

# 天童亚热带常绿阔叶林降雨再分配的数量特征

彭舜磊<sup>1,2</sup>, 由文辉<sup>1,2</sup>

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062;

2. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江宁波 315114)

**摘要:** 为了揭示我国东部沿海常绿阔叶林降雨再分配的生态学机制, 2007年6月—2008年6月间在浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站进行了定位研究。结果表明: 研究期间, 林外总降雨量1348.8 mm, 林内穿透雨量、树干茎流量和林冠截留量分别占总降雨量的81.7%、2.3%和16.0%; 穿透雨量和树干径流量与降雨量均呈极显著的线性关系( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ), 穿透雨率和树干茎流率与降雨量的关系可用非线性曲线表示, 当林外降雨量大于2 mm时, 林内才开始出现穿透雨和树干径流, 当降雨量小于20 mm时, 树干径流率随林外降雨量的增加急剧增大, 当降雨量大于20 mm时, 树干径流率的增加趋势逐渐变缓, 趋于稳定; 穿透雨量与冠层叶面积指数、树冠开放度以及降雨因子具有极显著相关关系( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ), 树干径流量随树干胸径的增大而增加; 林冠截留率与降雨量、降雨持续时间、降雨强度、降雨时间、空气相对湿度均呈极显著负相关( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ), 而与风速呈极显著正相关( $P < 0.01$ ,  $n=122$ )。

**关键词:** 天童; 常绿阔叶林; 穿透雨; 树干径流; 林冠截留

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1673-7180(2010)05-0387-6

## Rainfall redistribution in subtropical evergreen broad leaved forest in Tiantong

Peng Shunlei<sup>1,2</sup>, You Wenhui<sup>1,2</sup>

(1. Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Tiantong National Station of Forest Ecosystem, Chinese National Ecosystem Observation and Research Network, Ningbo Zhejiang 315114, China)

**Abstract:** In order to reveal the ecological mechanism of rainfall redistribution in evergreen broad leaved forest in Chinese eastern coastal areas, permanent plot study was carried out from the meteorological data from July 2007 to July 2008 in Forest Ecosystem Observation and Research station in Tiantong, Zhejiang province. Results showed that the total rainfall outside the forest was 1348.8 mm, and the throughfall, stemflow, and canopy interception accounted for 81.7%, 2.3% and 16.0% of the total rainfall respectively. The throughfall and stemflow had significant linear relationships with rainfall ( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ), and the relationship between throughfall ratio (or stemflow ratio) and rainfall could be described by a nonlinear curve. Throughfall and stemflow happened while the rainfall outside the forest was more than 2.0 mm. There existed a significant exponential relationship between throughfall and LAI (or canopy openness) ( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ). The canopy interception rate showed significantly negative correlation with the rainfall, rainfall duration, rainfall intensity, and relative humidity during rainfall ( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ), but positive correlation with wind velocity ( $P < 0.01$ ,  $n=122$ ).

收稿日期: 2010-03-22

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090076110021); 华东师范大学2010年优秀博士生培养基金资助项目(2010034)

作者简介: 彭舜磊(1974-), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 生态水文学和植被生态学

通信联系人: 由文辉, 教授, 主要研究方向: 生态水文学和水域生态学, youwh@yjsy.ecnu.edu.cn

**Key words:** Tiantong ; evergreen broad-leaved forest ; throughfall ; stemflow ; interception

森林与水的关系一直是森林水文学研究的核心问题<sup>[1]</sup>。大气降水输入森林生态系统,首先要通过林冠界面,由于林冠对降雨的截留作用而使降雨再分配为冠层截留、穿透降雨和树干径流。这一过程使林冠截留了部分降雨,改变了降雨特性和空间分布格局,减少了进入林地的雨量,降低了降雨的动能和势能,直接影响森林生态系统的水文循环、水量平衡和生物地球化学循环<sup>[2]</sup>,具有重要的生态水文意义<sup>[3]</sup>。国内外,针对森林冠层降雨再分配做了大量研究<sup>[4-11]</sup>,国内常绿阔叶林降雨再分配研究主要集中在广东、广西、江西、云南和湖南等地区<sup>[12-16]</sup>,针对东部沿海常绿阔叶林的研究较少<sup>[17]</sup>。

