

江西省大岗山毛竹林水文效应研究*

王彦辉 刘永敏

摘要 通过分析江西省大岗山毛竹林水文学过程,对降水及其在系统内的分配量和季节变化进行研究。结果表明:毛竹林内穿透雨和树干茎流随降雨量的增加而增大,冠层截留与降雨量呈指数关系,年平均截留率为11.1%,树干茎流率为4.4%。毛竹根系对土壤物理性质影响较大,0~60 cm 土层的总孔隙度为71.7%,林地稳渗率达8.28 mm/min。该小流域年径流系数为54.8%,地表径流仅占0.8%,壤中流占15.0%,地下径流占39.0%,显示出毛竹林地较好的涵养水源功能。

关键词 毛竹林、降水、穿透水、径流

毛竹(*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie) 秆形粗大端直,材质坚硬强韧,竹笋可食,分布在我国亚热带地区酸性土上^[1],我国现有毛竹林280万hm²,占全国竹林面积的70%,占全国森林总面积的2.1%,是我国森林资源的重要组成部分^[2]。由于毛竹林经济价值较高,具有优良的水源涵养功能和水土保持功能,其作用日益被人们所重视,毛竹林的经济效益及加工利用和速生丰产的研究较多,而对其生态效益的研究进行得较少。为此,中国林科院林研所生态室于1987年,在江西省分宜县开始了毛竹林生态系统的定位研究,本文是其中的部分内容。

1 自然概况

研究地点位于江西省分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心江下林场下垄采育队,该区年均气温17.9℃,年降水量1593.3 mm。研究流域海拔高度为445~620 m,流域面积11.7 hm²,主沟道长300 m。该流域植被类型为中度集约经营的人工毛竹纯林,密度为4100株/hm²,平均眉围33.22 cm。土壤类型为黄壤,其下基岩依次为风化板岩和较完整透水性很差的石灰岩^[3]。

2 研究内容和方法

2.1 研究内容

根据森林水文学特点,把毛竹林小流域的水文学过程的研究内容定为林外降水、林内穿

1992—06—02收稿。

王彦辉助理研究员(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);刘永敏(中国林业科学研究院分析中心)。

*本文为林业部资助课题“毛竹林生态系统的定位研究”的部分内容。中国林业科学研究院亚热带林业实验中心江下林场的袁新生、朱来牙先后负责日常观测,工作中得到马雪华、蒋有绪研究员、实验中心和林场领导的支持、帮助,在此致谢。

透水、竹干茎流、土壤物理性质、地表径流及集水区径流。

2.2 研究方法

在闭合流域中找一相对开阔地采用自记雨量计测定林冠上降水；在代表性好的林地面积(10m×10m)内随机放15个雨量筒，测定穿透水。用塑料导管将5个雨量筒分别与5棵毛竹干上环绕的汞水环相连，测竹干茎流量。

在流域内阳坡和阴坡的上、中、下部及沟间地、附近坡面和小集水区森林气象观测塔附近共设10个点测土壤水分含量及物理性质。在集水沟道出口处建三角形薄壁堰测集水区径流量，用自记水位计记录水位过程线。在与小集水区相近的坡面上，建4个径流场，面积均为10m×20m，观测地表径流。采集林地上单位面积样方内的林下植被和死地被物，进行浸水处理求其最大持水量。

3 结果与分析

3.1 毛竹林冠层对降水的再分配作用

降水首先到达林冠层，由于枝叶的吸附作用，使降水进行重新分配：一部分为林冠枝叶截留(P_a)，这部分水量最终蒸发返回大气，一部分沿枝干流下形成干流(P_s)，还有一些则通过林冠滴下及由林冠间隙穿过到达地面形成穿透水(P_t)。由于冠层的阻挡，雨水经过冠层后以较小的速度落下减轻了对林地的冲击^[4]；另一方面由于雨水在枝叶上的聚集，使落下水滴质量增大，又加大了雨滴冲击地面的动能¹⁾。无论冠层对雨滴功能的影响如何，对土壤起最大保护作用的是林下植被及枯落物层^[5]。林冠截持降水量的计算公式为：

$$P_a = P - P_t - P_s \quad (1)$$

式(1)中， P 为林冠上降雨量， P_a 为林冠截留量， P_t 为穿透水，是15个雨量筒所测雨量的算术平均值， P_s 为干流，是以冠幅面积为权重的加权平均值。

