

苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局

贾永正¹, 胡海波^{1,*}, 张家洋²

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037; 2. 新乡学院, 新乡 453000)

摘要:林冠截留是一个复杂的水文过程,受降水特征及林分特性的影响较大。以北亚热带苏南丘陵地区人工毛竹林(*Phyllostachys edulis*)为研究对象,利用2007年度各场次降雨观测数据,分析了降雨量和降雨强度与林冠截留降雨的关系,研究了林冠截留过程的特点。结果表明:(1)研究期间共观测到102次降水事件,降水总量为1110.8mm,单次最大降雨量为110.0mm,最小为0.55mm,事件平均降水量为10.89mm,且绝大部分降雨为低雨强、中雨量级的降雨事件。(2)研究期间林冠截留总量为171.72mm,占同期降雨总量的15.46%。单次林冠截留量变幅为0.21—4.55mm,截留率变幅为1.3%—100%,且随林外降雨量的递增,林冠截留率呈现递减的变化趋势,二者的关系用幂函数($I_0 = 117.34P^{-0.9106}$)拟合效果较好。(3)在林外次降雨量小于5mm的条件下,事件降雨量占年降雨总量的5.0%,相应的降雨事件频率为9.8%,此时林冠截留量随降雨量的增大而增加,其变幅为0.55—1.9mm,截留量与降雨量的关系用对数函数($I = 0.4931\ln(P) + 0.9493$)进行拟合效果较好;在单场降雨量大于5mm时,林冠截留量随各场次降雨量的增加,其变动幅度和频率均大大增强,变化范围在0.21—4.55mm之间,二者相关性较差。(4)降雨在7—10mm雨量级范围内时,林外降雨量和林冠截留量分别为245.14mm和47.9mm,占其全年总量的比例均为最大,分别为22.07%和27.9%;各雨量级林冠平均截留量与平均降雨量的关系表现为对数函数关系($R^2 = 0.7287$),而截留率与平均降雨量的关系表现为极显著的幂函数关系($R^2 = 0.9817$),且林冠对降雨的截留作用在雨量级较小时,表现十分显著。(5)全年单场降雨强度小于0.06mm/min时,降雨事件频数为73.53%,降雨量占其总量的57.93%,林冠截留量占其总量的89.34%,降雨事件平均截留率(23.84%)远高于雨强大于0.06mm/min时的降雨事件平均截留率(3.92%)。研究结果为长江中下游丘陵山区水土保持林和水源涵养林体系建设提供了理论依据。

关键词:毛竹; 林冠截留; 降水分配

Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province

JIA Yongzheng¹, HU Haibo^{1,*}, ZHANG Jiayang²

1 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

2 Xinxiang College, Xinxiang 453000, China

Abstract: The distribution pattern of precipitation can be changed when it passes through the canopy due to the interception of the forest canopy, which is a complex hydrographical process and is affected by precipitation and forest characteristics. In order to find out the features of canopy interception, the research which used the bamboo (*Phyllostachys edulis*) as the research object was conducted in the hill areas of southern Jiangsu province, to analyze the rainfall, and the relationship between the rainfall intensity and canopy interception of rainfall through the data of the rainfall events observed in 2007. The results were as follows: (1) During the research period, 102 precipitation events were observed, and most of the rainfall events featured with low intensity and moderate precipitation, the total annual precipitation was 1110.8mm and the average single precipitation was 10.89mm. However, the maximum rainfall was 110.0mm, and the minimum rainfall was 0.55mm. (2) The total amount of canopy interception was 171.72mm, it accounted for 15.46% of the total rainfall over the same period. Single canopy interception ranged from 0.21 – 4.55mm, volatility varied from 1.3% – 100%. When the

基金项目:国家林业局重点项目“长江三角洲城市森林生态系统定位研究课题”;国家科技支撑项目“长江三角洲城市森林生态站及其所在省区森林生态质量状况评估技”(2006BAD03A0702/wb01)

