

文章编号: 1001-1498(2008)05-0657-05

# 水曲柳林冠的降水截留特征

党宏忠<sup>1</sup>, 董铁狮<sup>2</sup>, 赵雨森<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 辽宁省林业厅外资项目办公室, 辽宁 沈阳 110036; 3. 东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 对水曲柳林冠在 2003 年 5—9 月的降水截留特征进行了野外测定与统计分析, 结果表明: 水曲柳林分林冠截留量为 68.77 mm, 占同期降水量的 17.41%; 降水约按以下比例被再次分配: 穿透降水 72.50%, 林冠截留 17.41%, 树干茎流 10.08%。模拟分析结果表明: Horton 改进模型模拟精度高, 参数物理意义较明确, 水曲柳林冠吸附容量为 0.84 mm, 区域降雨蒸发能力的参数值为 11.83%, 水曲柳林冠截留率随降水变化的曲线可分为快变期 (截留率大于 19.0%, 降水量小于 10 mm)、渐变期 (截留率 19.0% ~ 12.8%, 降水 10 ~ 30 mm) 和稳定期 (截留率小于 12.8%, 降水大于 30 mm), 水曲柳林冠稳定截留率为 12.8%。

**关键词:** 水曲柳; 林冠截留; 树干茎流

中图分类号: S715.2 文献标识码: A

## Study on Canopy Interception of *Fraxinus mandshurica*

DANG Hong-zhong<sup>1</sup>, DONG Tie-shi<sup>2</sup>, ZHAO Yu-sen<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091,

China; 2. Foreign Capital Project Office of Liaoning Provincial Forestry Department, Shenyang 110036, Liaoning,

China; 3. Forestry College of Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

**Abstract:** The relationships between canopy interception of *Fraxinus mandshurica* Rupr and rainfall were studied from May to September in 2003 by surveying and statistic methods. The result showed that the canopy interception of *Fraxinus mandshurica* for rainfall was 68.77 mm, which accounted for 17.41% of total rainfall in the same periods. The rainfall was redistributed by the proportion of penetration 72.50%, interception 17.41% and the stem flow 10.08%; the redistribution of rainfall by canopy could be simulated precisely by the improved Horton model, the canopy rainfall adsorption capacity of *Fraxinus mandshurica* was 0.84 mm. The parameter which means coefficient of evaporation of canopy regionally was 0.1183. It was indicated that the curve of forest interception with rainfall marked 3 phase such as descent quickly phase (interception rate more than 19% while rainfall less than 10 mm), descent gradually phase (interception rate is in 19.0%—12.8% while rainfall 10—30 mm) and stable phase (interception rate less than 12.8% while rainfall more than 30 mm), which could explain the relationships of interception with canopy geometry shape characteristics of *Fraxinus mandshurica*. The stable interception rate was 12.8%.

**Key words:** *Fraxinus mandshurica*; canopy interception; stem flow

林冠是森林生态系统水分传输的第一界面  
层<sup>[1]</sup>。林冠截留改变了降水的分配格局, 显著影响

林分水分供应与流域水文过程<sup>[2-4]</sup>。一般认为, 针  
叶树种的林冠截留能力比阔叶树高, 但也有相反的

收稿日期: 2007-07-09

基金项目: 黑龙江省重大科技攻关项目 (GA02B601) 资助

作者简介: 党宏忠 (1971—), 男, 甘肃定西市人, 博士, 副研究员, 主要从事生态水文与水土保持研究。

报道<sup>[5]</sup>。林冠截留随降雨强度和冠层特性的不同而异,树种间林冠截留损失差异主要来源于不同林冠湿润过程的差异<sup>[6]</sup>,降水特征(雨强、频率)和雨滴大小是影响截留损失的主要气象因子<sup>[6]</sup>,潜在的蒸发散也影响林冠截留量<sup>[7]</sup>。尽管较普遍的认为林冠特征和气象因素是影响林冠截留损失的两大主要因子<sup>[8-9]</sup>,但如何客观地分析与描述林冠截留特征及其规律仍然没有统一的方法。

