

## 广州流溪河流域毛竹林的水文生态效应

王冬云<sup>1,2</sup>, 张卓文<sup>1</sup>, 苏开君<sup>3</sup>, 王光<sup>3</sup>, 雷云飞<sup>1,3</sup>,  
林明磊<sup>1</sup>, 张培<sup>1</sup>, 钟庸<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学园艺林学学院, 湖北 武汉 430070; 2. 江苏省泗洪县建设局, 江苏 宿迁 223900; 3. 广州市林业科学研究所, 广东 广州 510515)

**摘要:** 为了了解毛竹林 *Phyllostachys pubescens* 的水文生态效应, 对广州流溪河流域毛竹人工林进行大气降水、林内透雨、竹秆茎流、林下枯落物持水能力及土壤水分物理性质的测定和计算。结果表明: 林外总降水量为 267.4 mm 时, 林冠截留量为 67.6 mm, 林冠截留率为 25.3%, 秆茎流量为 18.1 mm, 茎流率为 6.8%, 林内透雨量占总降水量的 68.0%。林下枯落物层的最大持水量为 1.406 mm, 平均最大持水率为 212.6%, 林下枯落物持水量与浸泡时间呈对数相关关系, 枯落物吸水速率与浸泡时间呈幂函数关系。林下 0~20 cm 层土壤饱和蓄水量为 122.1 mm, 土壤水分入渗速率与时间也呈幂函数关系。图 3 表 2 参 15

**关键词:** 森林生态学; 毛竹林; 水文生态; 林冠截留; 枯落物; 土壤

**中图分类号:** S715.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5692(2008)01-0037-05

## Hydrology of *Phyllostachys pubescens* in Liuxihe, Guangdong Province

WANG Dong-yun<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhuo-wen<sup>1</sup>, SU Kai-jun<sup>3</sup>, WANG Guang<sup>3</sup>, LEI Yun-fei<sup>1,3</sup>,  
LIN Ming-lei<sup>1</sup>, ZHANG Pei<sup>1</sup>, ZHONG Yong<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; 2. Construction Bureau of Sihong County, Suqian 223900, Jiangsu, China; 3. Guangzhou Research Institute of Forestry, Guangzhou 510515, Guangdong, China;)

**Abstract:** In order to provide basis for soil and water conservation measures, precipitation, throughfall, stem flow, water holding capacity of the litter, and the soil water physical characteristics in a *Phyllostachys pubescens* stand were measured in Liuxihe Forest Park of Guangzhou City, Guangdong Province from April to August in 2006. Results showed that when throughfall was 267.4 mm: a) canopy interception was 67.6 mm with an interception rate of 25.3%, b) stem flow was 18.1 mm with a stem flow rate of 6.8%, and c) net precipitation under the canopy accounted for 68.0% of the total. The maximum water holding capacity of the litter was 1.406 mm, and the maximum water retention rate was 212.6%. There was a logarithmic regression between water holding capacity of the litter and time of exposure with the relationship between the rate of water absorption for the litter and time of exposure being an exponential regression. Additionally, saturated water held by the soil layer from 0 - 20 cm was 122.1 mm. There was also an exponential regression for soil infiltration. [Ch, 3 fig. 2 tab. 15 ref.]

**Key words:** forest ecology; *Phyllostachys pubescens* stand; hydrological effect; canopy interception; litter; soil

毛竹 *Phyllostachys pubescens* 分布在我国亚热带地区酸性土壤上, 是我国森林资源的重要组成部分, 集经济、生态、社会效益于一体<sup>[1]</sup>。在我国, 对毛竹用途和经济价值的研究已有悠久的历史, 但对其生态效益的研究进行得较少。笔者于 2006 年 3~7 月对 20 次有效降水的水文分配数据进行了

收稿日期: 2007-03-30; 修回日期: 2007-08-20

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(2000-2-059-01)