收稿日期:2010-06-19; 修订日期:2010-11-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hhb@njfu.com.cn; Huhb2000@yahoo.com.cn

single rainfall outside the forest increased, the canopy interception gradually reduced, the correlation could be fitted by power function ($I_0 = 117.34P^{-0.9106}$). (3) When the single precipitation outside the plantation was less than 5mm, the rainfall accounted for 5.0% of the total rainfall of the whole year, and the corresponding events frequency was 9.8%. A positive correlation between the precipitation and the canopy interception of bamboo was observed, and the correlation could be fitted by logarithmic function ($I = 0.4931\ln(P) + 0.9493$) ($R^2 = 0.6108$, $n = 22$); however, when the single precipitation outside plantation was more than 5 mm, the canopy interception became larger with the precipitation increasing, so did the variation range and frequency. The range of interception was from 0.21 to 4.55mm, but the correlation between the precipitation and the canopy interception was not significant. (4) When the rainfall was between 7 – 10mm, the rainfall outside the forest and the canopy interception of the total were 245.14mm and 47.9mm respectively, and both accounted for the largest proportion in the year, separately 22.07% and 27.9%; the relationship between average single interception and mean precipitation could also be described by logarithmic function ($R^2 = 0.7287$), while the relation between interception rate and precipitation was best fitted by power function ($R^2 = 0.9817$). This relationship was very significant, but when the rainfall was not very heavy, this relationship was not so significant. (5) When the single rainfall intensity was less than 0.06 mm/min in a year, the frequency of rainfall was 73.53%, 57.93% of its total rainfall, canopy interception accounted for 89.34% of its total, the mean interception rate (23.84%) was much higher than that (3.92%) when the intensity was more than 0.06 mm/min during the research period. The results obtained from the present study would provide theoretical foundation for the construction of water-soil conservation forest and water-reservation forest.

Key Words: bamboo; canopy interception; precipitation distribution

林冠截留是一个复杂的物理过程,它受降水特征及林分特性的影响较大。林冠层作为大气降水进入森林生态系统的第一个作用层面,当降水通过林冠层后,受到林冠拦截,形成冠层截留、穿透雨和干流,改变了降雨特性,形成了新的水量分布格局^[1]。国内外许多学者对林冠截留降水做了大量研究^[2-9],且对降雨再分配各分量间数量关系讨论的较多,而结合具体林分结构特征讨论的较少,特别是对苏南丘陵地区毛竹林林冠截留降雨的研究报道不多。本文以该区人工毛竹林(*Phyllostachys edulis*)为研究对象,研究毛竹林林冠截留降雨的特征及变化过程,为本地区营建城市森林生态系统以及制定有效的水土保持和水源涵养林管理措施提供理论依据。

1 试验地概况

研究地点设在长江三角洲城市森林生态系统定位研究站内,位于南京林业大学实习林场空青山东南坡,东经 119°14′,北纬 31°59′。本地区属北亚热带季风气候区,地形多为丘陵山地,起伏较缓,最高海拔 332.6m,平均坡度 20°左右。年平均降水量 1055.6mm,年际变幅为 425.2—1408.3mm;年平均相对湿度 79%;无霜期 233d。土壤为石英砂岩上发育的石质山地黄棕壤。

试验地植被以人工毛竹林(*Phyllostachys edulis*)为主,并混有极少量的马尾松(*Pinus massoniana*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Q. variabilis*)等树种。样地毛竹平均胸径为 10.3cm,平均高为 11.8m,冠层郁闭度为 0.85,立竹度为 3 675 株/hm²,观测期为 2007 年 1—12 月。

2 研究方法

2.1 降雨量测定

在竹林外约 50 m 的空矿地上设置标准雨量筒,观测林外次降水量(P);同时采用虹吸式雨量自记仪记录降雨过程,并计算出每隔 5min 的林外降雨强度(R_p) (mm/min)。

2.2 穿透雨测定

在试验地内系统布设 5 个规格为 2m×0.25m 的“V”型集水槽(其中一个设在样地中心点附近),将接收的穿透雨导入量水器内。将中心槽透流水导入虹吸式雨量自记仪记录穿透雨形成过程,并计算穿透雨强度