人工毛竹林一次性降雨量的分配值见表1，从表1可见，穿透率随一次降雨量级的增大而增大，截留率却随降雨的增大而减少。与18年生、立木密度为2276株/hm²的杉木林相比^[6]，毛竹林冠层截流率较小，而竹干茎流却较杉木林大10倍多。从对观测资料的分析还发现，穿透雨随降雨量的增大而增大，冠层截留量也随降雨量的增大而增大，但增大到一定值

表1 不同雨量级降雨在毛竹林内的分配 (时间：1988-05~1991-06)

一次降雨量级	林外雨 (mm)	穿透雨		竹干茎流		竹冠截留	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
0~5	4.0	3.2	80	0.1	2.5	0.6	17.5
5.1~7.5	6.2	5.0	80.6	0.2	3.2	1.0	16.1
7.6~10	8.5	6.9	81.2	0.4	4.7	1.2	14.1
10.1~15	13.5	11.3	83.7	0.6	4.4	1.6	11.9
15.1~20	16.2	13.7	84.6	0.8	4.9	1.7	10.5
20.1~30	23.1	19.8	85.7	1.2	5.2	2.1	9.1
30.1~45	35.0	30.7	87.7	1.9	5.4	2.4	6.9
>45	48.0	43.0	89.6	2.4	5.0	2.6	5.4

1) 张仰渠，雷瑞德，谢应忠. 秦岭林区华山松林的水文作用. 西北林学院印. 1987.

时则基本稳定。许多研究者^[4,7]认为冠层截留量与叶面积指数等许多因素有关,且与降水呈指数关系。本文根据实测数据统计计算的三种分配量随降雨的回归关系如下:

$$P_t = -0.99 + 0.9P \quad (r = 0.99 \quad n = 33) \quad (2)$$

$$P_s = -0.07 + 0.049P \quad (r = 0.94 \quad n = 33) \quad (3)$$

$$P_a = 3.0[1 - \exp(-0.05P)] \quad (r = 0.97 \quad n = 33) \quad (4)$$

从上述关系可以看出,毛竹林一次降雨的截留量最大不超过3.0 mm,林冠最大截留量与林冠覆被率、降水特性等多种因素有关,从对资料的分析中发现,雨强越大,冠层截留率越小。3a 平均各月的降水量及分配量见表2。表2反映了毛竹林系统水量分配的月变化,1、2月份由于降雪的影响,其冠层截留率较大,截留率最小出现在雨季(4~6月),在这时期毛竹林又处于换叶季节,减少了对降水的截留能力。其他人工林的研究结果表明,最小截留率出现在雨季^[8,9]。毛竹林的干流量较其他树种大,干流率年平均为4.4%,干流率最小值出现在1、2月,其他月份则变化不大。林内穿透雨的最小值也出现在1、2月,雨季最大。许多研究者认为穿透雨随林分密度的增加而减少。

表2 毛竹林内各月降水的分配

月 份	降雨量 (mm)	穿 透 雨		截 留 雨		干 流 量	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
1	98.0	80.0	81.6	15.2	15.5	2.8	2.9
2	147.6	118.0	79.9	25.4	17.2	4.2	2.8
3	144.5	120.9	83.7	18.0	12.5	5.6	3.9
4	272.3	233.9	85.9	25.9	9.5	12.5	4.6
5	230.0	198.5	86.3	21.5	9.3	10.0	4.3
6	235.4	202.3	85.9	21.6	9.2	11.5	4.9
7	129.2	110.6	85.6	13.0	10.1	5.6	4.3
8	130.5	110.2	84.4	14.5	11.1	5.8	4.4
9	176.1	149.4	84.8	17.7	10.1	9.0	5.1
10	67.0	56.5	84.3	7.0	10.4	3.5	5.2
11	38.0	31.7	83.4	4.5	11.8	1.8	4.8
12	19.9	16.5	82.9	2.4	12.1	1.0	5.0
合计	1 688.5	1 428.5	84.5	186.7	11.1	73.3	4.4

3.2 林下植被及枯落物对降水的截留作用

林下植被和枯落物能够保护表土层免遭雨水的冲蚀,有研究者认为在只有冠层,没有林下植被和凋落物的林区,雨水对土壤的侵蚀程度与裸地接近,而有枯落物覆盖的土壤表面侵蚀量则很少^[6]。由于人为的干扰,毛竹林的地被物破坏较大,凋落物相对较少。1991年10月在毛竹林下所测到的地被物和凋落物量分别为5 090、2 134 kg/hm²。用浸泡法测得的这两种地被物对一场降雨事件的截持能力之和仅为0.6 mm,与杉木人工林(15 860 kg/hm²和4.09 mm)和马尾松人工林(25 470 kg/hm²和5.12 mm)^[10]相比是非常低的。本文测得的毛竹林单位重量的地被物截持降雨能力与蒋秋怡^[11]的观测值是十分相近的。