作者简介: 王冬云, 硕士研究生, 从事园林植物和水文生态等研究。E-mail: dongyunwang1982@126.com。通信作者: 张卓文, 教授, 博士, 从事森林培育和水文生态等研究。E-mail: zhzwzhang@mail.hzau.edu.cn

定量研究,探讨毛竹人工林截留降水能力,林下枯落物和土壤的水文功能,为制定相应的水土保持措施提供理论和实践依据。

## 1 试验区概况

试验区位于广州市郊从化市流溪河国家森林公园内,距广州市区 93 km,地理坐标为  $23^{\circ}32' \sim 23^{\circ}50'N$ ,  $113^{\circ}45' \sim 113^{\circ}54'E$ ,属于南亚热带湿润季风气候区。年平均降水量为 2 104.7 mm。空气相对湿度为 79%。平均气温为 20.3  $^{\circ}C$ ,极端最高气温 39.2  $^{\circ}C$ ,极端最低气温  $-6.8^{\circ}C$ ,1月平均气温 11.5  $^{\circ}C$ ,7月平均气温 27.4  $^{\circ}C$ 。土壤成土母岩多为花岗岩,为轻砂黄壤,质地浅薄,肥力较差,呈微酸性。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验竹林

试验竹林设在流溪河国家森林公园内,海拔高度为 250~300 m,坡度 30°。植被类型为中度集约经营的人工毛竹纯林,密度为 3 200 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ ,竹林郁闭度 0.7~0.8,林龄为 2~4 度。对试验竹林内的毛竹进行每木检尺,计算出其平均胸径为 7.6 cm,平均株高 6.7 m。试验时间为 2006 年 4 月至 2006 年 8 月。

### 2.2 林外降水量( $P$ )

在林外距观测场约 80 m 的地方安装遥测式自计雨量计,自动记录林外降水量。

### 2.3 林内透雨量( $T$ )

林内透雨量包括林冠穿透雨和树冠及其他部分滴下的降水量。在试验毛竹林内按网格法均匀放置 8 个承水槽,降水后测得林内透雨量。

### 2.4 秆茎流量( $S$ )及茎流率( $\mu$ )

在试验林中,按 6 个径阶选定各径级标准竹各 2 株,在竹杆 0.5 m 处用纵向切开的半圆聚乙烯塑料管蛇形缠绕树干 2~3 环,用钉子将半圆胶管钉好在树干上,用玻璃胶填补其缝隙,最下端的半圆管接到地面上的盛水瓶内以便在降雨时接收竹秆茎流。每次降雨后测量盛水瓶内盛水体积,再换算成秆茎流量。 $\mu = S/P \times 100\%$ 。式中: $\mu$  为茎流率(%), $S$  为秆流量(mm), $P$  为林外降水量(mm)。

### 2.5 林冠截留( $I$ )及林冠截留率

树冠截留量不能直接由仪器或装置测定,只能由林冠层水量平衡方程式  $I = P - (T + S)$  推出:林冠截留率:  $\gamma_1 = I/P \times 100$ 。式中: $\gamma_1$  为树冠截留量(mm), $\gamma_1$  为树冠截留率(%), $P$  为林外降水量(mm), $T$  为林内透雨量, $S$  为秆流量。

### 2.6 枯落物的持水量及吸水速率

在试验林中分上、中、下坡面各取面积 20 cm  $\times$  25 cm 的枯落物样方 3 个,将未分解层、半分解层分别收集并保持原状装箱,并现场记录各层厚度。将采集的样品带回室内进行风干,称量,用室内浸泡法测定林下枯落物的持水量及其吸水速率<sup>[2]</sup>。将枯落物浸入水中后,分别测定其在 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 20.0 和 24.0 h 的质量变化,来研究其持水量和吸水速率,分析吸水过程。每次取出称量后所得的枯落物湿质量与其风干质量差值,即为枯落物浸泡不同时间的持水量。该值与浸泡时间的比值即为枯落物的吸水速率。