常绿阔叶林是我国东部沿海的地带性植被,其生态服务功能在我国东部沿海占有重要的地位<sup>[18]</sup>。在当前全球气候变化和台风暴雨极端自然灾害日益频发的形势下,开展此项研究,可以阐明我国东部沿海常绿阔叶林植被结构对降雨再分配的影响规律,揭示东部沿海常绿阔叶林冠层界面降雨再分配的水文过程和生态学机制,以期对台风暴雨极端气候条件下东部沿海常绿阔叶林水文过程的长期定位研究奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站(N29°48', E121°47')内,面积约349 hm<sup>2</sup>,属浙闽山地低山丘陵区,最高峰太白山海拔650 m,一般山峰海拔300 m左右。土壤类型主要为山地黄红壤,成土母质主要是中生代的沉积岩和部分酸性火成岩以及石英砂岩和花岗岩的残积风化物。土层一般在1 m左右,土壤质地以中壤至重壤为主,全氮和有机质含量较高,土壤pH值为4.5~5.0。气候为温暖湿润的亚热带季风气候,1950~2000年观测平均结果表明,研究区平均温度16.2℃,年平均降水量1374.7 mm,但年内分布不均,以8~9月(台风期)最多,分别达219.6和233.3 mm,其次为5~7月,各为153.4、201.3和133.5 mm,最少月为1月,仅为61.2 mm,全年累计降雨期平均为154 d,年蒸发量为1320.1 mm,年相

对湿度高达85%。植被类型是我国东部亚热带地区保存最为完好的典型地带性植被常绿阔叶林,群落优势树种以栲树(*Castanopsis fargesii*)、木荷(*Schima superba*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)、云山青冈(*Cyclobalanopsis nubium*)和石栎(*Lithocarpus glaber*)等为主<sup>[18]</sup>。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样地设置

选择常绿阔叶林地带性植被栲树群落为研究对象,在该群落内设置面积为20 m×20 m的1个样地,样地内林分结构可分为乔木层、灌木层、草本层和层间植物,总盖度约90%。乔木层,主要以栲树为主,另有少量的木荷和枫香(*Liquidambar formosana*),层高度为15~25 m,盖度90%;灌木层层高度为1.5~3 m,盖度95%,主要以连蕊茶(*Camellia fraterna*)、细齿柃(*Eurya coquiiana*)和羊舌树(*Symplocos glauca*)组成,另有一些栲树幼树;第三层为草本植物层,以里白(*Oiploptery glaucum*)为主,盖度95%。样地内胸径大于5 cm的栲树共31株,平均树高20 m,平均胸径26.1 m;胸径大于5 cm的木荷共11株,平均树高16.8 m,平均胸径14.6 m。样地基本情况如表1所示,样地内乔木胸径的分布如图1所示。

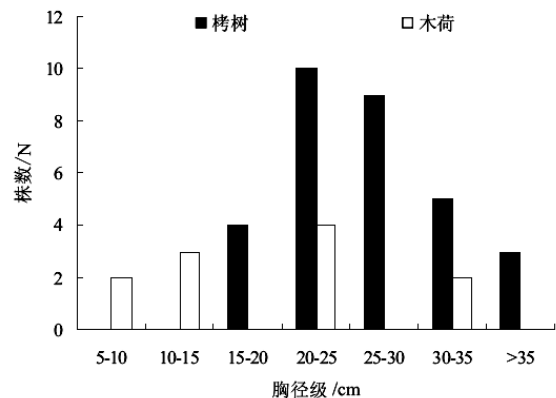


图1 样地内树种的胸径分布

Fig. 1 Diameter class distribution of trees in the plot

表1 样地基本情况

Table 1 Basic information of the typical communities in Tiantong National Forest Ecosystem Station

群落类型	年限/a	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	群落高度/m	总盖度/%	优势种
栲树	155	196	26	SE30	25	90	栲树 木荷

大量亚热带常绿阔叶林降雨再分配的数量特征

### 1.2.2 林外降雨、气象因子和叶面积指数观测

栲树样地的林外降雨和气象因子由安装在林冠以上(30 m)观测铁塔上的 Delt T(ΔT)自动气象站(Delt, UK)测定,测定参数包括降雨量、气温、相对湿度、太阳辐射、风速和气压等,采样间隔为 10 min;叶面积指数采用植物冠层分析仪 Li-2000 测定(Licon, USA)。