(R_i)。每次降雨结束后,将 5 个测点的林内穿透雨进行汇总,取其平均值,再换算成本次降雨的林内穿透雨量(T) (mm)。

2.3 秆流量测定

在试验地内每个径级(每隔 2 cm 为一径级),选择 1—2 株秆形和冠幅中等标准样竹进行测定。将直径 1.5 cm 的塑料管沿一侧剪开,从竹秆 1.2 m 处开始呈螺旋式缠绕 2—3 周止竹秆基部,再用小钉和玻璃胶将接缝处固定并封严,在塑料管下端放量水器,用于收集秆流水。其中,选取一株胸径和冠幅接近平均值的样竹,将其秆流导入虹吸式雨量自记仪进行动态观测和计算秆流雨强度(R_s)。每次降雨结束后,利用树冠投影面积公式(1)^[10]计算试验地上的秆流量(S) (mm):

$$S = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n \frac{S_n}{K_n} \cdot M_n \quad (1)$$

式中, M 为单位面积上的立竹度、 S_n 为每一径级的实测秆流量(mm)、 K_n 为每一径级相应竹冠平均投影面积(cm^2)、 M_n 为每一径级的样竹株数、 n 为各径级数。

2.4 林冠截留量的确定

通过实测得到的林外降雨、穿透雨和秆流,根据水量平衡公式(2)计算林冠截留量,即:

$$I = P - T - S \quad (2)$$

式中, I 代表林冠截留量; P 、 T 、 S 分别指林外降雨量、穿透雨量、秆流量。

3 结果与分析

3.1 降雨对林冠截留量的影响

3.1.1 单次降雨量与林冠截留的关系

本试验共观测到 102 次降水事件,降水总量为 1110.8 mm,事件平均降水量为 10.89 mm。研究表明:单次竹冠平均截留量最小为 0.21 mm,最大为 4.55 mm,截留率变幅为 1.3%—100%,全年竹冠截留总量为 171.72 mm,占年降雨量的 15.46%。在一定降雨范围内,毛竹林冠截留量随林外降雨量的增加而增加,林冠截留效果在降雨开始阶段或降雨量很小时,表现十分显著,降雨全部或大部分被截留,但随降雨量的持续增加,截留率迅速减小,且截留量表现出一定的波动性。当林外次降雨量小于 5 mm 时,其降雨占年降雨量的 5.0%,

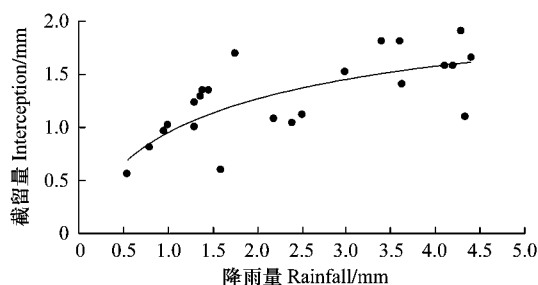


图1 竹冠截留量与降雨量的关系

Fig. 1 Relationship between canopy interception of bamboo forests and Precipitation

相应的降雨事件频率为 9.8%,此时林冠截留量基本上随降雨量的增大而增加,其变幅为 0.55—1.9 mm,截留量(I)与降雨量(P)的关系可用对数函数(图1)拟合效果较好,其拟合方程式为: $I = 0.4931 \ln(P) + 0.9493$ ($R^2 = 0.6108$, $n = 22$);当降雨量大于 5 mm 时,林冠截留量随各场次降雨量的增加,其变动幅度和频率均大大增强,其变化范围在 0.21—4.55 mm 之间,二者相关性较差,其影响因素主要与雨前林冠湿润程度、雨量大小、降雨历时、雨强及环境因素等密切相关。

从全年林冠截留率的变化(图2)看,林冠单场降雨平均截留率随林外降雨量的增大而减小,且雨量较小时递减速度较大。对一次降雨来说,降雨量的大小对截留率有更大影响,当降雨量小于 3.0 mm 时,林冠截留率变幅为 37.5%—100%,平均值大于 50.9%;降雨量在 3—20 mm 时,林冠截留率变化范围为 1.95%—53.29%;而当降雨量大于 15 mm 时,平均截留率小于 6.2%。

3.1.2 降雨量级与林冠截留的关系

为研究方便将全年各场次降雨,依降雨量大小依次划分为:0—1 mm、1—2 mm、2—3 mm、3—5 mm、5—7 mm、7—10 mm、10—13 mm、13—17 mm、17—24 mm、24—31 mm、31—42 mm、>42 mm 共 12 个降雨等级(图