3.3 毛竹林地土壤蓄水量

探讨森林的水文效应,首先应阐明森林对土壤水文特性的影响,土壤的水文特性主要是土壤的持水量和渗透能力。

1989、1990年分别测定了毛竹林流域内的土壤物理性质和渗透性能,毛竹林根系最大活动深度达60 cm,结合本区土壤情况,测定深度为0~60 cm。从表3可见,容重随土层深度的增加而变大,孔隙度则逐渐减小,尤其非毛管孔隙度的减小最为明显,这说明毛竹根系对土壤的影响很大。图1中用于对照的13年生杉木人工林和天然阔叶林均为该地区的地带性植被类型,距小流域的水平距离均小于500m,垂直距离均小于140m。图1表明,毛竹林流域0~60 cm的毛管总持水量为430.5 mm,有效贮水容量为312.73 mm,均高于杉木人工林和天然阔叶林,尤其是有效持水量比对照高28%。毛竹林流域的入渗能力比杉木人工林好得多,但没有天然阔叶林的好。三者的初渗率、稳渗率分别为29.10、8.28 mm/min, 6.48、1.85 mm/min, 48.65、18.59 mm/min。毛竹林的入渗性能也比邻近的杉木人工林和马尾松人工林的入渗性能^[10,12]好。虽然毛竹林地的非毛管孔隙度不高,但水分的渗透速度很大,这主要是因为毛竹竹鞭发达,纵横交错的活动能力很强,使表土层大孔隙增多,有利于土壤水分的下渗。在不同坡位林地的下渗率相差较大,阴坡中上部的稳渗率可达14~17 mm/min,而坡底的沟谷地只有0.9~2.5 mm/min。

表3 毛竹林地土壤物理性质

深度 (cm)	0~10	10~20	20~40	40~60	0~60
容重(g/cm ³)	0.846	0.943	0.981	1.060	0.978
总孔隙度(%)	79.62	77.05	71.62	69.78	73.25
毛管孔隙度(%)	67.69	68.12	65.97	66.40	66.76
非毛管孔隙度(%)	11.94	8.92	5.65	3.38	6.49

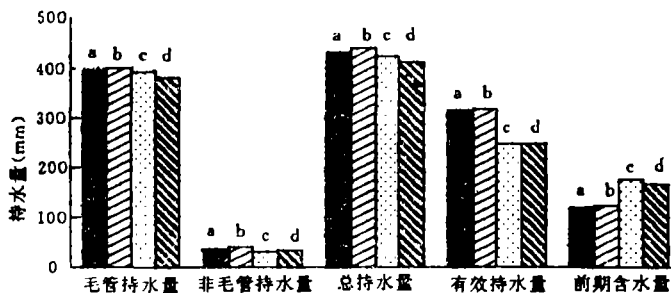


图1 不同林地0~60 cm土层持水量

- a) 毛竹林小集水区 b) 毛竹林坡面径流场
c) 杉木林坡面径流场 d) 阔叶林坡面径流场

3.4 林地径流

径流量的变化是森林涵养水源的最终体现,通过多年的观测发现,本区径流对降雨的响应较慢,虽然存在径流峰对降雨的快速响应,但从数量上分析,只占降雨量的1%以下,最大日径流出现在降雨停止后的第2~3d。这是由于毛竹林的作用使林地土壤具有较高的渗透率,再加林冠及地被物对降雨的截留,枯落物及腐殖质层阻止地表径流的发生,也正是森林涵养水源的功能所在。

通过对径流场的观测发现,毛竹林地内地表径流很少,主要发生在5~6月,根据3a的

实测资料，计算出地表径流(R_1)与降雨量(P)及降雨强度(I)的回归关系：

$$R_1 = 0.00098P + 0.073I + 0.00005 \quad (\text{复相关系数 } r = 0.687 \quad n = 35) \quad (5)$$

地表径流一般发生在降雨强度大于 0.05 mm/min ，雨量大于 20 mm ，土壤含水量较高的情况下。从观测结果中发现，在雨强较大的7、8月，林地地表径流和径流很小。这主要是因为这时期的土壤含水率较低，毛竹林生长旺盛，林地缺水容量较大，很难产生地表径流。毛竹林小集水区3a各月的降雨量与径流量见图2，从图2中可见，降雨量的变化与径流量的