### 2.7 土壤水分及物理特性

在试验毛竹林中,用土盒法和环刀法测定土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度等物理性质及含水量,土壤入渗速率采用双环法进行测定。

## 3 结果与分析

### 3.1 毛竹人工林林冠截留量

林冠截留量的大小不仅受冠层枝叶数量和湿润程度等自身因素影响,而且也取决于降水特征值、

气象因素和降水的频度及林种、林龄、林分密度等多种因素的影响和制约<sup>[3]</sup>。实测数据表明(表1):毛竹人工林林冠截留量随着降水量的增加而增加,林冠截留率则与林冠截留量不同,林冠截留率随降水量的增加而减少,这与曹群根的研究结果相同<sup>[4]</sup>。从表1可以看出,当降水量>10 mm时林冠截留率变化幅度很小,趋于稳定。测定20次降水,毛竹林林外降水总量为267.4 mm,林冠截留总量67.6 mm,林冠平均截留率为25.3%,结果与陈双林等<sup>[1]</sup>统计的毛竹林林冠平均截留率(21.59%)比较接近。

表1 毛竹人工林林冠截留量

Table1 Intercepting amount of artificial *Phyllostachys pubescens* canopy

降水量级/ mm	降水次数/ 次	林外降水量/ mm	林内透水量/ mm	林冠截留量/ mm	林冠截留率/ %	竹秆茎流量/ mm	茎流率/ %
0 < P ≤ 5	1	3.2	0.9	2.1	65.5	0.168	5.3
5 < P ≤ 10	3	7.5	3.1	4.0	53.2	0.449	6.0
10 < P ≤ 15	2	11.4	7.4	3.0	26.1	0.959	8.4
15 < P ≤ 25	5	20.2	13.7	5.1	25.3	1.371	6.8
25 < P ≤ 35	3	29.3	20.3	7.3	24.8	1.488	6.1
35 < P ≤ 45	2	38.4	26.9	9.3	24.2	2.123	5.5
45 < P ≤ 55	2	50.8	34.7	12.1	23.9	2.566	7.8
P > 55	2	106.7	74.7	24.7	23.2	7.312	6.9
合计	20	267.5	181.7	67.6	25.3	16.435	6.8

### 3.2 毛竹人工林秆茎流量

秆茎流量和降水量相关。产生竹秆茎流的前提是竹秆吸水达到饱和,影响竹秆茎流的外部因子有降雨强度、风向(风向改变了降水的倾角及方向,从而影响竹秆茎流)、坡向、坡度和林分密度<sup>[5]</sup>。毛竹的秆、枝、叶部表面光滑,且被有坚硬透水性很差的硅化蜡质层,从而决定了林冠竹枝、竹秆达到饱和和所需的降水量相对较小,产生秆茎流所需的降水量比其他林分小的多<sup>[1]</sup>。从表1可以看出,降水量增加,秆茎流量也随着增加,降水量在10.0~15.0 mm时,秆茎流率最大。试验测得毛竹林秆茎流率平均为6.8%,高于杉木 *Cunninghamia lanceolata* (0.98%) 和马尾松 *Pinus massoniana* (1.4%)<sup>[1]</sup>,接近麻竹 *Dendrocalamas latifolius* 林秆茎流率(7.74%)<sup>[6]</sup>。毛竹林具有较高的秆茎流量、秆茎流率,增加了地表径流量,这对发挥毛竹林生态系统的水土保持功能具有不利的影响。

### 3.3 毛竹人工林不同层次枯落物持水特性

枯落物层的持水能力是指枯落物层的含水量占自身干质量的百分比。当含水量达到饱和时称饱和持水量或最大持水量。我们可以从某一季节林地枯枝落叶的储量和其水文特征值初步估算出不同林地枯枝落叶的水文生态效益。

