

# 樟树人工林冠层对大气降水再分配规律的影响研究

闫文德, 陈书军, 田大伦, 康文星

(中南林学院 生态研究室, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 对湖南株洲 20 a 生樟树人工林的降雨分配规律进行了 2 a 的观测。结果表明, 该森林生态系统年降雨输入为 1 321.4 mm, 其中 16.869 mm 以树干茎流形式进入林地, 占年降雨量的 1.28%, 林内穿透水为 957.4 mm, 占 72.45%。另外, 林冠年截留量为 345.749 mm, 占年降雨量的 26.17%。在次降雨中, 降雨量越小, 截留率越大, 雨强越小, 林冠截留作用的效益越明显。

**关键词:** 樟树人工林; 林冠; 截留

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)06—0010—04

中图分类号: S715

## Contribution of *Cinnamomum Camphora*(L.) Presl Plantation to Precipitation Redistribution

YAN Wen-de, CHEN Shu-jun, TIAN Da-lun, KANG Wen-xing

(Research Laboratory of Ecology, Central South Forestry University, Changsha 410004, Hu'nan Province, China)

**Abstract:** The precipitation distribution in 20 year-old artificial forest of *Cinnamomum camphora* in Zhuzhou City, Hu'nan Province was studied. Results show that annual average rainfall of the ecosystem is 1 321.4 mm, among them the throughfall, stemflow and canopy interception rate make up 72.5%, 1.3% and 26.2% of the annual precipitation, respectively. In a single rainfall, the less the rain, the higher the interception rate, and the less the rainfall intensity, the more the benefits from the crown-interception.

**Keywords:** the artificial forest of *Cinnamomum camphora*(L.) Presl; canopy; interception

森林不但以其覆盖层保护着土壤表面免受侵蚀, 同时以其繁茂枝叶组成的林冠层和疏松而深厚的枯枝落叶层对降水的截留, 大大减少了大气降雨到达地面的数量和速度, 调节了地面径流的数量和强度。促进了森林中水分和养分的循环<sup>[1-2]</sup>。樟树在我国亚热带地区分布较广, 是地带性植被常绿阔叶林的主要树种<sup>[3]</sup>, 研究其林冠截留特征, 不仅有助于阐明樟树人工林生态系统涵养水源、保持水土的机理, 而且对阐明森林阻滞、缓冲雨滴对土壤的侵蚀及调洪蓄水等作用具有重要意义。

## 1 研究地区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验地设在中南林学院树木标本园, 地理位置为: 112°54' E, 27°50' N, 海拔 50~200 m, 相对高度 150 m, 属湘中丘陵区。气候系典型的亚热带湿润气候区, 年降水量 1 185.8~1 912.2 mm, 集中于 4—7 月; 年相对湿度为 80%, 年平均气温为 17.4。该区

地层古老, 母岩为变质板岩为主, 风化程度较深; 土壤为森林红壤, 呈酸性。地带性植被为常绿阔叶林, 试验林分是 1984 年人工营造的樟树林, 在造林前进行了平梯整地, 造林后处于半自然状态, 郁闭度为 0.7~0.8, 林分平均胸径 14.50 cm, 平均树高 8.47 m, 林下植物主要有女贞 (*Ligustrum lucidum*)、小叶女贞 (*Ligustrum quihoui*)、菝葜 (*Smilax china*)、山胡椒 (*Lindera glauca*)、木莓 (*Rubus swinhoei*)、油茶 (*Camellia oleifera*)、大叶黄杨 (*Buxus megistophylla*)、满树星 (*Ilex aculeolata*)、南蛇藤 (*Celastrus orbiculatus*)、铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等。

### 1.2 研究方法

将标准雨量筒安置于离林缘距离约为树高 1.5 倍处, 收集林外雨即为大气降雨。在樟树林地内, 选择林分中林木分布均匀, 林冠枝叶结构能代表林冠的位置 3 处。每处各选一株胸径与标准木相接近的树 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, 沿等高线方向在 A<sub>1</sub> 号树左侧, A<sub>2</sub> 号树右侧, A<sub>3</sub> 号树下侧位置 0.60~0.65 倍投影半径处各放

