

亚热带米槠次生林和杉木人工林林冠截留特征比较

江森华^{1,2}, 吕茂奎¹, 胥超¹, 谢锦升¹, 杨玉盛¹

(1. 福建师范大学地理科学学院, 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007;

2. 闽江学院地理科学系, 福州 350108)

摘要: 通过对福建三明地区米槠次生林和杉木人工林林内穿透雨和树干茎流进行对比分析, 研究2种林分类型对降雨再分配规律的影响及其关键影响因素。在研究区2种林分内分别选取了3个20 m × 20 m标准样地, 同时设置了穿透雨和树干茎流收集装置, 每场降雨后测定相应的水量。结果表明: 研究期内年降雨量为1 706.6 mm, 米槠次生林和杉木人工林林内穿透雨量没有显著差异, 总穿透雨量分别为1 204.0 mm和1 289.9 mm, 分别占年降雨的70.6%和75.6%; 米槠次生林树干茎流量显著高于杉木人工林($p < 0.05$), 两者的树干茎流率分别为4.8%和2.7%; 米槠次生林和杉木人工林的林冠截留率分别为24.7%和21.8%。林内穿透雨量与林冠郁闭度和叶面积指数呈负相关关系, 说明林分郁闭度越高则穿透雨量越少。米槠次生林和杉木人工林林冠截留的差异主要受林冠开阔度和树皮结构的影响, 因此树种差异显著改变了森林生态系统降水再分配模式。

关键词: 森林水文; 降雨再分配; 杉木人工林; 穿透雨; 树干茎流

中图分类号: S715.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)01-0116-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.01.020

Study on the Canopy Interception of Secondary Forest of *Castanopsis carlesii* and Chinese Fir Plantation in Subtropical China

JIANG Miaohua^{1,2}, LÜ Maokui¹, XU Chao¹, XIE Jinsheng¹, YANG Yusheng¹

(1. Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007; 2. Department of Geography, Minjiang University, Fuzhou 350108)

Abstract: This study was aimed to determine the effects of forest types on characteristic of rainfall partitioning and its key factors. The yield of throughfall, stemflow in two forest types (secondary forest of *Castanopsis carlesii* and Chinese fir plantation) were measured based on field survey in Sanming, Fujian. We selected 3 sample plots (20 m × 20 m) in each forest, and the yield of throughfall and stemflow was measured in the field after each rainfall. Our results indicated that the annual precipitation was 1 706.6 mm, and there was no significantly difference between the yield of throughfall in secondary forest (1 204.0 mm, 70.6% of gross precipitation) and Chinese fir plantation (1 289.9 mm, 75.6% of gross precipitation). The yield of stemflow in secondary forest (4.8% of gross precipitation) was significantly higher than that in Chinese fir plantation (2.7% of gross precipitation). The canopy interception rate was 24.7% and 21.8% of gross precipitation in secondary forest and Chinese fir plantation, respectively. In addition, the yield of throughfall was negative correlated to the canopy density and leaf area index (LAI), suggesting the forest with higher canopy density and LAI lead to low throughfall yield. These results indicated that the difference of rainfall partition in secondary forest and Chinese fir plantation were influenced by the different canopy openness and tree bark structure of the two forests. Thus tree species could significant alter the patterns of rainfall partitioning.

Keywords: forest hydrology; rainfall redistribution; Chinese fir plantation; throughfall; stemflow

陆地生态系统的水分输入来自降水,降水的过程及其特征是森林水文循环研究不可或缺的阶段^[1]。降水量、降水强度、降水历时、降水间隔时间及降水动能均能显著影响森林生态系统的水文循环过程。已有的大量研究探讨了不同的降水特征与森林水文循环的关系^[2-4]。已有研究表明,森林对水文的调节作用存在一定的阈值范围,当降水量超过其起调节作用的上界时,有林地与无林地同样发生自然灾害^[5]。降水强度与降水动能常常在土壤侵蚀上起着重要的影响,强度越大的降水其动能越大,对地表的侵蚀作用越明显^[2]。这些都影响森林生态系统的水文循环及其过程,尤其是极端降雨事件下的水文循环过程倍受人们关注。

过去许多研究探讨了森林砍伐对水文过程的影响,如被砍伐过的森林与未干扰的森林对比^[6-7]。如今,许多被砍伐的原始森林长成了次生林或者被人工林所取代,但次生林与人工林两者间的水文过程变化与区别尚未得到充分的诠释。特别是在中国南方,大面积的常绿阔叶林砍伐后被杉木人工林所取代,如此大面积的土地利用变化对水文过程带来什么样的影响亟待解决。