3.3.1 枯落物的持水量 枯落物的持水能力多用干物质的最大持水量和最大持水率来表示,其值的大小与林分类型、组成结构、蓄积量和分解状况等有关<sup>[7]</sup>。一般来说,枯落物层积累多,层次厚,分解快,分解较彻底,则具有孔隙多、细、小及吸水面大的特点,因而表面张力亦较大,蓄水性能良好<sup>[8]</sup>。

调查结果表明(表2):试验毛竹林内枯落物层总厚度为3.3 cm,其中未分解层厚1.811 cm,大于半分解层厚度。毛竹人工林林下枯落物储量半分解层所占比例比未分解层大,占总储量的63.1%,推断主要是由于毛竹林落叶分解较快的缘故;枯落物层未分解层的最大持水量大于半分解层,其最大持水总量为1.406 mm,相当于1.406 mm的降水量,与杉木人工林(4.09 mm)和马尾松(5.12 mm)<sup>[9]</sup>相比是非常低的。笔者测得的毛竹林枯落物层的最大持水总量大于王彦辉

表2 毛竹人工林枯落物层的持水能力

Table 2 The water holding capacity of the litter form in artificial *Phyllostachys pubescens*

项目	枯落物厚度/cm	枯落物储量/(t·hm <sup>-2</sup> )	最大持水量/mm	最大持水率/%
未分解层	1.811	3.740	0.748	261.54
半分解层	1.489	6.384	0.658	163.57
总量	3.300	10.124	1.406	425.11

等<sup>[10]</sup>测定的大岗山林区毛竹林枯落物层的最大持水总量(0.60 mm)。

3.3.2 枯落物持水量与浸泡时间的关系 从毛竹人工林枯落物持水量与浸泡时间关系可看出(图1), 林分枯落物分解层持水量随时间延长而增加, 林分半分解层持水量大于未分解层持水量。作者对林分枯落物未分解层、半分解层持水量与浸泡时间数据进行分析拟合, 得到林分枯落物持水量与浸泡时间之间的关系式。未分解层:  $W=0.0958 \ln(t)+0.4825, R^2=0.9565^{**}$ 。半分解层:  $W=0.0820 \ln(t)+0.4337, R^2=0.9507^{**}$ 。式中:  $W$  为枯落物持水量(mm);  $t$  为浸泡时间(h)。

从林分枯落物未分解层、半分解层持水量实测值和计算所得值与浸水时间之间的关系(图1)可以看出, 林分枯落物未分解层、半分解层持水量与浸水时间之间表现出较好的相关性, 相同浸泡时间下, 未分解层较半分解层持水量大。枯落物未分解层和半分解层在浸泡8 h时均基本达到饱和, 即8 h之后, 增加浸泡时间, 其持水量基本不再发生变化。

3.3.3 枯落物吸水速率与浸泡时间的关系 枯落物在刚开始浸水时, 吸水速率都很高。由于枯枝落叶从风干状态浸入静水中后, 枯枝落叶的死细胞间或者枝叶表面, 水势差较大, 吸水速率高<sup>[7]</sup>; 从毛竹人工林枯落物吸水速率与浸泡时间关系可看出(图2), 枯落物吸水速率与浸泡时间之间存在明显的幂函数关系。作者对毛竹人工林枯落物吸水速率与浸泡时间之间数据进行分析拟合, 得到林分枯落物吸水速率与浸泡时间之间的关系式。未分解层:  $V=0.4806 t^{-0.8355}, R^2=0.9976^{**}$ ; 半分解层:  $V=0.4315 t^{-0.8412}, R^2=0.9974^{**}$ 。其中:  $V$  为枯落物吸水速率( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $t$  为浸泡时间(h)。