收稿日期: 2004-11-19

资助项目: 国家自然科学基金项目 (30271043); 国家科技部平台建设项目 (20021220); 国家林业局重点科研项目 (2001-07); 国家重点野外台站项目 (2000-076)

作者简介: 闫文德 (1969—), 男 (汉族), 甘肃武威人, 博士, 副教授, 主要从事生态学教学和森林生态系统定位研究工作。电话 (0733) 8701647, E-mail: csfuywd@hotmail.com。通讯作者: 陈书军。

置1个雨量筒,再在林冠空隙的林地上放置1个雨量筒( $A_4$ ),按下式计算穿透雨( $P_t$ )

$$P_t = 1/3(P_{t1} + P_{t2} + P_{t3})K + P_{t4}(1 - K)$$

式中: $P_{t1}, P_{t2}, P_{t3}, P_{t4}$ —— $A_1, A_2, A_3, A_4$ 各处的雨量测定值; $K$ ——林分郁闭度。

在林分中挑选5株乔木每株用直径为2cm的聚乙烯塑料管沿中缝剖开从胸径处由上往下蛇形缠绕于树干上,用沥青粘牢,基部放置集水器收集干流<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 樟树人工林降水输入与分配

人工樟树林林冠对降水输入的再分配具有它自身的特点,与落叶林相比,樟树叶的新旧更替并不以年为周期,冠层常年都有一定数量的树叶存在。根据2003年9月至2004年9月近100多次实测降水的资料,统计出樟树人工林降水输入及分配情况(表1)。由表1可看出,该地区的年降水量为1321.4mm,年截留量为345.7mm,占年降水量的26.2%,林内的净降水量占总降水量的73.7%,达974.2mm,但绝大部分为穿透水,占净降水总量的98.3%,达957.4mm,树干茎流量为16.9mm,仅占净降水总量的1.7%。

### 2.2 降水输入及分配的月变化

由表1可以看出,冠层的截留量、林内的穿透水和树干茎流与降水变化有一定的关系,即随降雨量的

增加而增加,但它们之间并不呈直线的相关关系,与降水强度、降水历时、雨前干燥期等因素有关。通常,截留、穿透水和树干茎流随降水量的增加而增加,截留率则呈减少的趋势。其最小截留率出现在雨量多,强度大的雨季,最大截留率则出现在雨量少,强度低的旱季。樟树人工林冠层截留量与林内净降水量的月变化呈两头低,中间高,即1a内11月至翌年3月冬春季期间,降水少,且多以小雨为主,截留量与林内净降水量较少,但林冠截留率为全年最大,月平均截留率达36.2%。4—7月的春夏季期间,降雨量多、降雨强度大,截留量与林内净降水量较多,但林冠的月平均截留率为全年最小,仅为19.5%。8—10月份由于气温高,辐射强,空气湿度小,林冠干燥,大气的蒸散力大,而降雨量相对较低,截留率呈上升趋势,月平均值为33.1%。林分的月树干茎流量依降雨量的多少有一定的变化,但总量很小,在降雨量最大的5月份,月茎流量也仅为3.3mm,茎流率在0.8%~2.5%之间波动。虽然树干茎流量比穿透水的输入量少得多,但茎流雨水及其所含养分的分布范围仅限于树干基部四周狭小的、形状不规则的空间,幅度在0.3~5m之间,总面积相当于树干基部总面积。且雨水直接流入植物的根区,并沿着根的生长方向进入土壤,使得茎流养分输入对植物生长、森林生态系统养分循环起着不可低估的作用<sup>[5-7]</sup>。