林冠截留模型是认识林冠截留物理学过程的重要手段。目前,Gash模型<sup>[2]</sup>、Rutter模型<sup>[9]</sup>、坦克模型(Tank model)<sup>[7]</sup>以及多种统计模型被用来分析林冠截留规律与机理。在众多模型中,Horton模型及其改进式按截留机制把林冠截留量分解为吸附截留和树体表面蒸发导致的附加截留,较好地描述了林冠截留机制与过程,克服了统计模型与解析模型在实际应用中模型复杂或参数物理意义不明确、或与现有气象数据结合不紧密等缺点,具有较广泛的应用前景。王彦辉等<sup>[10]</sup>根据标准模型转化的需要,对 Horton模型进行了必要的简化,提出了适合于我国不同林分的次降雨截留模型:

$$I_c = I_{cm} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{P}{I_{cm}}\right) + P \right] \quad (1)$$

式(1)中: $I_c$ 为次降雨截留量; $I_{cm}$ 为以林冠投影面积上的水层厚度表示的林冠吸附降雨容量; $P$ 为次降雨量; $E$ 为降雨蒸发率。

该模型以其结构相对简单,参数物理意义明确而得到我国学者的关注<sup>[10]</sup>。本文运用该模型,对我国东北地区珍贵用材和水源涵养林阔叶树种水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)林冠对降水的截留特征进行了分析研究,为进一步认识林冠截留机理提供了依据。

## 1 试验地概况

试验地位于东北林业大学老山试验站(127°36'~127°39' E, 45°23'~45°26' N)。研究区平均海拔300 m,属大陆性季风气候,冬长夏短;年平均气温2~3℃,最高气温32℃,最低气温可达-31℃,无霜期120~140 d,年降水量600~800 mm,年蒸发量784.4 mm,降雨主要集中在7、8月份,全年10℃的积温为2526℃,地带性土壤为暗棕壤。植被属于长白山植物区系,原始地带性顶极植被为阔叶红松林,在遭受重大破坏后,经几个阶段演替逐渐恢复为天然次生林。试验林分选择阳坡坡下50年生的水曲柳天然林,

林分平均胸径27.74 cm,平均树高20.21 m,林分密度550株·hm<sup>-2</sup>,郁闭度0.75。

## 2 研究方法

2003年5—9月,设置0.1 hm<sup>2</sup>标准地进行林分因子调查,分别在林下设置3个承雨槽(用铁皮制成,宽20 cm,高15 cm,长200 cm)收集穿透雨,水槽距离地面约50 cm。根据固定标准地的每木检尺结果(平均树高为19.55 m,平均胸径25.92 cm),选择3株胸径接近平均木的立木进行树干茎流的测定。将橡皮管剖开后按30°蛇形缠绕1周半,用大图钉固定在树干上,下接雨量桶测量茎流。橡皮管与树皮接触的地方用石蜡密封。分东西、南北量取冠幅,求算树冠平均面积。在距离最近的林缘空旷地上分别在东北、西南2个方向(避开主风向对降水量的影响)放置2台虹吸式自记雨量器,24 h连续记录降水量和强度。

## 3 结果与分析

### 3.1 水曲柳林冠截留量与降水量模型参数

表1为2003年5—9月降雨及水曲柳林冠截留观测值,进一步统计分析结果(表2)表明,在28场次降水中,小雨次数占到一半以上,但降水量只占6.38%,平均每场次降水的林冠截留量为1.04 mm,但平均截留率高达28.41%,分别是中雨、大雨时的1.51、2.07倍,这说明林冠对降水的截留再分配量与降水强度有关,林冠对小雨的截留率最高,其次依次为中雨、大雨。中雨、大雨次数都约占1/4,每场次的降水量分别为18.13、35.55 mm,后者是前者的

表1 2003年5—9月水曲柳林冠截留观测值

场次	林外雨量/mm	截留量/mm	场次	林外雨量/mm	截留量/mm
1	1.10	0.71	15	8.75	1.71
2	1.15	0.75	16	11.60	2.12
3	1.20	0.55	17	14.15	2.62
4	1.50	0.80	18	14.90	3.02
5	1.65	0.76	19	19.60	3.95
6	2.00	0.72	20	20.40	3.98
7	2.60	1.08	21	22.45	4.01
8	2.75	0.96	22	23.80	4.18
9	2.85	0.94	23	27.10	5.41
10	3.40	0.98	24	31.80	4.72
11	5.50	0.62	25	35.25	3.60
12	5.70	1.42	26	35.40	4.49
13	6.80	1.53	27	37.25	5.26
14	7.90	2.05	28	46.50	5.84

