

### 3 种针叶林对降雨截留作用的比较

刁艳芳,王亚平\*,范世香,高雁,王刚

(山东农业大学 水利土木工程学院,山东 泰安 271018)

**摘要:**为了揭示贡嘎山峨眉冷杉林、密云水库油松林和大兴安岭落叶松林 3 种针叶林冠对降雨的截留作用,采用截留容量作为衡量指标。截留容量指标不受气象因素及雨前枝叶的干湿程度的影响,只与林冠自身的特征因素有关,所以能够真实反映不同林分类型对降雨的截留作用的差别。根据实测林冠截留资料,利用相同雨量下取最大值的方法近似确定 3 种林分截留容量与降雨量的关系,并以莱因斯利公式为基础,计算了各自的截留容量公式。通过分析 3 种林分林冠的特性以及截留容量与降雨量的关系曲线可以得出:3 种针叶林截留容量与降水量关系大致趋势相同,贡嘎山峨眉冷杉林与密云水库油松林的截留容量随降雨量增加的速度比大兴安岭落叶松快;贡嘎山峨眉冷杉林对降雨的截留作用最强,其次为密云水库油松林,大兴安岭落叶松林最小。

**关键词:**针叶林;降雨;截留作用;截留容量

**中图分类号:**S715      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)05-0074-04

#### Comparison of Rainfall Interception of Three Coniferous Forests

DIAO Yan-fang, WANG Ya-ping\*, FAN Shi-xiang, GAO Yan, WANG Gang

(School of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** The interception capacity was used as an index to reveal rainfall interception function of three coniferous forests including *Abies fabri* forests of Gongga Mountain, *Pinus tabulaeformis* forests of Miyun Reservoir and *Larix gmelinii* forests of Greater Xing'an Mountains. The interception capacity can reflect the differences in the rainfall interception of different forests because it is affected by characteristics of canopies, not meteorological factors and dry-humidity of branches and leaves before rainfall. Based on the observation data of canopy rainfall interception, the relationship between interception capacity and rainfall of three forests were determined by the method of taking maximum interception under the same rainfall. The formula of the interception capacity was calculated based on the Linsley. Several conclusions were obtained by analyzing the characteristics of the three forests canopies and the relationship curves between interception capacity and rainfall: the relationships between the interception capacity and rainfall of the three coniferous forests substantially had the same trend and the interception capacities of *A. fabri* forests and *P. tabulaeformis* forests increased faster with the increase of rainfall than *L. gmelinii* forests; the rainfall interception function of *A. fabri* forests was the strongest, followed by *P. tabulaeformis* forests, *L. gmelinii* forests was the minimum.

**Key words:** coniferous forest; rainfall; rainfall interception; interception capacity

森林不仅具有重要的生态服务功能,也具有重要的水文功能,而林冠对降雨的截留作用是其主要

收稿日期:2015-12-08 修回日期:2016-03-08  
基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20133702120014);国家科技支撑计划(2015BAB07B05);山东省省级水利科研与技术推广项目(SDSLKY201305);国家自然科学基金(41202174)。  
作者简介:刁艳芳,女,博士,副教授,研究方向:生态水文。E-mail:diaoyanfang@sdau.edu.cn  
\*通信作者:王亚平,女,硕士研究生,研究方向:生态水利。E-mail:wangypdw@163.com

功能之一。森林中大气降水的一部分在降水过程中附着于枝叶表面或从树体、枝叶表面蒸发到大气中,即为林冠截留<sup>[1]</sup>,它是森林对输入降水发挥调节作用的起点,可使降雨在数量及空间上进行重新分配,也是土壤-植物-大气连续体 (SPAC) 水分循环的重要环节<sup>[2]</sup>。由林冠截留降雨的现象可知,影响林冠截留的因素虽然很多,但按其性质可分为内因和外因两类。内因是指林冠自身的特征因素,包括树种组成、冠层厚度、郁闭度以及树龄等;外因是指气象特征以及雨前枝叶的干湿程度,其中气象特征主要包括降雨量、降雨强度、降雨历时及风速等。在观测任一具体林分的林冠实际截留量时,观测结果都会受到这些因素的影响,因此,难以在不同林分之间对降雨进行截留作用大小的比较,尤其是林分相距较远时,由于具体降雨事件的差别,用实测林冠截留资料在林分之间进行比较更加困难。