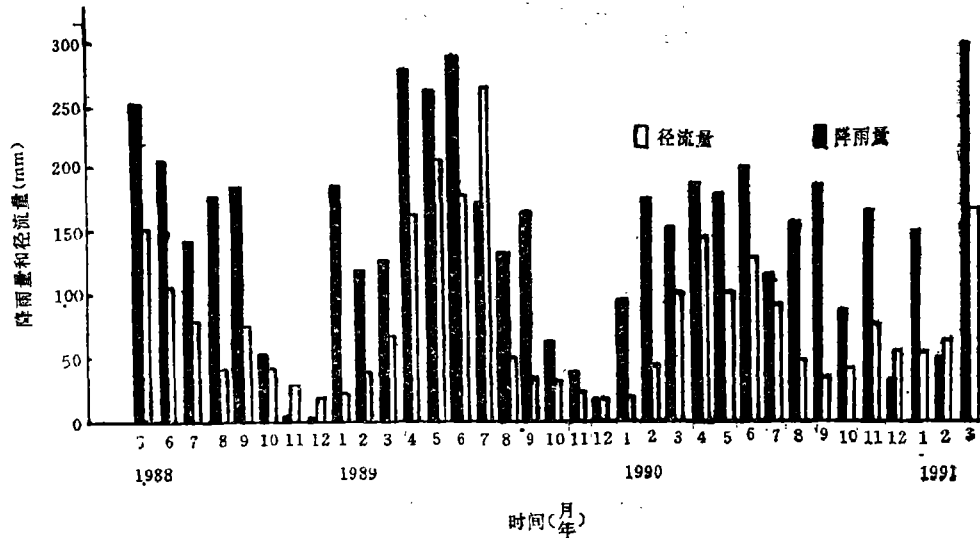


图2 毛竹林小流域径流量与降雨量的关系

变化一致，但是，径流的变化较降雨滞后，不同季节降雨量与径流量之比也不同，在8~9月及雨季前的1~2月份，降雨量与径流量相差最大，在4~7月相差最小，在个别月有时出现径流量大于降雨量的情况，如1989年7月、1990年12月。这充分说明了毛竹林对水源的

表4 毛竹林小集水区径流组成

月份	降雨量 P (mm)	总径流 R		地表径流 R_1		壤中流 R_2		地下径流 R_3	
		(mm)	R/P	(mm)	R_1/P	(mm)	R_2/P	(mm)	R_3/P
1	98.1	22.9	0.233	0.6	0.006	1.0	0.01	21.3	0.217
2	143.4	44.3	0.309	1.1	0.007	18.1	0.126	25.2	0.176
3	155.2	102.7	0.662	2.0	0.013	38.7	0.249	62.0	0.399
4	191.9	145.3	0.757	1.4	0.007	53.9	0.281	90.0	0.469
5	181.4	102.8	0.567	1.1	0.006	33.5	0.185	68.2	0.376
6	203.2	128.9	0.634	4.1	0.020	43.8	0.215	81.0	0.399
7	137.1	93.4	0.681	0.5	0.004	15.4	0.112	77.5	0.565
8	137.3	50.0	0.361	0.5	0.004	6.1	0.044	43.4	0.316
9	139.3	36.4	0.260	1.0	0.007	2.4	0.017	33.0	0.237
10	81.5	42.0	0.515	0	0	2.1	0.026	39.9	0.489
11	139.4	75.7	0.543	0.8	0.006	23	0.167	51.6	0.370
12	35.7	57.0	1.597	0	0	7.7	0.216	49.3	1.380
合计	1643.5	901.4	0.548	13.1	0.008	246.0	0.150	642.3	0.390

调节作用。从径流成分的分配上也可以看出毛竹林的蓄水能力(表4)。表4中各径流成分的划分如下:降雨当日出现的径流增量为地表径流,雨停后3d内的径流量为壤中流,其余的则为地下径流。从表4中可以看出,地表径流所占比例很小,只占年径流量的1.45%,占总降雨量的0.8%;壤中流和地下径流分别占径流总量的27.3%,71.25%。一次降雨径流的持续时间达10d以上,充分显示了毛竹林的涵养水源作用。本流域观测期内最大径流模数为2.3 mm/h,最小径流模数为0.025 mm/h。