福建是我国重要的商品林经营基地,森林采伐及采伐后的整地造林是较为普遍的营林措施,而森林更新后所引起的土壤扰动和降水再分配的改变可能会造成更严重的地表径流和水土流失^[3,8-9]。然而很少有研究探讨该区森林经营方式与森林水文效益之间的关系。要彻底掌握森林更新带来的生态影响,急需探讨森林更新后次生林和人工林之间的水文差异^[9-10]。因此,本文通过分析中亚热带米槠次生林和杉木人工林的大气降水、穿透雨和树干茎流量变化规律,探讨不同森林生态系统水文过程差异及其影响因素,以期预测未来气候变化和极端降雨对森林生态系统的影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地设在福建师范大学福建三明森林生态系统与全球变化研究站暨三明陈大观测点(26°19' N, 117°36' E),距离三明市区约12 km。本研究区属于中亚热带季风气候,年均温19.1℃,年均降水量1770 mm,降雨季节主要集中在3—8月份。

米槠次生林由天然林在1976年经过强度择伐后封山育林演替形成。主要树种有米槠(*Castanopsis carlesii*)约占80%、闽粤栲(*Castanopsis fissa*)约占6%、黄丹木姜子(*Litsea elongata*)、新木姜子(*Neolitsea aurata*)等。灌木层以木荚红豆(*Ormosia xylocarpa*)、

褐毛石楠(*Photinia hirsuta*)、罗浮栲(*Castanopsis fabri*)等种类。草本主要由狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、黑莎草(*Gahnia tristis*)、千金子(*Leptochloa chinensis*)等组成。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林为1976年次生林皆伐后人工营造的纯林。杉木林林冠单层,林下植被主要以狗骨柴(*Diplospora dubia*)、毛冬青(*Ilex pubescens*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)为主。米槠次生林林分郁闭度相对高于杉木人工林。具体样地基本概况见文献^[11]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 于2012年10月在米槠次生林和杉木人工林内分别设置3个20 m × 20 m的固定样方,然后在每个样方内布设林内穿透雨和树干茎流收集装置^[11]。穿透雨收集:分别在每块样地内随机布设12个内径65 cm的漏斗形装置,下端连接内径30 cm,高60 cm的自制雨量收集装置。树干茎流收集:在每块样地内按照径级法来选择不同径级的标准木,按照胸径为4~8,8~12,12~16,16~20,20~24,24~28,28 cm以上分成7个径级(杉木为6个径级,无28 cm以上径级),每个径级选择3棵标准木。此外,米槠次生林中的其他树种采用平均标准木法,根据树种重要值选取4棵标准木作为观测对象。树干茎流采集器由内径2.5 cm长约150 cm的聚乙烯管以及盛水容器组成,在树干约1.3 m处用聚氯乙烯胶管蛇形环绕树干,蛇形管末端接密封口的容器(与穿透雨收集器大小相同)。在林外空旷地布设一个小型气象站(RR-1008),同时安放3个大气降水收集装置用于降水量校正及水样采集。

1.2.2 野外数据采集 于2012年12月—2013年11月,每次降雨后,手动测量穿透雨和树干茎流收集装置中的水量并记录;降雨数据由小型气象站采集。

1.2.3 冠层郁闭度和叶面积指数的获取 在各个自制雨量筒和承雨槽的正上方,利用Nikon公司生产的鱼眼数码相机(D80)获取米槠次生林和杉木人工林林冠层的半球图像,用于提取其冠层郁闭度和叶面积指数。本文采用赵传燕等^[12]的调整系数法对其进行校正,冠层郁闭度=(1-冠层开阔度)×100%。

1.2.4 数据计算与处理 树干茎流量 S (mm)的计算公式为^[13]:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times M_i}{S_p \times 1000}$$

式中: n 为树干茎级数; C_i 为观测的径级为 i 的平均树干茎流体积(ml); M_i 为径级为 i 的树木株数; S_p 为样地面积(400 m²)。

林冠截留量的计算,采用水量平衡法计算林冠截留量(I, mm),公式为:

$$I=P-(T+S)$$

式中: P 为林外降雨量; T 为穿透雨量(mm); S 为树干茎流量(mm)。

所有数据处理和统计分析在 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件下进行。观测期内一共收集了 47 场降雨,方差分析采用 LSD 和 t 检验法,用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相关关系,显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 大气降雨变化特征

通过分析气象站所观测的降雨数据可知,本研究区 2012 年 12 月至 2013 年 11 月累积降雨量为 1 706.6 mm。从降雨的分配模式来看,降雨主要集中于 3—8 月(图 1a),也就是本研究区的雨季;而且 5—8 月份降雨量占总降雨量的比例较大,占年降雨量的 57.5%。从不同降雨量的场次分配来看,累积降雨量为 0.0~10.0 mm 的占总降雨场次的 4.3%,累积降雨量为 10.0~25.0 mm 的占总降雨场次的 38.3%,累积降雨量为 25~50 mm 的占总降雨场次的 29.8%,累积降雨量为 50~100 mm 的占总降雨场次的 25.5%,降雨量 100 mm 以上的只有一场。