3) 研究可知: 降雨量为 1 级(0—1mm) 时, 林冠截留量占全年截留总量的 1.35%; 降雨量为 6 级(7—10mm) 时, 林冠截留量占全年截留总量的比例最大, 为 27.9% 相应的截留量为 47.9mm, 为最高降雨频率的等级, 达 28 场次, 占年降雨事件的 27.45%, 降雨量同样在 7—10mm 雨量级范围内最多, 为 245.14mm, 占年降雨总量的 22.07%; 而大雨及暴雨(1 次降雨量达 30mm 以上) 事件发生频率较低, 仅 4 次, 其降雨量占年总雨量的 13.88%。林外在 5—24mm 之间的降雨量占年总雨量的 63.92%, 降雨频率占 68.63%。可见研究期大部分降雨事件为中雨量级的降雨。

此外, 对各雨量等级观测数据进行求均处理(表 1) 后可知, 林冠平均截留量随降雨等级的递增呈现出增大的趋势, 降雨量不大于 7mm 时, 平均截留量递增的速度较快, 即从 0.77mm 快速增加到 1.83mm, 其原因是: 在这个降雨时段内降雨强度和雨量都较小, 林冠枝叶能够得到均匀湿润, 再加上降雨初期冠层截留未达饱和, 冠层吸水量迅速增加, 导致林冠截留量快速递增, 而截留率在此区间的变化趋势则正好相反; 降雨量大于 7mm 时, 林冠平均截留量开始出现小幅振荡, 其变化幅度为 1.71—1.98mm, 因为随着雨量级的增大, 林冠截留量一旦达到饱和后就不再随林外降雨量的增大而增加。各雨量级竹冠平均截留量(I) 与平均降雨量(P) 的关系可用对数函数拟合效果较佳, 其方程式为:

$$I = 0.2358 \ln(P) + 1.1126 \quad (R^2 = 0.7287, n = 12)$$

表 1 各雨量级场平均降雨量和林冠截留量

Table 1 Single mean Precipitation and canopy interception rate for each rainfall class

降雨量 Rainfall /mm	降雨等级 Rainfall levels	平均截留量 The mean Interception /mm	平均降雨 The mean rainfall /mm	平均截留率 The mean interception rate/%	平均雨强 The mean rainfall intensity /(mm/min)
0—1	1	0.77	0.77	100	0.012
1—2	2	1.19	1.40	84.82	0.022
2—3	3	1.19	2.53	47.03	0.021
3—5	4	1.60	3.99	40.09	0.023
5—7	5	1.83	5.94	30.80	0.024
7—10	6	1.71	8.76	19.54	0.060
10—13	7	1.89	11.72	16.13	0.090
13—17	8	1.98	15.15	13.04	0.047
17—24	9	1.58	20.38	7.76	0.214
24—31	10	1.86	27.02	6.89	0.149
31—42	11	1.93	34.85	5.54	0.162
>42	12	1.90	79.80	2.38	0.253

林冠截留率随降雨量级的递增而减小, 并且递减的速度由快变慢, 与截留量的变化趋势正好相反。各雨量级林冠平均截留率(I_0) 与平均降雨量的关系可用幂函数进行拟合, 效果极为显著, 其方程式为:

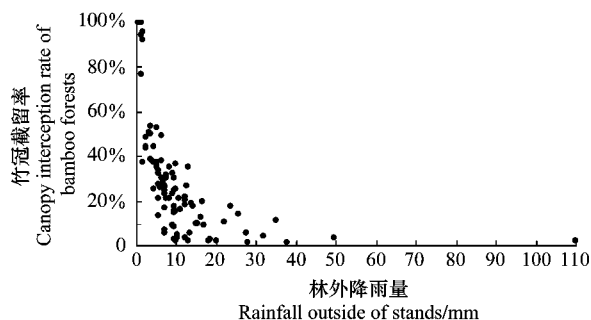


图 2 竹冠截留率与林外降雨量的点阵图

Fig. 2 Dot Matrix Graphic for canopy interception rate of bamboo forests and Precipitation outside the plantation