目前,分析林冠对降雨的截留作用的主要衡量指标为“截留率”、“实测截留量”以及“截留容量”<sup>[3-7]</sup>。截留率是截留量与降雨量的比值,林冠的截留率随着降水量的增加呈下降趋势<sup>[8]</sup>,因此截留率与降雨量呈现反比关系,故它无法准确地描述林冠对降雨的截留作用。而实测截留量不仅受到内因的影响,外因对它的影响也不容忽视,所以它也不能准确地反映林冠对降雨的截留作用。而截留容量指的是林冠对某一降雨量的最大截留量<sup>[7]</sup>,它揭示的是林冠(或树冠)对降雨的截留能力<sup>[9-10]</sup>,能够有效地反映不同林分类型对降雨的截留作用的差别。

鉴于以上情况,采用截留容量指标比较林冠对

降雨截留作用的大小是合适的,所以本文采用该指标来对比分析贡嘎山峨眉冷杉林、密云水库油松林和大兴安岭落叶松 3 种针叶林冠对降雨的截留作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 林分概况

采用 3 种针叶林,分别是贡嘎山峨眉冷杉林、密云水库油松林、大兴安岭落叶松林。

1.1.1 峨眉冷杉林<sup>[6]</sup> 试验区位于四川省境内的贡嘎山东坡黄崩溜沟流域,29°20′—30°20′N、101°30′—102°15′E,海拔 3 000 m。气温年变化和日变化都比较缓和,年平均气温 3.9℃,年降水量为 1 937.5 mm,降水充沛。

1.1.2 油松林<sup>[11]</sup> 试验区位于北京市密云县翁溪庄水资源保护林试验站和林业站,地处密云水库西岸水源保护林一、二级保护区内,40°29′50″—40°29′54″N、116°48′39″—116°48′44″E,海拔约 210 m。属于暖温带半湿润季风型大陆性气候,年平均气温 10.8℃,年平均降雨量为 699.1 mm,年际和年内变幅大,86%集中在 6—9 月。

1.1.3 落叶松林<sup>[12]</sup> 试验区位于内蒙古大兴安岭落叶松林生态系统定位研究站,地处大兴安岭西北坡根河上游,50°49′—50°51′N、121°30′—121°31′E,海拔在 810~1 116 m 之间。属于寒温带湿润气候,平均气温-5.4℃,年降水量 450~550 mm,多集中在 7、8 月,占总降雨量的 60%。

3 种针叶林的具体特征见表 1。

表 1 3 种针叶林的特征指标

Table 1 Characteristic indexes of the three coniferous forests

林分	林龄/a	郁闭度/%	树高/m	胸径/cm	树种组成	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
峨眉冷杉林	>150	0.7	31.86	50.78	峨眉冷杉	209
油松林	39	0.85	7.08	15.15	油松	850
落叶松林	160~180	0.8	8.7~22.7	6.6~33.9	杜香落叶松,杜鹃落叶松,白桦	—

### 1.2 观测方法

在 3 个试验区的林缘外附近空旷地,设置标准雨量筒观测记录林外降雨量。在试验区林内,随机布设 8~12 个标准雨量筒测量林内雨量,然后取平均值作为林内降雨量即穿透雨量。另外,按每木检尺的结果,再按径级设置样株,配长度 3.5 倍树干圆周、3 cm 口径的聚乙烯管,将总长的 3/4 刨开后铲去管周的 1/4 做导水槽,其余留作导水圆管,出水口连接电脑降雨量记录仪测定树干茎流雨量(贡嘎山峨眉冷杉林受树干上丛生的附属物的影响,树干径流量不及 1%,基本上可以忽略)。林冠实际截留量采用水量平衡法计算,即将林外降雨量减去穿透雨

