

鼎湖山人为干扰下马尾松林水文生态功能

莫江明¹ 方运霆¹ 冯肇年² 孔国辉¹ 孟泽¹

(1. 中国科学院华南植物研究所鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东 肇庆 526070;
2. 广东省肇庆市林业局, 广东 肇庆 526040)

摘要: 在鼎湖山马尾松林中, 林外降水量年平均为 2 209.9 mm, 其中 83.8%–84.5% 的降水集中在春夏两季, 而秋冬两季仅占 15.5%–16.2%。林外降水到达林冠重新分配, 穿透雨占了 82.7%, 林冠截留 17.2%, 茎流 0.15%。林外降水进入该生态系统后, 34% 以径流形式流出, 其余的通过蒸散形式返回大气层。林冠截留率随林外降水量的增加而减少, 但随着降水的增大, 其降幅逐渐减小。茎流率的变化与林冠截留率相似, 单株茎流量与胸径和枝下高的大小呈显著的直线关系 ($p < 0.01$), 但与林冠大小关系不明显。径流仅发生在每年的 4–10 月份, 年平均径流率为 0.34。

关键词: 鼎湖山; 马尾松; 水文生态功能

中图分类号: S715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3395(2002)02-0099-06

Ecohydrological Functions of a Human-disturbed *Pinus massoniana* Forest in Dinghushan Biosphere Reserve

MO Jiang-ming¹ FANG Yun-ting¹ FENG Zhao-nian² KONG Guo-hui¹ MENG Ze¹

(1. Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing 526070, China; 2. Forestry Bureau of Zhaoqing City, Zhaoqing 526040, China)

Abstract: The study of ecohydrological functions of a *Pinus massoniana* forest with anthropogenic disturbance was carried out in Dinghushan Biosphere Reserve, Guangdong Province, during 1997–1999. Mean annual rainfall in this pine forest was 2 209.9 mm, with 83.8%–84.5% of rainfall in spring and summer, and only 15.5%–16.2% of rainfall in autumn and winter. Of the rainfall on forest canopy, throughfall comprised 82.7%, canopy interception 17.2%, and stemflow 0.15%. There was 34% of the rainfall as runoff, and the remainder evapo-transpired. Canopy interception decreased with increase in rainfall, but such decrease was lowered with the increasing rainfall. Similar feature was observed for stemflow. Stemflow of individual tree showed linear relation with diameter breast height and with stem height under branch ($p < 0.01$), but did not relate with the size of forest canopy. Runoff appeared only

收稿日期: 2001-06-27 接受日期: 2002-01-28

基金项目: 中国科学院知识创新项目 KZCX2-407; 国家自然科学基金重大基金 (39899370); 中国科学院留学经费择优支持回国工作基金; 华南植物研究所所长基金 960808

黄忠良、张佑昌和莫定升等同志参加部分野外工作, 特此致谢。

during April to October, with mean annual runoff rate 0.34.

Key words: Dinghushan; *Pinus massoniana*; Ecohydrological function

森林水文生态功能研究不仅有助于了解森林生态系统中水分运转过程与机制,水循环对系统结构、生物地球化学循环、能量代谢和生产力的影响,而且还能有助于正确评价和认识森林的作用,为森林合理经营利用、保护自然环境和水资源以及维持人类与自然的协调统一所需生存环境的稳定提供持续发展的科学理论^[1]。马尾松(*Pinus massoniana*)分布于广东、广西、江西等十四省(区),是我国松属树种中分布最广的一种,也是我国亚热带东部湿润地区典型的针叶乡土树种。目前,马尾松林的面积和蓄积量均占全国针叶树种的首位,是我国南方最具代表性的森林类型之一^[2, 3]。然而,马尾松林经常遭人类干扰,诸如农业生产、放牧、收获凋落物和林下层植物等。在鼎湖山生物圈保护区的过渡区,当地居民每年多次来收割马尾松林的凋落物和林下层植物作燃料^[4, 5]。这无疑在一定程度上影响了马尾松林生态系统的结构和功能及其水文循环和水文功能。本文报道受人为干扰下的马尾松林水文生态功能特征,为马尾松林生态系统的管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样地概况