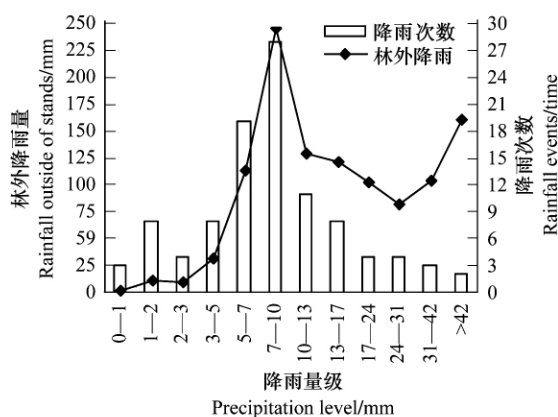


图 3 不同雨量级的林外降雨量及其次数

Fig. 3 Precipitation and Frequency outside Plantation for different Rainfall levels

$$I_0 = 107.96P^{-0.8264} \quad (R^2 = 0.9817, n = 12)$$

可见,林冠对降雨的截留作用在雨量级较小时十分显著,但随着降雨量的增加,林冠截留的增长率迅速减小,最后逐渐达到饱和状态后就不再增加或增加十分缓慢,这时林冠截留量(率)保持在一个平衡状态,这说明林冠对降雨的截留作用是有限的,它与降雨特性关系密切。

3.2 降雨强度对林冠截留的影响

降雨强度也是影响林冠截留的重要因素,当降水量相同或相近时,林冠截留量和截留率随降水强度的不同存在较大差异。本文将全年各场降雨依降雨强度大小划分为4个等级(表2),结果表明:雨强在0.01—0.06mm/min范围内的降雨次数最多(40.2%),林外降雨量为303.31mm,占其全年总雨量的27.31%,林冠截留量则为67.25mm,占全年截留总量的39.17%;雨强小于等于0.01mm/min的各场次总降雨量最大,其值为340.13mm,占全年总降雨量的30.62%,而林冠截留量为86.15mm,占全年截留总量的50.17%,截留率在4个雨强等级中为最大。观测期内雨强小于0.05mm/min时的降雨事件占73.53%,降雨量占全年总量的55.92%,林冠截留量占年截留总量的87.75%。可见研究期绝大部分降雨事件为低雨强级的降雨,它们对林冠截留效果影响极为显著。

表2 不同雨强的降雨、竹冠截留情况

Table 2 Precipitation and canopy interception of bamboo forests for different rainfall intensity

降雨强度(R) Rainfall intensity /(mm/min)	林外降雨 Rainfall /mm	降雨占其全年 总雨量的比例 the proportion of annual interception for the value /%	截留量 Interception /mm	截留率 Interception rate /%	截留占全年 截留总量的比例 the proportion of annual interception for the value /%
$R \leq 0.01$	340.13	30.62	86.15	25.33	50.17
$0.01 > R \leq 0.06$	303.31	27.31	67.25	22.17	39.17
$0.06 > R \leq 0.12$	143.00	12.87	10.64	7.44	6.19
$R > 0.12$	324.36	29.20	7.68	2.37	4.47
合计 Total	1110.8	100	171.72	15.46	100

林冠截留率随雨强等级的增大而减小(表2),这是因为强度大的降雨对竹冠枝叶的冲击力强,加剧了枝叶的晃动,使雨水很快又降落到地面,从而降低了竹冠截留量和截留率;而雨强小的降雨对林冠枝叶的冲击力小,雨水能够缓慢湿润枝叶,提高了林冠截留量及截留率。

4 结论与讨论

4.1 毛竹林全年降雨量为1110.8mm,林冠截留量为171.72mm,研究期大部分降雨事件为小雨强、中雨量级的降雨。全年单场降雨小于5mm及雨强小于0.05mm/min的林冠平均截留率分别为52.8%和24.26%,其变幅分别为25.17%—100%和5.82%—100%。在小雨量、低雨强时的降雨条件下,毛竹林冠对降雨的截留效果明显,与其他学者对林冠截留的研究结果基本一致^[3,6-7,9]。雨量小于5mm时,截留量与降雨量的关系可用对数函数表示,效果较好;反之,二者相关性较差,其原因是截留效果与降雨量、降雨强度、降雨持续时间长短等因素密切相关。

4.2 单场降雨的林冠截留量变幅为0.21—4.55mm,远低于国内外学者^[4-5]在茂密森林中,对林冠截留降水的研究结果(截留量可达10—20mm);林冠截留量占年降水量的15.46%,同上述学者的研究结果(15%—45%)相比偏低,且低于我国各种森林生态系统林冠的平均截留率(22.02%)^[11]。同美国森林植被截留量占年降雨量的10%—35%^[12]相比,处于中低水平,林冠截留率出现偏低现象的原因主要与竹冠枝叶稀疏、叶面积指数偏小、冠层枝叶和竹秆表面较其它树种光滑(具有致密蜡质层)等因素有关。