### 1.2.3 穿透雨测定

每个样地内沿坡向分两列放置穿透雨承接器(30 cm×40 cm),每列 4 个,每隔 5 m 一个,用 PVC 管与放置在样地边缘的自动翻斗式雨量计相连,该雨量计与 CR2-D 型多孔通道数据采集系统(KONA System, Japan)连接,每翻倒一次 1 mm,采样间隔为 10 min。

### 1.2.4 树干径流测定

采用薄管收集法,在胸径大于 20 cm 的样树胸径处安装 ST-H 型(缠绕式)树干径流采流器,栲树 27 株,木荷 6 株;在胸径小于 20 cm 的样树胸径处安装 ST-Y 型(漏斗式)径流采流器,栲树 4 株,木荷 5 株。将承接的树干径流水通过 PVC 管道导入自动翻斗式雨量计,雨量计与 CR2-D 型多孔通道数据采集系统连接(KONA System, Japan)连接,每翻倒一次 1 mm,采样间隔为 10 min。雨后测量树干径流体积(cm<sup>3</sup>),换算成雨量深(mm),并收集树干流量样品。树干流计算公式:

$$SF = \sum_{i=1}^n \frac{C_n \times M_n}{S \times 10^3}$$

式中:  $F_S$  为树干径流(mm);  $n$  为树干径阶数;  $C_n$  为第  $n$  径阶树干径流(cm<sup>3</sup>);  $M_n$  为第  $n$  径阶的株数;  $S$  为样地面积(m<sup>2</sup>)。

### 1.2.5 林冠截留量测定

利用水量平衡法确定,计算公式为

$$I = P - (F_T + F_S)$$

式中:  $I$  为林冠截留量(mm);  $P$  为林外降雨量(mm);  $F_T$  为穿透雨量(mm);  $F_S$  为树干流量(mm)。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS12.0 统计软件对数据就行相关分析和回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 林外降雨特征

2007 年 6 月 25 日到 2008 年 6 月 25 日,共观测到 122 场降雨,总降雨量为 1 348.8 mm,最大降雨量为

306 mm,最小降雨量为 0.2 mm。从雨量级的统计结果看(图 2),大雨量级的雨量多,但频率低,小雨量级的降雨,雨量虽小,但频率高。0~10 mm 雨量级的降雨频率最高,为 54%,而雨量最小,仅占总降雨量的 8.4%; > 110 mm 的降雨(暴雨)频率仅为 1.2%,但是雨量最高,为 364.5 mm,占总降雨量的 27%; 10~30 mm 的降雨(中雨)频率和雨量均较高,降雨频率为 29.8%,雨量为 215.5 mm,占总降雨量的 16%。