本研究在广东鼎湖山自然保护区进行。保护区为季风气候,年平均降雨量 1 956 mm,其中 75% 分布在 3 月到 8 月,而 12 月到次年 2 月仅占 6%。年平均温度为 21.4℃,最冷月(1 月)和最热月(7 月)的平均温度分别为 12.6℃和 28.0℃。年平均相对湿度为 80%^[6]。

保护区总面积为 1 133 hm²,其中约 10% 为马尾松林所覆盖。研究样地建于 1990 年,面积约 4 hm²,位于保护区东南角缓冲带人工种植起源的马尾松林里。在样地里,当地居民根据他们的习惯,进行收割林下层植物和凋落物的活动(一般每年 2-3 次)^[5]。样地坡度在 26.5°-34.5°之间,平均为 30°,海拔 50-250 m。森林植物以马尾松为主,还有少量的大叶桉(*Eucalyptus robusta*)。林冠稀疏,但林下层的灌木、草本、蕨类植物较稠密。林下植物以桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)等为主。样地内马尾松个体的平均高度为 6.79 ± 0.20 m,平均胸径 13.75 ± 0.63 cm,平均年龄 30.39 ± 1.34 a(最低 12.1 a,最高 65.7 a)。因此,可以推断该林分的林龄为 66 a。样地的母岩为沙岩。土壤为砖红壤性红壤,pH 值介于 4.5-5.0 之间,土层较浅(20-30 cm)^[3]。

1.2 方法

本研究采用集水区法,研究持续 3 a。集水区面积为 1.85 hm²,其边界依据自然分水岭,在收口处建有挡水墙。在集水区内林冠上方支起两个雨量筒,测定大气降水(每日 8:00 测量),另放置一只自计雨量计测定降水时间、强度和降水过程。茎流采用按径级法选测株,加权求算各径级和林分的茎流。根据样地林木调查结果,选择 20 株各径级的样木,在样木茎干上用剖开的聚乙烯管环绕,与水平面呈 30°角,管与树干空隙用橡皮泥密封,再用胶管引出至密封口的容器,雨后测量。在马尾松林里按不同坡向坡位设置 15

个承接穿透雨装置,雨后及时收集测定穿透雨量。在集水区出口处安置自计水位计记录,测定径流输出(包括地表径流和地下径流)。蒸发散根据水量平衡法计算得出 $P = E + R + \Delta S$ ^[7]。这里土壤中蓄水变化(ΔS)假设为零。林冠截留用下式计算得出: $I = P - Pt - P_s$ ^[8]。公式中: P —大气降水; E —蒸发散; R —径流; I —林冠截留量; P_t —林冠穿透雨; P_s —茎流。

2 结果和分析

2.1 林外降水

林外降水具有明显的年际和季节变化特点。年均降水量为 2 209.9 mm, 变异系数为 2.8%。其中 83.8%—84.5% 的降水集中在春夏两季, 而秋冬两季仅占 15.5%—16.2%。其季节变化大小顺序为: 夏(48.9%—57.7%) > 春(26.0%—35.4%) > 秋(7.6%—12.0%) > 冬(3.7%—7.9%)。就月际变化而言, 降水高峰期在 5—8 月份, 这三个月的降水量占了全年的 66.9%—71.9%, 而 11 和 12 月极少降水(< 3.6%), 甚至点滴未下, 可见降水的月际变化非常悬殊(图 1)。