表 2 2003 年 5—9 月水曲柳林冠截留量

降雨		场次	降水量 /mm		截留量 /mm		平均截留率 /%
级别	量 /mm		合计	平均	合计	平均	
小雨	10	15	54.85	3.66	15.58	1.04	28.41
中雨	10.1~25	7	126.90	18.13	23.88	3.41	18.82
大雨	25.1~50	6	213.30	35.55	29.32	4.89	13.75
合计		28	395.05		68.78		

近 2 倍,但平均每场次降水的林冠截留量分别为 3.41、4.89 mm,差异并不大,说明随着降水量加大,林冠截留量趋于稳定,截留率缓慢下降,树木林冠截留过程呈非线性特征。

表 3 为以式 (1) 为模型,利用 STATISTICA6.0 统计程序分析的结果。从表 3 中可以看出,模型中参数  $i_m^*$  的估计值为 0.843。一般认为,阔叶树林冠吸附容量小于针叶树,阔叶树生长季林冠吸附容量一般为 0.6~2.6 mm。地理位置与本研究近似的黑龙江省尚志县郁闭度为 0.7 的落叶松,其林冠吸附容量为 1.714<sup>[10]</sup>,高于水曲柳的林冠吸附容量,进一步证实了阔叶树林冠吸附容量小于针叶树。参数表示一定地区的降水蒸发率,主要受干燥程度和风速等气候气象条件的影响。本研究中  $i_m^*$  的估计值为 0.118,与在前述落叶松研究结果 0.115<sup>[10]</sup> 非常接近,进一步表明这一参数在表征区域森林截留蒸发中具有较强的稳定性。从图 1 也可以看出,用式 (1) 对次降水截留进行模拟的结果与观测值比较接近,进一步表明 Horton 改进模型不仅具有意义较明确的物理参数,模型较简单,同时具有较强的精度。观测期间水曲柳林分的平均截留率为 17.41%,模型预估的平均截留率为 15.66%,二者比较接近。国内外研究结果一般认为,温带针叶林的平均林冠截留率为 20%~40%,阔叶林平均截留率一般在 20% 以下<sup>[11]</sup>,本研究结果与这一变化趋势一致。

表 3 水曲柳林分林冠截留模型参数

参数		残差	R	解释方差 /%
$i_m^*$				
0.843	0.118	7.45	0.95	91

### 3.2 水曲柳林冠截留率与降水量的关系

从图 1 中可以看出:林分对降水的截留率与降水量呈负相关。对曲线中各观测点前后 2 点斜率变化分析表明,在降水量小于 10 mm 时,水曲柳林冠截留率都能达到 19% 以上,林冠对降水的再分配作用非常明显。当降水小于 4 mm 时,截留率随降水量的增加下降的幅度较大,林冠对降水截留的效果

最为明显,可以认为 4 mm 降水是水曲柳林冠截留发生明显变化的拐点,此时截留率为 31%,对应的截留量为 1.23 mm,其最主要的组分是林冠吸附降水容量。之后随着降水量增加,截留率缓慢下降。到次降水达到 30 mm 时,曲线斜率小于 0.1,林冠截留率随降水增加而减小的趋势缓慢,此时截留量为 3.83 mm,截留率为 12.8%,比 10 mm 降水时的截留率下降了 5.6%。到本次试验观测的最大次降水量 46.5 mm 时,截留率为 12.55%,相对于 30 mm 降水时的截留率,下降幅度仅为 0.25%,可见对于水曲柳林来说,12.8% 的林冠截留率反映了水曲柳树冠的截留特征,这个值虽然也受降水及地域环境因素的影响,但更多的反映了水曲柳的树冠生物学特征,是树种对水分传输的一个重要阈值,通常称之为稳定截留率。

从图 1 还可以看出:水曲柳林冠截留过程可分为 3 阶段,分别为快变期(截留率大于 19.0%,降水量小于 10 mm)、渐变期(截留率 19.0%~12.8%,降水 10~30 mm)和稳定期(截留率小于 12.8%,降水量大于 30 mm)。在 1 次降水截留过程中,随着降水量的增加,由于蒸发、树体吸收等因素的持续作用,林冠对降水的实际截留量仍在增加,但林分截留率趋于稳定。