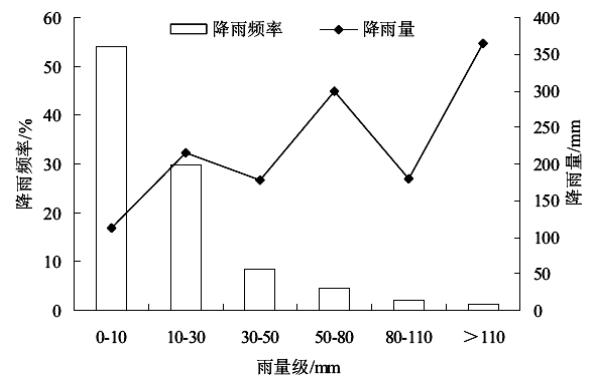


图 2 林外降雨的频度和降雨量

Fig. 2 Cumulative frequency and amount of each rainfall class outside of forest

### 2.2 穿透雨与降雨量的关系

研究期间,到达林内的穿透雨总量为 1 102.2 mm,占总降雨量的 81.7%,由图 3 可知,林内穿透雨量随降雨量的增加而增加,两者呈极显著的线性关系( $P < 0.01$ ),当林外降雨量高于 2 mm 时,林内才开始出现穿透雨。林内穿透雨率的变化范围较大,当降雨量小于 20 mm 时,穿透雨率随林外降雨量的增加急剧增大,当降雨量大于 20 mm 时,穿透雨率随林外降雨量的增加变幅不大。影响穿透雨量的因子主要有林分类型、林冠的开放度、冠层叶面积指数以及降雨因子。如表 2 所示,在天童常绿阔叶林区,穿透雨量与冠层开放度、叶面积指数降雨量、降雨历时、雨强和风速的相关性都极为显著( $P < 0.01$ ),其中降雨量对穿透雨量的影响最大,相关系数为 0.972,其次是叶面积指数,相关系数为 0.904。

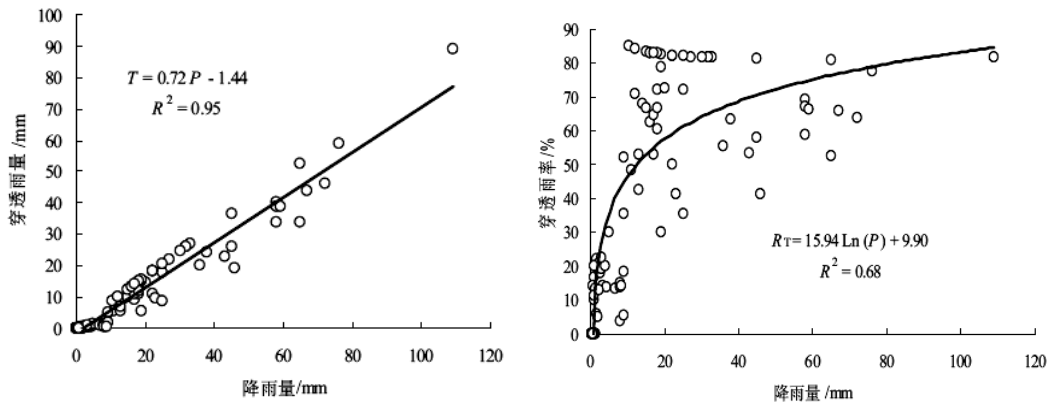


图3 林内穿透雨、穿透雨率与降雨量的关系

Fig. 3 Relationship among throughfall, throughfall ratio and rainfall

表2 穿透雨量与冠层因子和降雨特征相关分析

Table 2 Correlation analysis of throughfall related with canopy factors and rainfall traits

项目	开放度/%	叶面积指数	降雨量/mm	降雨历时/h	雨强 $I/(mm \cdot h^{-1})$	风速 $v/(m \cdot s^{-1})$
穿透雨量/mm	0.861**	0.904**	0.972**	0.785**	0.536**	0.427**
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003

\*\*  $P < 0.01$   $n=122$

2.3 树干径流与降雨量的关系

研究期间, 树干径流总量为 31.6 mm, 占总降雨量的 2.3%。由图 4 可知, 树干径流与降雨量呈极显著线性正相关( $P < 0.01$ ), 由两者的线性回归方程可知, 当林外降雨量大于 2 mm 时, 才开始产生树干径流。林内穿透雨率的变化范围较大, 当降雨量小于 20 mm 时, 树

干径流率随林外降雨量的增加急剧增大, 当降雨量大于 20 mm 时, 树干径流率的增加趋势逐渐变缓, 趋于稳定。由图 5 可知, 树干的径阶对树干径流量影响比较大, 树干径流量随着树干胸径增大而增大, 25~35cm 径阶的树干径流量是 15~25 cm 径阶的 1.75 倍, 是 5~15cm 径阶的 2.2 倍。