4.3 林冠截留作用受降雨量、降雨强度等气候条件,以及树种组成(对毛竹林而言主要指龄级和径级)、郁闭度等林分结构特征多种因素的影响,而这种影响仅凭一年的观测数据来进行研究分析会存在一定的静态性和片面性。因此,应对研究区林冠截留降雨过程进行长期的定位观测,以探讨和掌握林冠截留的动态变化及其

影响机理。

致谢：南京林业大学森林资源与环境学院方升佐教授对本文写作给予帮助，特此致谢。

References:

- [1] Zhang Y P, Wang X, Liu W J. Research review on the partitioning of gross rainfall into stemflow, throughfall and interception of canopies in the tropical forests. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2004, 24(3): 274-282.
- [2] Liu S R, Wen Y G, Wang B, Zhou G Y. *Ecohydrological Functions of Forest Ecosystems in China*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996: 61-62.
- [3] Xie C Y, Guan W B, Wu J A, Cheng G W, Luo J. Interception capability of dark coniferous forest ecosystem in Gongga Mountain. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 68-71.
- [4] Fan S X, Gao Y, Cheng Y C, Bai Q J. Rainfall-intercepting capability of forest canopy. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(2): 200-204.
- [5] Jackson I J. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. *Journal of Hydrology*, 1975, 24: 215-238.
- [6] Chen Y Z, He F, Zhang H J, Wen X S. Preliminary analysis on factors influencing canopy interception in Jinyun mountain. *Science of Soil and Water Conservation*, 2005, 3(3): 69-72.
- [7] Xie J Z, Fu M Y, Ma Z X, Xiao X T. Study on ecohydrological effects of sympodial bamboo stands——II Canopy rainfall interception of *D. latiflorus* stands. *Journal of Bamboo Research*, 2003, 22(1): 13-22.
- [8] Tang J S, Zhang R L. On the function of forest canopy to intercept rainfall. *East China Forest Management*, 2005, 19(2): 33-35.
- [9] Wang Y M. Summary on study of redistribution on precipitation by canopies in China (I). *Journal of Northwest Forestry University*, 2000, 15(3): 1-7.
- [10] Chinese Society of Forestry. *Forest and Water*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1987: 12-13.
- [11] Wen Y G, Liu S R. Quantitative Analysis of the characteristics of rainfall interception of main forest ecosystems in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, 31(4): 289-297.
- [12] Zinke P J. Forest interception studies in the United States//Sopper W E, Lull H W, eds. *International Symposium on Forest Hydrology*. Oxford: Pergamon Press, 1967: 137-161.

参考文献:

- [1] 张一平,王馨,刘文杰. 热带森林林冠对降水再分配作用的研究综述. *福建林学院学报*, 2004, 24(3): 274-282.
- [2] 刘世荣,温远光,王兵,周光益. *中国森林生态系统水文生态功能规律*. 北京: 中国林业出版社, 1996: 61-62.
- [3] 谢春华,关文彬,吴建安,程根伟,罗辑. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 68-71.
- [4] 范世香,高雁,程银才,白清俊. 林冠对降雨截留能力的研究. *地理科学*, 2007, 27(2): 200-204.
- [6] 陈引珍,何凡,张洪江,温熙胜. 缙云山区影响林冠截留量因素的初步分析. *中国水土保持科学*, 2005, 3(3): 69-72.
- [7] 谢锦忠,傅懋毅,马占兴,肖贤坦. 丛生竹林生态系统的水文效应研究——II 麻竹林林冠对降水的截持作用. *竹子研究汇刊*, 2003, 22(1): 13-22.
- [8] 唐金生,张如良. 林冠截水作用研究. *华东森林经理*, 2005, 19(2): 33-35.
- [9] 王佑民. 我国林冠降水再分配研究综述(I). *西北林学院学报*, 2000, 15(3): 1-7.
- [10] 中国林学会. *森林与水*. 北京: 中国林业出版社, 1987: 12-13.
- [11] 温远光,刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析. *林业科学*, 1995, 31(4): 289-297.