量与树干径流量之和作为林冠实际截留量。

观测时按降雨场次进行,降雨停歇间隔超过 3 h 的,则分别观测,不足 3 h 的按同一场降雨观测。3 种林分共观测了 1 a,取得 25~32 次降水截留资料。

## 2 截留容量对比分析

### 2.1 林冠截留容量的确定

将每场降雨的实际截留量与降雨量直接点绘关系,如图 1~图 3 所示。由图 1~图 3 可以看出,实际截留量与降雨量的关系点据比较散乱,表明降雨量与实际截留量之间并非单一关系,即同一降雨量对应多个截留量。正如前述,这正是因为环境条件

和初始条件的不同而引起的。

如果按照点据的分布趋势,描绘出这些点据的上包线,则得到 1 条光滑的曲线(图 1~图 3)。可以认为,这条光滑曲线基本上消除了受其他因素干扰的林冠截留容量与降雨量的关系,近似反映了林冠截留容量。显然,用这条光滑曲线近似代表截留容量与降雨量的关系,其精度与观测资料的多少有关,观测次数越多,捕获到的理想条件下的截留容量信息越丰富,结果就越可靠,精度也就越高。

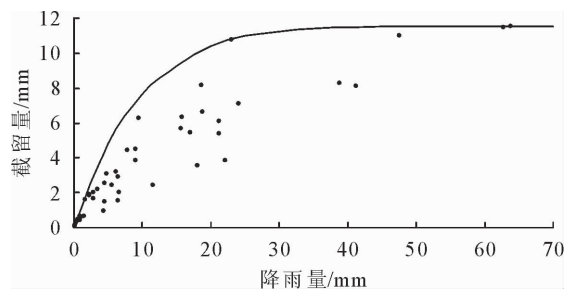


图 1 贡嘎山峨眉冷杉林冠截留容量与降雨量的关系  
Fig. 1 Relationship between rainfall and canopy interception in *A. fabri* forests of Gongga Mountain

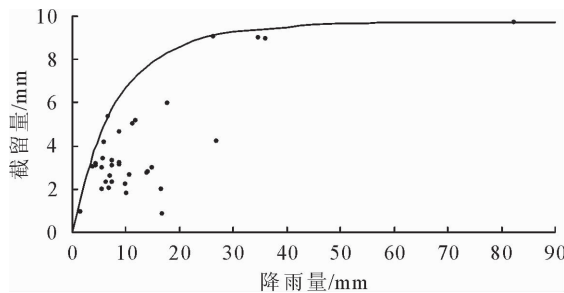


图 2 密云水库油松林冠截留容量与降雨量的关系  
Fig. 2 Relationship between rainfall and canopy interception in *P. tabulaeformis* forests of Miyun Reservoir

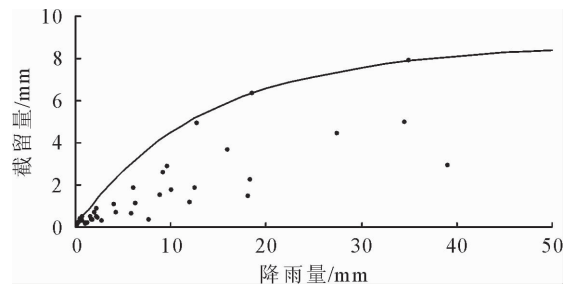


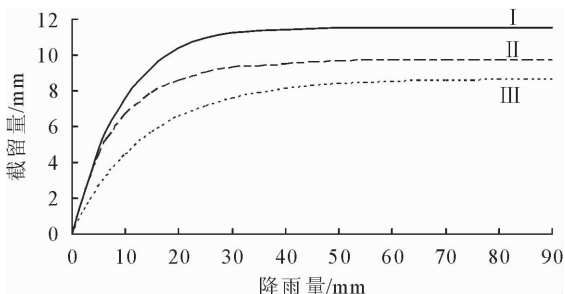
图 3 大兴安岭落叶松林冠截留容量与降雨量的关系  
Fig. 3 Relationship between rainfall and canopy interception in *L. gmelinii* forests of Greater Xing'an Mountains