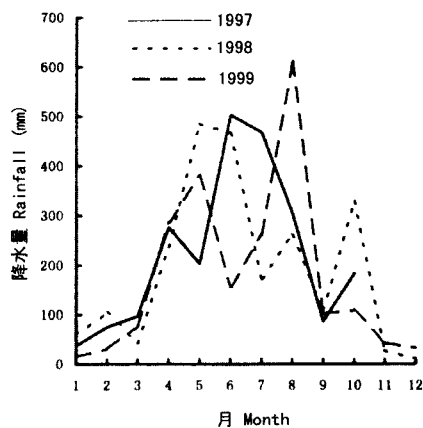


图 1 鼎湖山马尾松林林外降水月分配格局

Fig. 1 Monthly rainfall on canopy of *P. manssoniana* forest

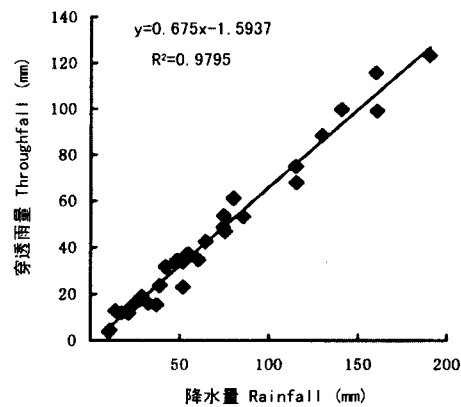


图 2 穿透雨与降水关系

Fig. 2 Relationship between throughfall and rainfall

2.2 穿透雨和林冠截留

年平均穿透雨为 1 826.9 mm, 占林外降水量的 83%, 与林外降水呈极显著的直线关系($p < 0.01$, 图 2)。

年平均林冠截留率为 17.2%, 根据观测统计, 它们之间的曲线方程为: $y = 74.704x^{-0.122}$ ($p < 0.01$)。这里 y 与 x 分别为林冠截留率(%)和降水量(mm)。林冠截留率随林外降水量的增加而减少, 但随着降水的增大, 其降幅逐渐减小。

2.3 茎流

年平均茎流量为 3.37 mm, 年际变化大, 变异系数为 46.83%。茎流量与林外降水大

小呈显著的直线关系 ($p < 0.01$)。例如,1997 年其相关方程为 $y = 36.063x - 465.69$ ($p < 0.01$, 图 3 a), 这里 y 与 x 分别为单株茎流量和降水量。然而, 茎流只有在树体表面充分湿透后, 并有持续降水且降水量大于 8 mm 时才会产生。此外, 单株茎流量还与枝下高和胸径有关, 树体越大枝下高越高, 其茎流量也大 ($p < 0.01$, 图 3b, c), 但单株茎流与冠幅的关系不明显 (图 3d)。

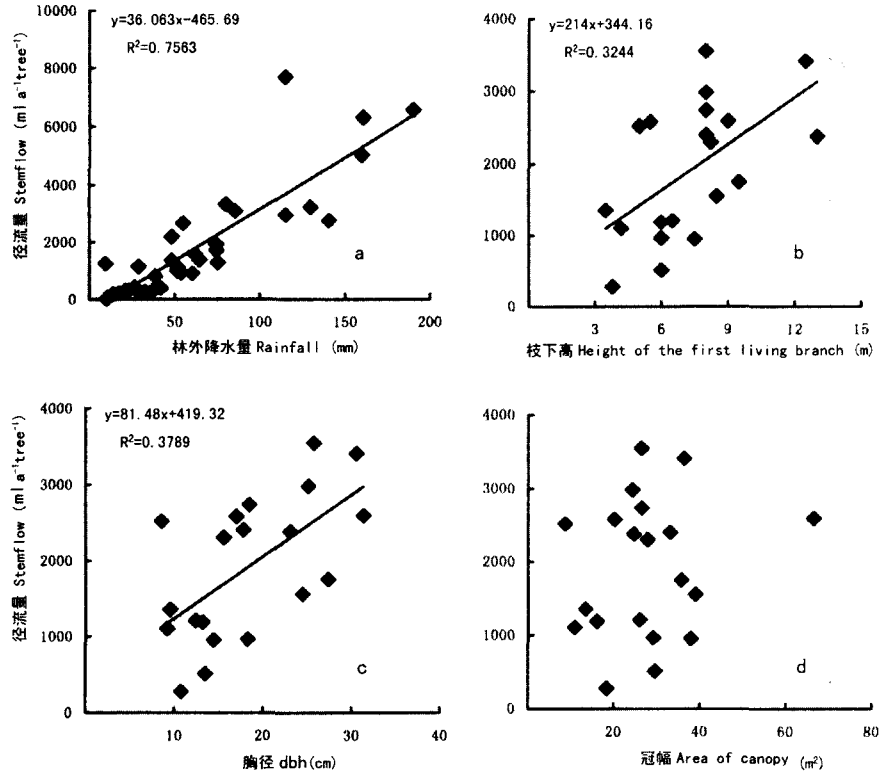


图 3 单株年茎流量与林外降水量 (a)、枝下高 (b)、胸径 (c) 和冠幅 (d) 间的关系
Fig. 3 Annual stemflow of individual tree in relation to rainfall (a), stem height under branch (b), diameter breast height (c) and canopy size (d)