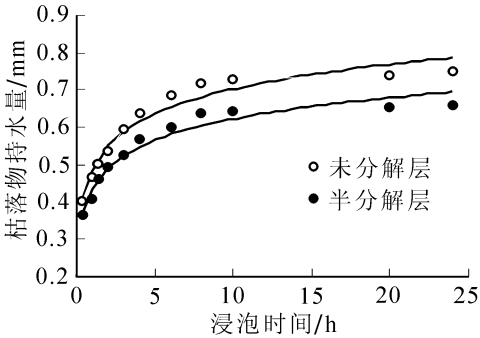


图1 枯落物持水量与浸泡时间的关系

Figure 1 Relation of the holding water of the litter form and time of marinating

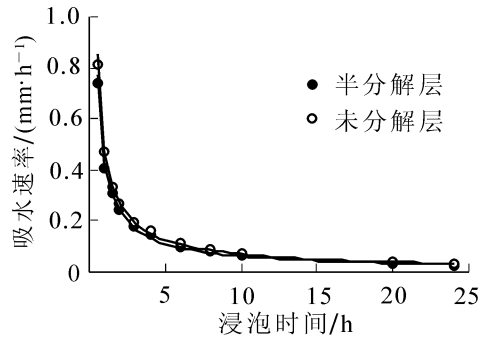


图2 枯落物吸水速率与浸泡时间的关系

Figure 2 Relation of the absord-water speed of the litter form and time of marinating

从毛竹人工林枯落物吸水速率与浸泡时间关系(图2)可以看出, 不管未分解层还是半分解层, 其吸水速率都呈下降趋势, 枯落物未分解层的吸水速率比半分解层的吸水速率大。在0.5~3.0 h, 枯落物未分解层和半分解层吸水速率下降较快, 3 h后吸水速率逐渐减缓, 20 h后吸水基本停止, 表明枯落物达到饱和状态。

### 3.4 毛竹人工林土壤水文生态效应

林地土壤是森林生态系统中最主要的水分储藏场所和调节器, 强大的蓄水和渗透能力是其水文效应的主要特征之一, 这一特征主要与土层厚度及土壤的物理特性有关<sup>[11]</sup>。由测定数据计算得出, 试验毛竹人工林0~20 cm土层的土壤容重为  $1.032 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 自然含水量为43.51%, 总孔隙度为61.05%, 毛管孔隙度为44.92%, 非毛管孔隙度为16.13%, 土壤饱和蓄水量为122.1 mm; 初渗率为  $11.9 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , 稳渗率为  $7.9 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。纵横交错的毛竹林地下鞭根系统的穿透作用及其林地枯枝落叶层等对土壤的改良作用改善了毛竹林地土壤的物理性状<sup>[4]</sup>。从毛竹人工林林地土壤入渗曲线(图3)可以看

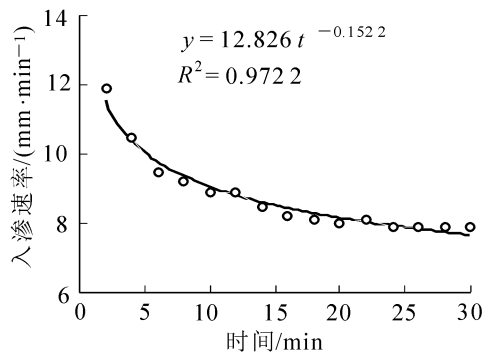


图3 毛竹人工林地土壤入渗曲线

Figure 3 The forestland soil infiltration of the artificial *Phyllostachys pubescens*

出, 0~6 min 为快速渗润期, 是入渗过程的初始阶段; 6~22 min 为渗漏期, 在此时期下渗速率由递减较快趋于稳定; 22 min 以后为稳渗期, 土壤孔隙被水分充满, 水分在重力的作用下向下做渗透运动。土壤水分入渗速率与时间呈幂函数关系。

## 4 结论

通过对 20 次降水观测, 毛竹人工林林外总降水量为 267.4 mm, 林冠截留量为 67.6 mm, 林冠截留率为 25.3%, 秆茎流量为 18.1 mm, 茎流率为 6.8%; 林内透雨量占总降水量的 68.0%。林冠截留量和秆茎流量随降雨量的增加而增加, 林冠截留率随降水量的增加而减少。