2.2 3 种林分对降雨截留作用的比较

前已述及,截留容量仅与林冠自身特征有关,而与气象环境条件和初始条件无关,所以在不同林分之间进行对比分析时,利用林冠截留容量这一指标,就能很客观地反映出林冠截留作用的大小。

对比图 4 中 3 条曲线可以看出,3 种针叶林截留容量的相同之处,就是截留容量与降雨量关系大致趋

势相同,即随着降雨量的增加,截留容量也增加;当降雨量增加到一定数值后,截留容量的增加趋于缓慢,直至保持基本稳定,此时的截留容量达到最大,称为饱和截留容量。其显著不同之处主要是贡嘎山峨眉冷杉林与密云水库油松林截留容量曲线弯曲度相同,大于大兴安岭落叶松林,表明贡嘎山峨眉冷杉林与密云水库油松林的截留容量随降雨量增加的速度比大兴安岭落叶松林快;贡嘎山峨眉冷杉林的饱和截留容量(11.55 mm)最大,其次是密云水库油松林(9.71 mm),大兴安岭落叶松林的最小(8.64 mm)。



注: I. 贡嘎山峨眉冷杉林; II. 密云水库油松林; III. 大兴安岭落叶松林。

图 4 3 种不同林分林冠对降雨截留作用的比较  
Fig. 4 Comparison of ability of rainfall interception in three different stands

2.3 截留容量公式

如果用数学公式表达截留容量与降雨量的关系,那么不同林分的截留容量就可以由公式中的参数体现出来。由于林冠截留容量是反映林冠特征的,它与气象环境因素和初始条件无关,可利用莱因斯利公式<sup>[13]</sup>进行拟合,即:

$$I_m = I_0 [1 - \exp(-kp)] \quad (1)$$

式中,  $I_m$  为林冠截留容量;  $p$  为降雨量;  $I_0$  与  $k$  为参数,其中  $k$  反映的是林冠空间分布的均匀程度,随均匀程度的增加而增大;  $I_0$  反映的是林冠饱和截留量。

从图 4 中的 3 条曲线上,分别取若干组数据进行回归分析,得到 3 种不同林分的截留容量与降雨量的经验关系如下:

贡嘎山峨眉冷杉林:

$$I_m = 11.55 [1 - \exp(-0.12p)] \quad (R^2 = 0.999) \quad (2)$$

密云水库油松林:

$$I_m = 9.71 [1 - \exp(-0.12p)] \quad (R^2 = 0.999) \quad (3)$$

大兴安岭落叶松林:

$$I_m = 8.64 [1 - \exp(-0.07p)] \quad (R^2 = 0.999) \quad (4)$$

式中,  $R^2$  为拟合度。

对比式(2)~式(4)可知,对于参数  $k$ ,贡嘎山峨眉冷杉林与密云水库油松林相同,大于大兴安岭落

叶松林;对于参数  $I_0$ , 贡嘎山峨眉冷杉林最大, 其次为密云水库油松林, 大兴安岭落叶松林最小。由于贡嘎山峨眉冷杉林与密云水库油松林冠层分布比较均匀, 因此  $k$  值比较大, 表明贡嘎山峨眉冷杉林与密云水库油松林达到饱和截留容量的速度比大兴安岭落叶松林的快。而森林枝叶量较多, 则饱和截留量就越大, 参数  $I_0$  也越大, 即贡嘎山峨眉冷杉林饱和截留量  $11.55 \text{ mm} >$  密云水库油松林饱和截留量  $9.71 \text{ mm} >$  大兴安岭落叶松林饱和截留容量  $8.64 \text{ mm}$ 。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 讨论

分析得出, 3种林分的截留容量有2点差异, 其不同是由3种林分自身的林冠特征引起的。以下分别分析3种林分的林冠特征。

贡嘎山峨眉冷杉林虽然由于种植密度较小而导致郁闭度较小, 但是树冠层厚度和胸径远大于密云水库油松林和大兴安岭落叶松, 从而导致单棵树叶片质量较林密云水库油松林和大兴安岭落叶松林大很多, 加之峨眉冷杉树皮粗糙松软易吸水且树干高大, 加大了树干截留量, 因此致使贡嘎山峨眉冷杉林截留量很大。由于峨眉冷杉过熟林为峨眉冷杉纯林, 其冠层枝叶的空间分布比较均匀, 虽然其树干较高, 但其树冠为圆锥形, 且其种植密度较小, 则其平均冠层厚度不大。当发生降雨时, 直接穿透的雨量比较少, 受枝叶拦截的雨量比重较大, 所以随着雨量的增加, 林冠截留容量增加较快, 而且容易达到饱和截留容量。