2.4 径流

径流仅发生在每年的 4-10 月份, 而且在日降水量大于 30 mm 并持续降水的情况下才有径流产生。径流系数在 0.003-0.673 之间, 年平均为 0.34。绝大部分的径流集中在 4-7 月份 (90.5%), 而 8-10 月份约占 10%。

本研究林地对延迟和降低洪峰的生态作用较明显。径流的变化表现出对降水具有较强的滞后效应, 其滞后时间约为 1 d (图 4 a), 但当连续降雨时, 林分的滞流效果不明显 (图 4 b)。森林生态系统降水输入量、输出量以及系统内储存量, 三者组成系统的水量平衡。这种关系是森林生态系统调洪计算的基础。本试验林地在三年研究期间降低洪峰的最大能力为 136 mm。

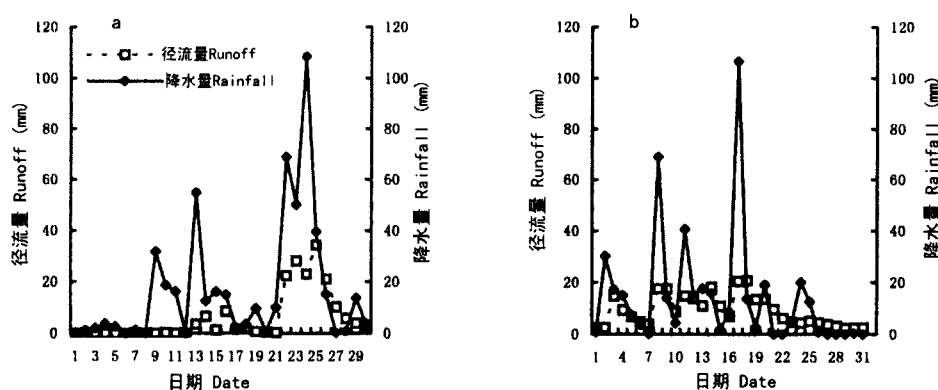


图 4 马尾松林林外降水与径流的关系(a, 1997 年 6 月; b, 1997 年 7 月)

Fig. 4 Relationship between rainfall and runoff in June (a) and July (b) in 1997

2.5 系统水量平衡

根据实地观测和统计,采用森林水分平衡法将降水作为收入,蒸散和径流的损失作为支出(其中蒸散包括林地、植物表面的单纯物理蒸发和植物生理蒸腾),得出马尾松林水量平衡。1997-1999 年平均有 2 209.9 mm 降水到达林冠,其中 82.67%以穿透雨、0.15%以茎流进入林地,然后有 34%以径流的方式流出生态系统,其余的均被蒸散掉。

3 讨论

大气降水到达林分时,降水进行重新分配:林冠截留、树干截留(通常林冠截留包括树干截留)、茎流和穿透雨。显然,降水到达林地主要通过两种形式:沿树干到达林地的茎流和通过林冠滴下及由树冠间隙直接到达林地的穿透雨。因此,大气降水、茎流和穿透雨这三者的关系及其影响因素是森林水文生态功能研究的重要内容。本文研究的结果表明,尽管穿透雨和茎流占林外降水的比例不同,但林外降水与穿透雨和茎流之间均存在显著的直线关系,这与前人的研究结果基本一致^[9-12]。

尽管单株茎流量与枝下高和胸径有关,但单株茎流与冠幅的关系不明显。众所周知,树干胸径和枝下高与树龄有关,胸径和枝下高越大则表示树龄越高,树体也越大,冠幅理应也越大。这种规律对于无人干扰的马尾松是适用的。由于本研究的马尾松林一直遭受修枝、割林下层的干扰,树体不可避免的遭到损害,从而影响了径流量与胸径、枝下高和冠幅间的关系。此外,马尾松林龄较大(66 a)。老龄马尾松虽然树体枝条伸张范围很大,但其针叶通常稀疏。文中茎流量与枝下高和胸径的关系系数低(图 3b、c)也从另一个侧面反映出来了。

虽然茎流比例很小,但因为茎流把附在树体的大量养分淋洗下来供树干基部直接吸收,在养分归还中起着重要的作用,因此近年来引起许多学者的关注^[1,11,13,14]。本研究马尾松林茎流为降水量的 0.15%,低于湖南、湖北、四川绝大多数马尾松水土保持林(0.1%-1.2%)^[8]、广西宜山的马尾松林(0.66%)^[11]、江西分宜 18 年生马尾松林(1.4%)^[11]、广州马尾松林(4.3%)^[12]和三峡库区马尾松林(1.9%)^[15]。可见,茎流率非常低。

