):154-166.  
 [9] 姜海燕,赵雨森,信小娟,等. 大兴安岭几种典型林分林冠层降水分配研究[J]. 水土保持学报,2008,22(6):197-201.  
 [10] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏,等. 六盘山华山松林降雨再分配及其空间变异特征[J]. 生态学报,2009,29(1):76-85.  
 [11] 李海涛. 华北暖温带山地落叶阔叶混交林的茎流研究[J]. 生态学报,1997,17(4):372-376.  
 [12] 何常清,薛建辉,吴永波,等. 岷江上游亚高山川滇高山栎林的降雨再分配[J]. 应用生态学报,2008,19(9):1871-1876.  
 [13] Sraj M, Brilly M, Mikos M. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2008,148(1):121-134.  
 [14] 党宏忠,董铁狮,赵雨森. 水曲柳林冠的降水截留特征[J]. 林业科学研究,2008,21(5):657-661.  
 [15] Dietz J, Holscher D, Leuschner C, et al. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi Indonesia[J]. Forest Ecology and Management,2006,237(1/3):170-178.  
 [16] 巩合德,张一平,刘玉洪,等. 哀牢山常绿阔叶林林冠的截留特征[J]. 浙江林学院学报,2008,25(4):469-474.