密云水库油松林郁闭度比其他2种林分高很多, 但其树较低, 胸径较小, 所以其枝叶量处于中间状态, 导致其林冠截留量大于大兴安岭落叶松林, 小于贡嘎山峨眉冷杉林。油松的生长环境一般较恶劣, 不适于其他树木生长, 因此为油松纯林<sup>[14]</sup>。其特点为层次结构简单, 冠层枝叶分布也比较均匀, 加之其树较低, 冠层厚度小, 同峨眉冷杉类似, 随着雨量的增加, 其林冠截留容量也增加较快, 达到饱和截留容量的速度也较快。

大兴安岭落叶松林树种组成较复杂, 由杜香落叶松、杜鹃落叶松以及白桦组成。因此, 其空间结构复杂, 冠层枝叶分布不均匀, 导致其截留容量随降雨量增加速度较缓。大兴安岭落叶松林郁闭度不高, 树高胸径数值也都不大, 并且白桦为阔叶林(阔叶林树木叶片较针叶林针叶更加光滑, 叶片间的容水空隙较少, 分布较为分散, 使得其截留降水的能力较小)<sup>[15]</sup>, 所以大兴安岭落叶松林的饱和截留容量比较小。

油松林属于人工林, 基本接近成熟但尚未进入

老龄期, 峨眉冷杉林和落叶松林为老龄林, 而且落叶松林伴有少量阔叶树。上述情况在一定程度上影响到3种林分对降雨截留作用的比较, 但并不影响本文所采用的指标和方法的适用性。

#### 3.2 结论

按相同雨量下取最大值的方法, 用实测降雨截留相关点据的上包线来近似代表林冠截留容量与降雨量的关系, 符合降雨截留的一般规律, 并且可以反映出不同林分类型对降雨截留作用的差别。采用林冠截留容量这一指标, 因为在很大程度上消除了降雨环境因素和初始条件的影响, 凸显了林冠特征的作用。所以, 在不同林分类型之间分析截留作用的大小时, 更具有可比性, 并且这种可比性不受地域条件和具体降雨事件的制约。

大兴安岭落叶松林为混交林, 但落叶松与白桦的比例为  $8:2$ , 以落叶松为主, 基本上可以代表落叶松纯林对降雨的林冠截留作用。通过对3种不同林分类型截留容量的比较可知, 贡嘎山峨眉冷杉林对降雨的截留作用最强, 其次为密云水库油松林, 大兴安岭落叶松林最小。林冠枝叶空间分布越均匀, 达到林冠饱和截留容量之前, 截留容量随降雨量的增加而增加的越快。饱和截留容量与林冠枝叶量有关, 林冠枝叶量越大, 饱和截留量就越大。

用莱因斯利公式拟合截留容量与降雨量的关系效果较好。参数  $k$  反映了关系曲线的弯曲度, 这是由林冠层枝叶的空间分布均匀程度决定的, 而参数  $I_0$  反映的是林冠饱和截留容量, 取决于林冠枝叶量的多少。

式(1)反映了林冠截留容量与降雨量的一般关系, 其参数的不同取值则体现了不同林分类型对降雨截留作用的差别, 而林分类型与林冠特征有密切联系, 如郁闭度大小、枝叶量等。

#### 参考文献:

- [1] 唐臻. 锐齿栎林林冠截留与大气降水关系[J]. 西北林学院学报, 1992, 7(4): 8-14.  
TANG Z. Relationship between forest canopy interception and rainfall of sharptooth oak forest[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1992, 7(4): 8-14. (in Chinese)
- [2] 刘春延, 李良, 赵秀海, 等. 塞罕坝地区华北落叶松人工林对降雨的截留分配效应[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(3): 1-5.  
LIU C Y, LI L, ZHAO X H, et al. Redistribution effects of tree canopy of *Larix principis-rupprechtii* plantation on precipitation in the upper stream of Saihanba area[J]. Journal of Northwest Forestry Univsity, 2011, 26(3): 1-5. (in Chinese)
- [3] 中野秀章. 森林水文学[M]. 李云森, 译. 北京: 中国林业出版社, 1983: 58-78.