4 结 论

毛竹林地的水源涵养能力高。由于试验区内气温高、雨量充沛,使毛竹生长旺盛,其冠层截持降水的能力较高,年平均为186.7 mm,占降雨量的11.1%。由于毛竹枝干表面光滑、坚硬,竹干茎流量年均73.3 mm,占降水的4.4%,远远高于其他树种的干流量。

毛竹发达的根系,改良了土壤的水文物理性质,使林地土壤具有很高的渗透性能,有利于降水的下渗,有利于地下径流的形成,减少了地表径流量,测试集水沟,全年无断流现象。径流成分的组成以壤中流和地下径流为主,分别占总径流量的27.3%、71.25%,大大提高了调节径流和涵养水源的能力。

参 考 文 献

- 1 侯学煜. 植物地理(下册) 中国植被地理. 北京: 科学出版社. 1988.
- 2 周芳纯. 我国竹类生产和研究的历史现状和展望. 竹类研究, 1983, 2(1).
- 3 王彦辉. 人工毛竹林土壤的水文生态效益. 竹子研究汇刊, 1990, 9(4): 40~49.
- 4 王彦辉. 陇东黄土地区刺槐林水土保持效益的定量研究. 北京林业大学学报, 1986, 8(1): 35~52.
- 5 黄秉维. 森林生态系统在水土保持中的作用. 森林与人类(特刊), 1991, 4~7.
- 6 潘维伟, 田大伦, 湛小勇. 全国森林水文学学术文集. 北京: 测绘出版社, 1989. 43~52.
- 7 刘家冈. 林冠对降雨的截流过程. 北京林业大学学报, 1987, 9(2): 140~144.
- 8 丁宝永, 张世荣, 蔡体久. 落叶松人工林水文效益的研究. 全国森林水文学学术讨论会文集. 北京: 测绘出版社, 1989. 126~133.
- 9 杨茂瑞. 亚热带杉木、马尾松人工林的林内降雨、林冠截流和树干茎流. 林业科学研究, 1992, 5(2): 158~162.
- 10 马雪华, 杨光澄. 杉木、马尾松人工林土壤物理性质及水分含量变化的研究. 林业科学研究, 1990, 3(1): 63~69.
- 11 蒋秋怡. 林地地上部分的持水性能及其对林地水文学性质的影响. 浙江林学院学报, 1989, 6(2): 176~181.
- 12 马雪华, 杨茂瑞, 刘水敏. 杉木、马尾松人工林径流特征的研究. 林业科学研究, 1992, 5(3): 284~289.

Study on Hydrological Effects in Mao Bamboo Plantations

Wang Yanhui Liu Yongmin

Abstract The water cycling of hydrological processes of *Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie plantation is analyzed in this paper. Precipitation and its allotting amount in the system and its seasonal changes are studied. The results show that: throughfall and stemflow in *P. pubescens* plantations increased with the increase of precipitation. There is an index relation between the canopy interception and precipitation. The annual canopy interception ratio of *P. pubescens* plantation is 11.1%, stemflow ratio is 4.4%. The root system of *P. pubescens* has a greater effect on soil physical properties. As for the soil layer of 0~60 cm, the total porosity is 71.7%, final infiltration ratio 8.28 mm/min. The yearly runoff ratio in the researched watershed 54.8%, surface runoff only 0.8%, interflow ratio 15.0% and underflow 39.0%, it demonstrates that there is a fairly good effect of water conservation in *P. pubescens* plantations.

Key words Mao-bamboo, precipitation, throughfall, runoff

Wang Yanhui, Assistant Professor (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091),
Liu Yongmin (The Analytical Centre, CAF).

1994年《国外林业文摘》征订启事

《国外林业文摘》是中国林科院情报所编辑、出版的林业科技情报检索刊物，收录了国外林业及有关林业的科技期刊和特种文献400余种，年报道量4200条以上，包括各国林业概况、林业基础科学、造林、园林建设、森林经营、森林保护和营林机械等内容，是国内唯一的检索国外林业文献的工具书，适合科研、教学和生产部门的林业工作者使用。

《国外林业文摘》拥有一支以教授、研究员为核心的，素质很高的文摘员队伍，他们与编辑部密切协作，精益求精，使刊物质量和信誉不断提高，受到广大读者的好评。

《国外林业文摘》为双月刊，16开，96页。每期17万字。单月23日出版。每册定价7.00元，全年定价42.00元。邮发代号82—128。欢迎读者到当地邮局订阅。

《国外林业文摘》编辑部