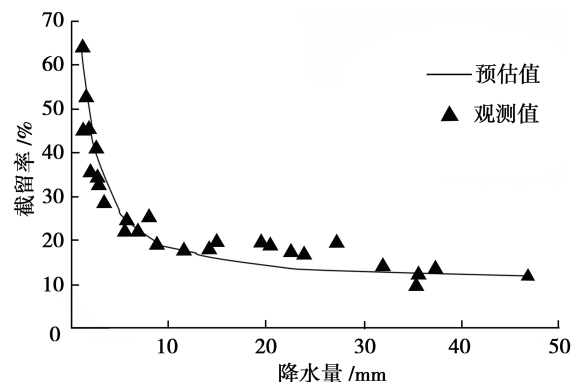


图 1 水曲柳林分林冠截留率与降水量的关系

### 3.3 水曲柳树干茎流与降水的关系

一般认为森林茎流量很小,通常占降水量的

5%以下,很少超过 10%<sup>[4]</sup>。本次树干茎流观测结果(图 2)表明,水曲柳在降水量达到 3.0 mm 时开始有少量的树干茎流出现,随着降水增加而增加。水曲柳树干茎流占同期降水量的比例较大,观测期间平均茎流率为 10.08%,是目前研究报道中较高的树种之一,其中最大的 1 次树干茎流率是在降水量最大值 46.5 mm 时出现,茎流率平均为 16.51%。水曲柳树干茎流明显高于红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)、落叶松(*Larix spp.*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)、青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.)等针叶树种<sup>[12]</sup>,这可能与水曲柳枝干光滑,枝条分枝角度较小(约 43°),增加了枝条表面上水分的下滑力,使得枝干上截留的水分极易下滑或滴落,更不利于枝干对于水分的截持保存有关。

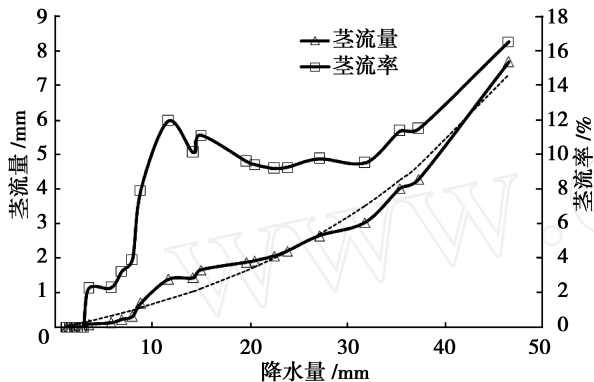


图 2 水曲柳树干茎流随降水量的变化

从图 2 还可以看出,降水量在 3~10 mm 时,水曲柳树干茎流率随降水量的增加快速升高,降水量约在 10~30 mm 时,随着降水量的增加,茎流量虽然在增加,但树干茎流率变化趋势平缓;当降水量超过 30 mm 之后,茎流率又呈快速增加趋势。不难发现,树干茎流率发生较大变化时的降水量与林冠截留率变化时的降水量具有一致性,分析其原因可以认为,在降雨主要为小雨时,林冠在以浸润吸附截留基本达到饱和后,叶片积聚水分的效应较明显,故树干茎流率增加幅度相对也较大;当降雨为中雨时,林冠截留率、树干茎流率都基本保持较稳定状态,这主要是由枝叶分布密度等特征所决定的。在降水为大雨时,树干茎流率增加较快,枝叶可能有瓦片的作用形成“股流”,从而有利于降水向树干汇集,提升了茎流率。

## 4 结论与讨论

本文通过对水曲柳林分降雨的 28 场次观测数

据的统计分析表明,水曲柳林冠截留率较小,观测期间林冠平均截留率为 17.41%,稳定截留率为 12.8%,林冠截留率随降水的变化曲线可基本划分为快变期、渐变期和稳定期 3 个阶段,随着降雨量的逐渐增大而递减,并在达到一定雨量时趋于稳定。Horton 改进模型参数物理意义明确,结构形式简单,适合于对不同地区、不同林分林冠截留特征的比较研究。王彦辉等<sup>[10]</sup>通过该模型对我国杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、马尾松、油松(*tabulaeformis* Carr.)、青海云杉、落叶松、樟子松、毛竹(*Phyllostachys pubescens* Mazei ex H. de Lebaie.)、麻栎林(*Quercus acutissima* Carr.)、常绿阔叶林等不同树种的林分进行了标准模型转化和模型参数的求解,研究表明,林冠吸附容量  $i_m$  虽然也受地域性气候特征的影响,但更直接地受林分特征影响,多变化在 0.99~2.90 之间,本研究中水曲柳林冠吸附容量比较低,只有 0.843,这可能与水曲柳叶片革质、表面光滑有关。