生理生化特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 16-19.

WANG X L, CAO Z L, ZHU X, *et al.* Effects of PEG on the seed germination and physiological and biochemical characteristics of *Pinus yunnanensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(6): 16-19. (in Chinese)

[15] 徐莲珍. 三个树种抗旱生理生态特性的研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2008.

[16] 陈之欢. 水分胁迫对两种旱生花卉生理生化的影响[J]. 中国农学通报, 2002, 18(2): 20-23.

CHEN Z H. Effects of water stress on physiology and biochemistry of two terrestrial[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(2): 20-23. (in Chinese)

[17] 韦小丽, 徐锡增, 朱守谦. 水分胁迫下榆科植物 3 种幼苗生理生化指标的变化[J]. 南京林业大学学报, 2005, 29(2): 47-50.

WEI X L, XU X Z, ZHU S Q. Variation of physiological and biochemical indexes in seedlings of three ulmaceae species under water stress[J]. College of Forest Resources and Environment Nanjing Forestry University, 2005, 29(2): 47-50. (in Chinese)

[18] 张明生, 彭忠华, 谢波. 甘薯离体叶片失水速率及渗透调节物质与品种抗旱性的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 152-156.

ZHANG M S, PENG Z H, XIE B. Relationship between water loss rate of cutting leaves and osmotic regulators under water stress and drought resistance in sweet potato[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(1): 152-156.

[19] 刘毅维, 韦小丽, 姚华忆, 等. 不同田间持水量对光皮树苗速生期生长及生理生化的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(2): 124-127.

LIU Y W, WEI X L, YAO H Y, *et al.* Influence of different field water-holding capacity on growth and physiological biochemical indexes of *Comus wilsoniana* seedlings at rapid growth stage[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(2): 124-127.

(上接第 77 页)

[4] 周晓峰. 中国森林与生态环境[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 87-90.

[5] 余新晓. 森林生态水文[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 24-33.

[6] 程根伟, 余新晓, 赵玉涛, 等. 山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 55-93.

[7] 高雁, 宋丹丹, 范世香, 等. 林冠截留容量及其确定方法[J]. 农业开发与装备, 2014(6): 140-141.

[8] 袁一超, 王得祥, 刘小林, 等. 小陇山林区日本落叶松人工林林冠截留特征[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(6): 20-24.

YUAN Y C, WANG D X, LIU X L, *et al.* Characteristics of canopy interception of *Larix kaempferi* in Xiaolongshan forest [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(6): 20-24. (in Chinese)

[9] 高雁, 宋丹丹, 程银才, 等. 雪松对降雨截留容量的试验研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2013, 37(1): 160-162.

GAO Y, SONG D D, CHENG Y C, *et al.* Experimental study of interception rainfall capacity for the deodar cedar canopy[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Nat. Sci. Edi., 2013, 37(1): 160-162. (in Chinese)

[10] 范世香, 高雁, 程银才, 等. 林冠对降雨截留能力的研究[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 200-204.

FAN S X, GAO Y, CHENG Y C, *et al.* Rainfall-intecepting capability of forest canopy[J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(2): 200-204.

[11] 鲁绍伟, 杨新兵, 陈丽华, 等. 华北土石山区典型人工林耗水规律研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 19-103.

[12] 周梅. 大兴安岭森林生态系统水文规律研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1985: 28-36.

[13] 王正非, 朱廷曜, 崔启武. 森林气象学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 185-195.

[14] 徐化成. 油松[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 90-91.

[15] 张洪江, 杜土才, 程云, 等. 重庆四面山森林植物群落及其土壤保持与水文生态功能[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 240-241.