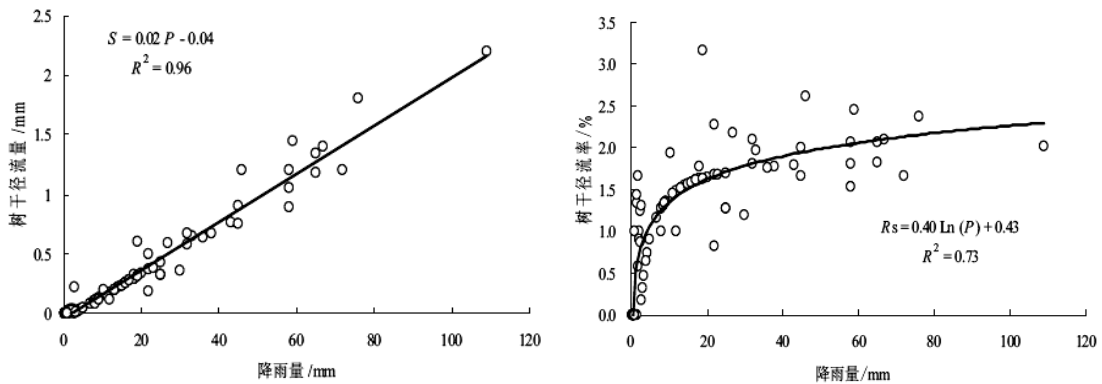


图4 树干径流、树干径流率与降雨量的关系

Fig. 4 Relationship among stemflow, stemflow ratio and rainfall  
天童亚热带常绿阔叶林降雨再分配的数量特征

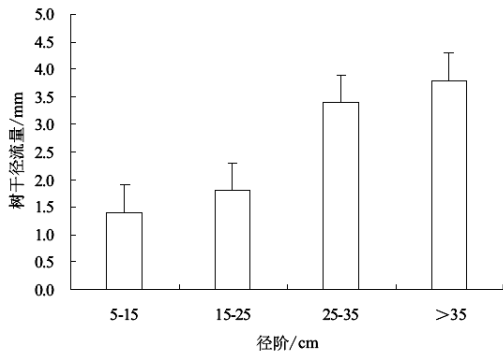


图5 树干径阶与树干径流的关系

Fig. 5 Relationship between DBH class and stemflow

#### 2.4 林冠截留与降雨量的关系

研究期间, 天童常绿阔叶林的林冠截留总量为 215.8 mm, 占总降雨量的 16%。由图 6 可以看出, 林冠截留量随降雨量的增大而增大; 整个测定期间, 林冠截留率的变化范围为 0%~100%, 变幅较大, 林冠截留率随林外降雨量的增大而减小。降雨特征和气象因子均影响林冠截留, 由表 3 可知, 林冠截留量与降雨量、降雨历时、雨强、相对湿度和风速均存在极显著的相关关系 ( $P < 0.01$ ), 林冠截留与两场降雨间隔和气温相关性不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 林冠截留量与降雨特征和气象层因子相关分析

Table 3 Correlation analysis of throughfall related with canopy factors and rainfall traits

项目	降雨量/mm	降雨历时/h	雨强 $I/(mm \cdot h^{-1})$	两场雨间隔/h	气温/ $^{\circ}C$	相对湿度/%	风速 $v/(m \cdot s^{-1})$
$F_T$	-0.564**	-0.411**	-0.627**	0.006	0.138	-0.525**	0.473**
$P$	0.001	0.003	0.001	0.384	0.189	0.001	0.003

\*\*  $P < 0.01$   $n=122$

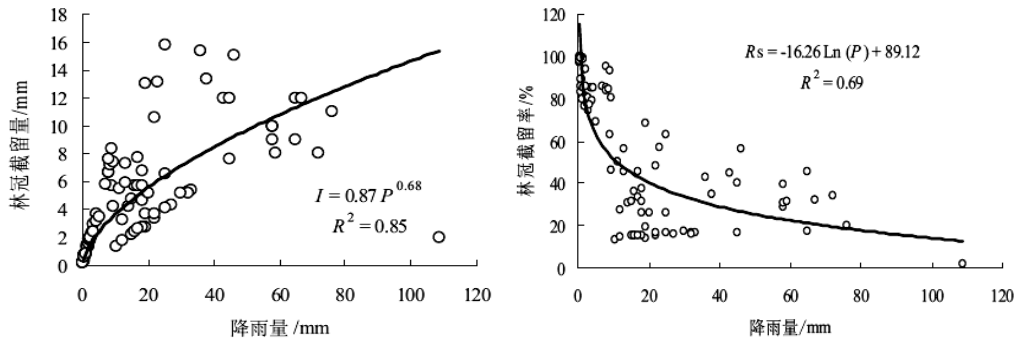


图 6 林冠截留量和截留率与降雨量的关系

Fig. 6 Relationship between interception, interception ratio and rainfall

### 3 结论与讨论

研究期间, 天童常绿阔叶林的林冠截留、穿透雨和树干径流量分别为 1 102.2、215.8 和 31.6 mm, 分别占总降雨的 81.7%、16%和 2.3%。树冠截留率低于肖金喜在天童常绿阔叶林的研究结果(22.5%)<sup>[17]</sup>, 这与本研究