在枯落物储量上, 毛竹人工林枯落物的半分解层比未分解层所占的比例大, 这与收集枯落物的季节有关, 同时可能是由于毛竹林落叶分解较快的缘故<sup>[12]</sup>。在枯落物持水能力方面, 研究表明, 毛竹人工林枯落物层的最大持水量 (1.406 mm) 高于热带山地雨林 (0.700 mm), 接近于麻竹林 (1.39 mm)<sup>[13]</sup>, 但小于南亚热带山地季风常绿阔叶林 (3.10 mm)<sup>[14]</sup>。毛竹林枯落物最大持水率 (212.56%) 小于麻竹 (281.9%) 和南亚热带山地季风常绿阔叶林 (448.90%), 接近于热带山地雨林 (200%)<sup>[14,15]</sup>。研究还发现, 毛竹人工林枯落物未分解层的持水能力比半分解层的持水能力好。

在土壤水分物理特性上, 毛竹人工林林下 0~20 cm 层土壤容重为  $1.032 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 总孔隙度为 61.05%, 饱和蓄水量为 122.1 mm; 初渗率为  $11.9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 稳渗率为  $7.9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 22 min 后就可到达稳渗期。土壤水分入渗速率与时间呈幂函数关系。

毛竹林地枯落物层直接承受、涵蓄从林冠枝叶及竹秆流下的水分, 大大减弱了雨滴对林地的直接击溅, 保护地表免遭径流侵蚀, 具有相当大的水容量及透水性。保护好毛竹林地的枯落物层, 还可增加土壤渗透量, 使毛竹林地土壤发挥更大的透水蓄水效能<sup>[4]</sup>。有关竹林生态效应的研究在我国仍处于起步阶段, 今后应摸索适宜于竹林水文生态学研究的手段和方法, 进一步开展不同竹种多尺度范围的水土保持及小流域环境改善等生态效应发挥机制及功能研究。

## 参考文献:

- [1] 陈双林, 萧江华, 薛建辉. 竹林水文生态效应研究综述[J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 399-404.
- [2] 陈玉生, 张卓文, 韩兰, 等. 连峡河小流域不同森林类型凋落物持水特性研究[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(2): 207-212.
- [3] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 山杨林的水文生态效应研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 497-500.
- [4] 曹群根. 毛竹林水文效应的初步研究[J]. 竹类研究, 1989(2): 24-45.
- [5] 苏开君, 王光, 马红岩, 等. 流溪河小流域针阔混交林林冠降雨截留模型研究[J]. 中南林业科技大学学报: 自然科学版, 2007, 27(1): 60-63, 75.
- [6] 谢锦忠. 丛生竹笋用林水文生态功能及其土壤肥力动态[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2001.
- [7] 朱金兆, 刘建军, 朱清科, 等. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5): 30-34.
- [8] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 川西亚高山人工针叶林枯枝落叶及苔藓层的持水性能[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(3): 234-238.
- [9] 马雪华, 杨光滢. 杉木、马尾松人工林土壤物理性质及水分含量变化的研究[J]. 林业科学研究, 1990, 3(1): 63-39.
- [10] 王彦辉, 刘永敏. 江西省大岗山毛竹林水文效应研究[J]. 林业科学研究, 1993, 6(4): 273-279.
- [11] 崔鸿侠, 张卓文. 三峡库区连峡河小流域马尾松水文生态效应[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(2): 46-54.
- [12] RICHARD L. *Forest Hydrology* [M]. New York: Columbia University Press, 1985.
- [13] 谢锦忠, 傅懋毅, 马占兴, 等. 麻竹人工林水文生态效应[J]. 林业科学研究, 2005, 18(6): 682-687.
- [14] 温远光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降雨截持规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, 31(4): 289-298.
- [15] LIU S R, SUN P S, WEN Y G. Comparative analysis of hydrological functions of major forest ecosystems in China [J]. *Acta Phytocool Sin*, 2003, 27(1): 16-22.