表1 樟树人工林降水输入及分配规律

降水时间	林外降水	穿透水		茎流量		净降雨		截留量	
		水量/mm	比例/%	水量/mm	比例/%	水量/mm	比例/%	水量/mm	比例/%
200309	20.3	11.7	57.8	0.2	0.8	11.9	58.6	8.4	41.4
200310	52.6	36.9	70.2	0.7	1.4	37.6	71.6	15.0	28.4
200311	35.4	23.4	66.2	0.3	1.0	23.8	67.2	11.6	32.8
200312	29.6	19.2	64.8	0.3	1.1	19.5	65.9	10.1	34.1
200401	27.2	17.2	63.2	0.5	1.7	17.7	65.0	9.5	35.0
200402	133.3	83.8	62.9	1.8	1.4	85.6	64.2	47.7	35.8
200403	104.5	56.5	54.1	2.6	2.5	59.1	56.6	45.4	43.4
200404	232.4	191.5	82.4	2.6	1.1	194.0	83.5	38.4	16.5
200405	262.3	211.0	80.5	3.3	1.3	214.3	81.7	47.9	18.3
200406	133.6	105.1	78.7	1.7	1.3	106.8	70.8	25.4	19.0
200407	88.5	66.3	74.9	0.8	0.9	67.1	75.8	21.4	24.2
200408	179.5	121.5	67.7	1.8	1.0	123.3	68.7	56.2	31.3
200409	22.3	13.2	59.3	0.2	1.0	13.4	60.3	8.8	39.7
合计	1321.4	957.4	72.5	16.9	1.3	974.2	73.7	345.7	26.2

### 2.3 次降雨与截留量的关系

根据对樟树林近100多次降雨的测定,当降雨量小于0.65mm时,其林分林冠能将降雨全部截留;当降雨量大于0.65mm而小于100mm时,林冠截留量

随着降雨量增加而增加,两者呈幂函数关系。此研究结果与文仕知先生<sup>[8-9]</sup>等在湖南合同的研究结果相类似。这种关系可用回归方程 $I = P^b$ 来表示。计算结果为:

$$I = 0.5468 P^{0.7118}$$

$$n = 84 > 30, \quad r = 0.9328$$

在降雨量为 0 ~ 100 mm 范围内,其截留量  $I$  的数学表达式为:

$$I = f(P) = \begin{cases} P & (0 \leq P \leq 0.65 \text{ mm}) \\ 0.5468 P^{0.7118} & (0.65 \text{ mm} < P \leq 100 \text{ mm}) \end{cases}$$

将方程  $I = 0.5468 P^{0.7118}$  进行微分并作图(图 1),有:

$$dI/dP = 0.5468 P^{-0.2882}$$

因  $P > 0.65$ ,故函数  $I = f(p)$  单调增加( ),即截留量随降雨量的增加而增加,但图 1 不能反映截留量随降雨量的变化速率。为弥补这一不足,作图 3。图 2 表明,当降雨量  $P$  较小( $P < 17$  mm)时,截留率随降雨量的增加急剧下降,即截留量的增加速度急剧下降;当降雨量  $P$  在 17 ~ 45 mm 之间时,尽管截留率仍然随降雨量的增大而在减少,但其减少幅度不大,尤其是当  $P > 45$  mm ( $< 100$  mm)时,截留率几乎稳定在同一水平线上。可见,林冠对降雨的截留作用,在降雨量较小时,效果明显。

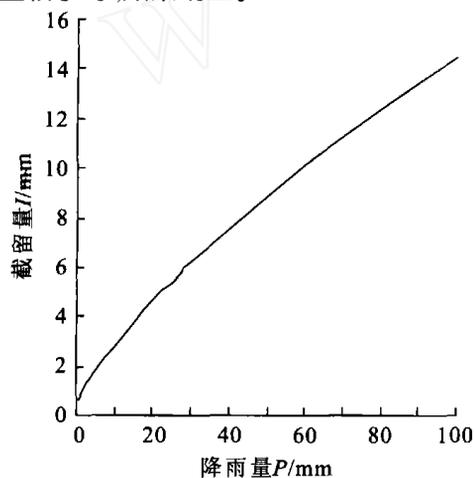


图 1 P—I 关系图

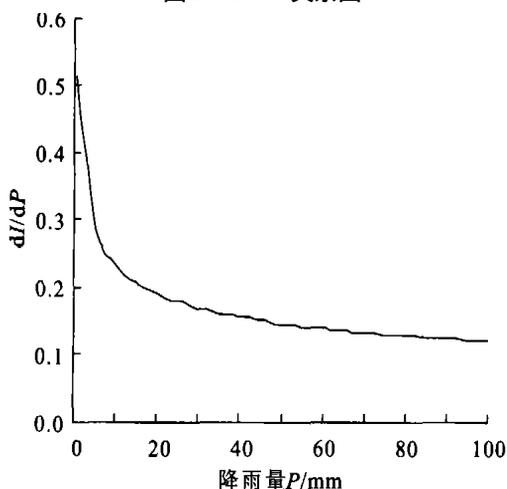


图 2 dI/dP—P 关系图

有了截留量,可通过下式求得(图 3)截留百分数  $S$ ,即:

$$S = \frac{f(P)}{P} \times 100\% = \begin{cases} 100\% & (0 \leq P \leq 0.65) \\ \frac{0.5468}{P^{0.2882}} \times 100\% & (0.65 < P \leq 100) \end{cases}$$

从图 3 可知,截留百分数随降雨量的增加而下降,其变化趋势与  $dI/dP$  的变化趋势相同,实际上二者是相辅相成的。即林冠层对降雨的截留能力并非无限,每一树种的林冠对于降雨都有一个极值——饱和截留量,当林冠截留量到达或接近此极值,降水仍继续增加,则林冠截留量增加非常缓慢。假定林冠最大截留量为  $I_{max}$ ,而某一次降雨量为  $P$ ,则最大截留百分数为

$$I_{max}/P \times 100\% = S$$

因  $I_{max}$  为一常数,所以  $P$  越大,则  $S$  越小。

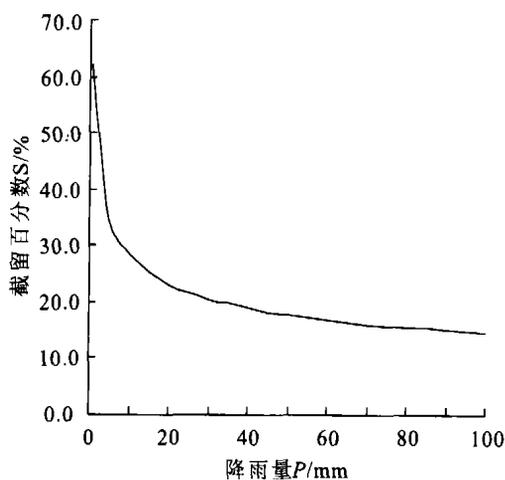


图 3 P—S 关系图

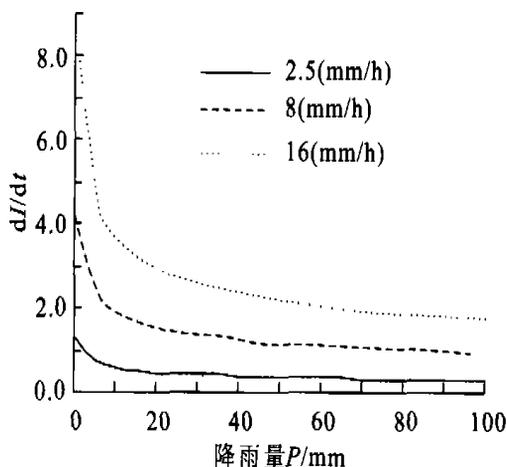


图 4 雨强—截留速率—降雨关系图

进一步讨论雨强与截留的关系:

$$dI/dt = dI/dP \cdot dP/dt$$

如果将降雨强度作为微分  $dP/dt$  的近似值,则由  $P$  可求出  $dI/dt$ , 这里取3个不同的降雨强度等级进行分析。从图4可见,当降雨强度相同时,截留速率(每小时截留量)随降雨量的增加而降低。这是因为当降雨强度一定,降雨量越大,说明降雨的时间越长。在降雨开始时,林冠的含水量低,饱和差大,对雨水的吸附力大,单位时间内截留的雨量大,截留速率就大;随着降雨量的增加,林冠的含水量越来越趋于饱和,吸附力越来越趋于零,单位时间内降落在林冠上的雨水形成穿透雨多,截留量减少,因而截留速率降低。同理,当降雨量相同而降雨强度不同时,截留速率随强度的增大而加大,这是由于降雨强度大,达到一定降雨量所需的时间较短,所以,离降雨开始的时间越短,截留速率就越大。随着降雨时间的增长,截留速率降低。