笔者认为,森林中茎流率的高低主要与两个因素有关:(1)林分类型。刘文耀等在滇中的研究发现,常绿阔叶林的茎流率(0.5%)显著高于针叶林(0.3%)^[16]。本研究的马尾松林茎流率(0.15%)也大大低于同一地区的季风常绿阔叶林(1.8%–2.1%)^[17]。(2)林分郁闭度(密度)。黄忠良等研究表明,成熟的常绿阔叶林由于郁闭度大而结构复杂,其茎流率较幼龄林高^[17]。人工林的情况也一样,如杨茂瑞在杉木林的研究中发现,茎流率随林分郁闭度的增加而增加^[11]。如果林冠稀疏,承接林外降水表面少,林冠截留少,那么茎流量自然就少了。本研究的马尾松林茎流率明显低于其它地区的马尾松林,这可能是本研究林分郁闭度较低所致。江西马尾松林的郁闭度为0.6,其茎流率达1.4%^[11],而本研究松林因长期受人为干扰,其郁闭度仅0.2–0.4^[4, 17],因此其茎流率仅为0.15%。

可见,人为干扰致使树体遭到损害,林冠稀疏^[35, 18],影响了水循环过程中的正常现象(如茎流与冠幅关系不明显),也干扰了森林生态系统水文生态功能正常发挥(如茎流率很低)。

参考文献:

- [1] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文功能规律 [M]. 北京:中国林业出版社,1996. 3–79.
- [2] 洪利兴,王泳,杜国坚,等. 我国南方马尾松林生态系统的退化特征和改造对策研究 [J]. 浙江林业科技,2000,20(2): 1–9.
- [3] 莫江明, Brown S, 孔国辉, 等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征 [J]. 生态学报, 1999, 19(5): 636–640.
- [4] Mo J M, Brown S, Lenart M, et al. Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China [J]. *Biotropica*, 1995, 27(3): 290–304.
- [5] 莫江明, 孔国辉, Brown S, 等. 凋落物和林下层收割对鼎湖山马尾松林土壤有效氮动态的影响 [J]. 生态学报, 1997, 17(1): 109–112.
- [6] 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候 [A]. 热带亚热带森林生态系统研究, 第1集 [M], 海口: 科学普及出版社广州分社, 1982. 11–23.
- [7] Whitmore T C. Tropical rain forests of the Far East [M]. Oxford: Clarendon Press, 1984. 53–61.
- [8] 曾思齐, 余济云, 肖育檀, 等. 马尾松水土保持林水文功能计量研究 I. 林冠截留与土壤贮水能力 [J]. 中南林业学院学报, 1996, 16(4): 1–7.
- [9] Leyton I. Rainfall interception in forest and moorland [A]. In: *Int. Symp. Forest Hydrology* [C]. Oxford: Pergamon Press, 1965. 163–178.
- [10] Rutter A J. A predictive model of rainfall interception in forests I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine [J]. *Agric Meteorol*, 1971, 9: 367–384.
- [11] 杨茂瑞. 亚热带杉木、马尾松人工林的林内降雨、林冠截留和树干茎流 [J]. 林业科学研究, 1992, 5(2): 158–162.
- [12] 唐常源. 亚热带马尾松人工林的降水截留作用 [J]. 地理学报, 1992, 47(6): 545–551.
- [13] 魏晓华, 周晓峰. 三种阔叶次生林的茎流研究 [J]. 生态学报, 1989, 9(4): 325–329.
- [14] 万帅强, 陈灵芝. 东灵山地区大气降水特征及树干茎流 [J]. 生态学报, 2000, 20(1): 61–67.
- [15] 王鸣远, 王礼先. 三峡库区马尾松林分对降雨截留效应的研究 [J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(4): 74–81.
- [16] 刘文耀, 刘伦辉, 郑征, 等. 滇中常绿阔叶林及云南松水文作用的初步研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(2): 160–167.
- [17] 黄忠良, 丁明懋, 张祝平, 等. 南亚热带季风常绿阔叶林水文功能及其养分动态的研究 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 157–161.
- [18] Brown S, Lenart M T, Mo J M, et al. Structure and organic matter dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China [J]. *Biotropica*, 1995, 27(3): 276–289.