期间暴雨次数较多有关。与不同森林类型相比, 天童常绿阔叶林的林冠截留率高于我国热带山地雨林的 14%<sup>[19-20]</sup>和亚马逊雨林的 11.6%<sup>[21]</sup>, 低于温带针叶林的截留率 20%~40%<sup>[22]</sup>。与印度尼西亚热带雨林的 16.4%<sup>[6]</sup>相当。与我国其他地区常绿阔叶林林冠截留率相比, 高于广西龙胜、岑溪、里骆和云南哀牢山等地的常绿阔叶

林<sup>[16]</sup>, 低于广州鼎湖山常绿阔叶林的 24.7%、云南西双版纳的 41.4%<sup>[12, 15]</sup>, 与江西大岗山常绿阔叶林的 17.8% 及台湾常绿阔叶林的 10%~20% 基本相当<sup>[14, 23]</sup>。目前大多数研究认为, 林冠截留率一般介于 10%~35%, 在一些地区有时 would 超过 50%<sup>[24]</sup>。各地林冠截留率差异的原因主要与森林类型、冠层特征以及研究期内的降雨特征和气象因素差异有关<sup>[25]</sup>。但是对于某一指定林分来讲, 林冠截留量主要决定于降雨量<sup>[23]</sup>。

研究认为, 树干径流率一般介于 0.1%~6.68%<sup>[15]</sup>。天童常绿阔叶林树干径流率为 2.3%, 与其他地区常绿阔叶林相比, 大于广州鼎湖山的 1.8% 和江西九连山的 0.8%, 与广西龙胜的 2.2% 和广西里骆的 2.4%<sup>[16]</sup> 相近。这主要因为天童常绿阔叶林的树干相对光滑, 基面积较大, 树枝倾角相对较小, 易产生树干径流。树干径流变化主要取决于降雨特征和林分特征<sup>[25]</sup>, 其中林分结构(树冠特征、叶形状、树枝角度、胸径以及树皮特征等)是影响树干径流的重要因子<sup>[3]</sup>, 天童常绿阔叶林树干径流与降雨量和胸径级呈显著的线性相关, 并且随着降雨量和胸径的增加而增加, 这与何长青等人的研究结果一致<sup>[10]</sup>。

研究期间, 天童常绿阔叶林的穿透雨率为 81.7%, 与其他地区常绿阔叶林穿透雨率相比, 低于广西岑溪、龙胜、里骆和江西九连山常绿阔叶林的穿透雨率<sup>[16]</sup>, 高于广州鼎湖山和云南西双版纳常绿阔叶林<sup>[12, 15]</sup>。主要因为天童常绿阔叶林为革质树叶, 外被蜡质, 表面光滑, 不容易吸附雨滴, 林冠贮水饱和后, 有大量雨滴从树冠滴落, 造成穿透雨量较大。

林冠的开放度、叶面积指数和冠层厚度等因子对树冠穿透雨和空间分布的异质性的影响很大, 这与林冠层截留降雨的生态学机制有很大的关<sup>[6, 25]</sup>。大气降雨经过常绿阔叶林林冠层后, 由于冠层枝叶的作用, 被厚厚的枝叶层截留, 因此冠层越厚截留量也就越大; 但枝叶在冠层空间上并非均匀分布或完全覆盖的, 其冠层覆盖度越大, 截留能力也就越强; 冠层厚度和覆盖度是反映冠层枝叶特性的指标之一, 但它们本身并不能直接反映枝叶对降雨的截留作用, 而叶面积指数是反映冠层结构的一个更重要更直接的指标, 是截留降雨的最主要部分, 它直接截留大气降雨, 因此, 叶面积指数越大, 其截留能力也就越大, 穿透降雨就会越小。但冠层截留量是有限度的, 当超过其最大截留能力时, 叶面积将不再发挥主导作用, 这时降雨量、雨强以及降雨持续时间将发挥重要作用。