通过分析,可进一步求得在不同降雨强度下,降雨量相同时,林冠达到饱和截留所需的时间。如2004年5月7日的降雨量为40.4 mm,理论截留量7.6 mm(实测值为5.8 mm)为最大截留量  $I_{max}$ 。

设截留速率  $V = dI/dt$ , 降雨强度为  $i$ , 则:

$$v = dI/dt \cdot i = 0.4532 P^{-0.2882} \cdot i$$

对于一定雨强  $i$  而言,其平均速度  $\bar{V}$  为:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \frac{1}{P_2 - P_1} \int_{P_1}^{P_2} V dp \\ &= \frac{1}{P_2 - P_1} \int_{P_1}^{P_2} 0.4532 P^{-0.2882} \cdot i dp \\ &= \frac{1}{100 - 0.65} \int_{0.65}^{100} 0.4532 P^{-0.2882} \cdot i dp \\ &= 0.165 i \end{aligned}$$

由  $t = I_{max} / \bar{V}$ , 则可求出林冠截留达到饱和所需的时间  $h$ , 结果如表2所示。

表2 樟树人工林截留达到饱和所需的时间

降雨强度/(mm h <sup>-1</sup> )	2.50	8.00	16.00
平均截留速率/(mm h <sup>-1</sup> )	0.41	1.32	2.64
截留达到饱和所需的时间/h	18.40	5.70	2.90

从表2可知,当降雨强度为2.5 mm/h时,林冠层截留雨水达到饱和状态需要18.4 h,也就是说,林冠层对雨水的截留作用时间长达18.4 h。在此之后,林冠对雨水的截留作用变弱,多只能起到延缓雨水到达地面的时间,减少雨水对地面冲击的作用。当降雨强度为16 mm/h,达到饱和所需的时间为2.9 h,其作用时间将大为缩短。

### 3 结 论

(1) 樟树人工林系统的年降水量为1321.4 mm,年截留量为345.7 mm,占年降水量的26.2%,林内净降水量为974.2 mm,占总降水量的73.7%,其中绝大部分为穿透水,占净降水量的98.3%,达957.4 mm,树干茎流量为16.9 mm,仅占净降水总量的1.7%。林冠层截留量与林内净降水量的月变化表现为两头低,中间高,即1a内11—翌年3月冬春季期间,林冠截留雨水的能力强,林冠截留率为全年的最大值,月平均截留率达36.2%。4—7月的春夏季期间,截留量与林内净降水量较多,林冠的月平均截留率为全年的最小值,仅为19.5%。8—10月份由于气温高,辐射强,空气湿度小,林冠干燥,环境的蒸散力大,而降雨量相对较低,月平均截留率为33.1%。各月树干茎流量依降雨量的多少有一定的变化,但其总量很小,在降雨量最大的5月份,月茎流量也仅为3.3 mm,茎流率在0.8%~2.5%之间波动。

(2) 截留量随雨量的增大而增加,但趋近饱和截留量时,增加很慢。截留与雨强的关系十分密切,阵性降水强度大,雨滴也大,截留量较小,截留率低。雨强小,历时长,截留降水能均匀湿润枝叶表面,截留降水蒸发到大气中去的时间较长,则截留量大,截留率高,林冠对雨水的截留效果越明显。

#### [参 考 文 献]

- [1] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [2] 刘世荣,王兵,周光益,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.
- [3] 《树木学》(南方本)编写委员会编. 树木学[M]. 北京:中国林业出版社,1994.
- [4] 马雪华. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社,1994.
- [5] Park G G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle[J]. Adv. Ecol. Res, 1983, 13: 57—134.
- [6] Martinez Meza E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs[J]. J. Arid Environ, 1996, 32: 271—281.
- [7] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁,等. 油松人工林林冠对降水再分配的研究[J]. 陕西林业科技, 1993(1): 9—13.
- [8] 文仕知. 杉木人工林水文学特征研究[J]. 南方人工林生态系统研究论文汇编( ) [A], 2001. 10—13.
- [9] 文仕知,潘维涛,高耀明. 杉木人工林生态系统水量平衡及动态特征研究[A]. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 376—383.