林冠截留达到饱和吸附后,保留的水分主要以蒸发形式向大气扩散,其机理类似于水面蒸发,因而在很大程度上是气候、气象因子的函数,如果忽略降水的不平稳性,冠层蒸发在一定时段内近似于常数。王彦辉等<sup>[10]</sup>的标准模型转换结果表明,地域间参数的变化没有林冠截留量那样明显,主要受干燥程度和风速等影响较大,在亚热带地区、温带半湿润地区及温带半干旱地区的变化范围分别为 0.031~0.047、0.063~0.093、0.17~0.20,但尚没有寒带和寒温带地区的试验结果,本研究中分布于寒温带水曲柳林分的模拟值为 0.118。

水曲柳树干茎流率比较高,平均为 10.08%,这与水曲柳树皮光滑,枝的开张角度较小,枝叶分布与排列有利于树冠承接降水向树干集中,形成树干茎流有关。有报道指出,除了矮冠树木、分枝角度小、树皮表面光滑等因素外,有些树种叶片具有拒水性,也会增加树干茎流<sup>[13, 4]</sup>,水曲柳叶片是否具有这种特征还有待进一步深入观测研究。

## 参考文献:

- [1] 张志强, 余新晓, 赵玉涛, 等. 森林对水文过程影响研究进展 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 113 - 116
- [2] Deguchi A, Hattori S, Park H T. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model [J]. Journal of Hydrology, 2006, 318 (1 - 4): 80 - 102

- [3] Guevaraescobar A, Gonzalezosa E, Velizchavez C, *et al* Rainfall interception and distribution patterns of gross precipitation around an isolated *Ficus benjamina* tree in an urban area[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 333(2-4): 532-541
- [4] 王安志,刘建梅,裴铁番,等. 云杉截留降雨实验与模型[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 38-42
- [5] Toba T, Ohta T. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 313(3-4): 208-220
- [6] Hall R L. Interception loss as a function of rainfall and forest types: stochastic modeling for tropical canopies revisited[J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 280(1-4): 1-12
- [7] Hashino M, Yao H, Yoshida H. Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model[J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 255(1-4): 1-11
- [8] Pypker T G, Bond B J, Link T E, *et al* The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 130(1-2): 113-129
- [9] Valente F, David J S, Gash J H. Modeling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models[J]. *Journal of Hydrology*, 1997, 190(1-2): 141-162
- [10] 王彦辉,于澎涛. 林冠截留降雨模型转化和参数规律的初步研究[J]. *北京林业大学学报*, 1998, 20(6): 25-30
- [11] 刘世荣,温远光,王兵. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社, 1996: 3-710
- [12] 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): 60-64
- [13] 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

## 欢迎订阅 2009年《北京林业大学学报》

### (美国《工程索引》(Ei)收录期刊)

《北京林业大学学报》是教育部主管、国内外公开发行的全国性林学与森林生物学学术期刊。该刊是中国核心期刊、中国自然科学核心期刊、科技部“中国科技论文统计源期刊”和中国科学院“中国科学引文数据库统计源期刊”。2003年《北京林业大学学报》荣获第二届国家期刊奖提名奖,2005年荣获第三届国家期刊奖百种重点期刊,2006年获“中国高校精品科技期刊”奖。

连续收录《北京林业大学学报》的著名检索期刊和数据库有:美国工程索引(Ei)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、英国“国际农业与生物科学研究中心”数据库(CAB I)、英国《动物学记录》(ZR)、中国科技论文引文数据库(CSTPCD)、中国科学引文数据库、《中国学术期刊文摘》、《中国生物学文摘》、中国林业科技文献数据库等。

为保持学科特色,该刊重点报道以林木遗传育种学、森林培育学、森林经理学、森林生态学、树木生理学、森林土壤学、森林植物学、森林保护学、自然保护区学、园林植物与观赏园艺、水土保持与荒漠化防治、森林工程、木材科学与技术、林产化学加工工程、其他学科在林学上的应用等方面的论文。

《北京林业大学学报》为双月刊,大16开本,160页左右,单月月底出版。每期定价50元。各地邮局发行,邮发代号:82-304。国内统一刊号:CN 11-1932/S。如当地邮局订阅不便或错过征订时间,也可直接汇款向本刊编辑部订阅。

地 址:北京市海淀区清华东路35号《北京林业大学学报》编辑部

邮 编:100083 发行电话:010-62338397 联系人:刘大林

发行电子信箱:liudalin@bjfu.edu.cn

网 址: <http://www.bjfujournal.cn/>