#### [参考文献](References)

- [1] 刘世荣, 常建国, 孙鹏森. 森林水文学: 全球变化背景下的森林与水的关系[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 753-756.  
Liu S R, Chang J G, Sun P S. Forest hydrology: forest and water in a context of global change [J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(5): 753-756. (in Chinese)
- [2] 徐小牛, 王勤, 平田永二. 亚热带常绿阔叶林水文生态特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1570-1574.  
Xu X N, Wang Q, Hirata E J. Eco-hydrological characteristics of a subtropical evergreen broadleaved forest in Japan [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(9): 1570-1574. (in Chinese)
- [3] Wei X, Liu S, Zhou G, et al. Hydrological processes in major types of Chinese forest [J]. Hydrological Processes, 2005, 19(1S): 63-75.
- [4] Staelens J, Deschrijver, A, Verheyen, K, et al. Spatial variability and temporal stability of throughfall water under a dominant beech (*Fagus sylvatica* L.) tree in relationship to canopy cover [J]. Journal of hydrology, 2006, 330(3/4): 651-662.
- [5] Llorens P, Domingo F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe [J]. Journal of hydrology, 2007, 335(1/2): 37-54.
- [6] Germer S, Elsenbeer H, Moraes J.M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondonia, Brazil) [J]. Hydrology and Earth system Science, 2006, 10(3): 383-393.
- [7] Vermimmen R R, Bruijneel L A, Romdoni A, et al. Rainfall interception in three contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia [J]. Journal of hydrology, 2007, 340(3/4): 217-232.
- [8] Park A, Cameron J L. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(5/6): 1915-1925.
- [9] Zimmermann A, Zimmermann B, Elsenbeer H. Rainfall redistribution in a tropical forest: Spatial and temporal patterns [J]. Water Resource Research, 2009, 45(W11413): 1029-1039.
- [10] 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.  
He C Q, Xue J H, Wu Y B, et al. Rainfall redistribution in subalpine *Quercus aquifolioides* in upper reaches of Minjiang River [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(9): 1871-1876. (in Chinese)
- [11] 时志杰, 王彦辉, 徐丽宏, 等. 六盘山华山松 (*Pinus armandii*) 林降雨再分配及其空间变异特征[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 76-85.  
Shi Z J, Wang Y H, Xu L H, et al. Rainfall redistribution and its spatial variation in the stand of *Pinus armandii* in Liupan Mountain, China [J]. Acta Ecology Sinica, 2009, 29(1): 76-85. (in Chinese)
- [12] 黄忠良, 丁铭懋, 张祝平, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林的水文过程及其氮素动态[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 194-199.  
Huang Z L, Ding M M, Zhang Z P, et al. The hydrological processes and nitrogen dynamics in a monsoon evergreen broad-leaved forest of Dinghushan [J]. Journal of Plant Ecology, 1994, 18(2): 194-199. (in Chinese)
- [13] 刘世荣, 温远光, 王兵, 等. 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.  
Liu S R, Wen Y G, Wang B, et al. The function eco-hydrological law of forest ecosystem in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing

- 
- House, 1996. (in Chinese)
- [14] 崔向慧, 李海静, 王兵. 江西大岗山常绿阔叶林生态系统水量平衡研究[J]. 林业科学, 2006, 42(2): 8-12.  
Cui X H, Li H J, Wang B. Water balance of evergreen broad-leaved forest ecosystem in Dagangshan Mountain, Jiangxi Province [J]. Scientia Silva Sinicae, 2006, 42(2): 8-12. (in Chinese)
- [15] 张一平, 王馨, 王玉杰, 等. 西双版纳地区热带季节雨林与橡胶林林冠水文效应比较研究[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2653-2665.  
Zhang Y P, Wang X, Wang Y J, et al. Comparison research on hydrological effect of canopy of the tropical seasonal rain forest and rubber forest in Xishuangbana, Yunnan [J]. Acta Ecology Sinica, 2003, 23(12): 2653-2665. (in Chinese) (下转 396 页)