2.2 米楮次生林和杉木人工林穿透雨特征

从图 1b 可以看出,林内穿透雨量月变化差异较大,且与林外降雨量呈现相同的变化趋势,也就是说降雨量越大,穿透雨量也越大。通过分析米楮次生林和杉木人工林各月份的穿透雨量发现,2 种林分穿透雨量仅在 1,4,7,8 月份存在显著差异($p<0.05$)。通过整体分析发现,在观测期内米楮次生林穿透雨总量低于杉木人工林,但无显著差异($p>0.05$),两者年内总穿透雨量分别为 1 204.0 mm 和 1 289.9 mm,净穿透率分别为 70.6%和 75.6%(表 1)。已有研究表明,一般穿透雨量占降水量的 27.0%~96.6%^[14-15],不同地区、森林类型、树种穿透雨都明显不同。另外,不同降雨条件下,林内的雨水和养分的分配模式也显著不同^[16-17]。米楮次生林和杉木人工林最小穿透率分别为 40.1%和 44.1%,最大穿透率分别为 83.0%和 91.2%。2 个林分最小穿透率均发生在降雨量小于 10 mm 时,但发生最大穿透率的降雨量存在差异,且降雨量在 50 mm 以上,这主要是因为米楮次生林和杉木人工林的林分结构特征差异大(如林分郁闭度和叶面积指数)(图 2 和图 3),以及林内降雨不同分量的发生情况都存在一定差异性。

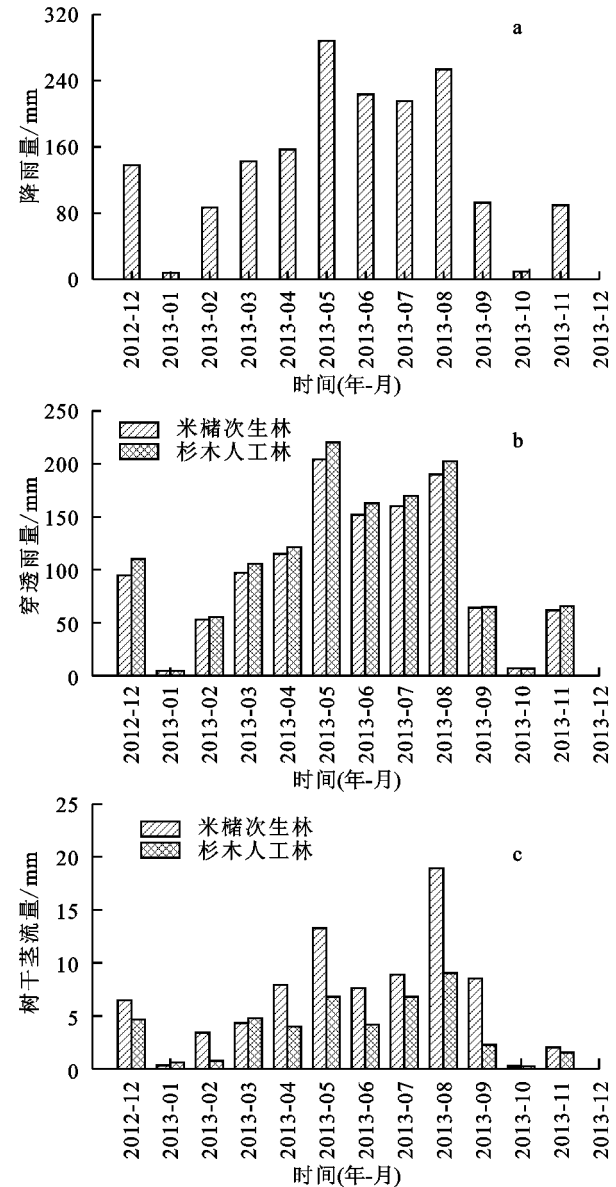


图 1 大气降水、穿透雨和树干茎流的月变化

表 1 2 种林分的林内穿透雨、树干茎流和截留率

指标	米楮次生林	杉木人工林
降雨量/mm	1706.6	1706.6
穿透雨量/mm	1204.0±102.25a	1289.9±60.32a
穿透率/%	70.6±5.99a	75.6±3.53b
树干茎流量/mm	81.9±4.91a	45.7±2.26b
树干茎流率/%	4.8±0.42a	2.7±0.13b
截留量/mm	420.7±96.41a	372.4±58.12b
截留率/%	24.7±7.70a	21.8±6.11b

注:同行不同小写字母表示两种林分之间差异显著($p<0.05$)。

根据降雨量大小,将收集到的 47 场有效降雨分为 4 个等级,即<10,10~25,25~50,>50 mm。同一降雨量等级的数据由不同场次的林内穿透雨量取平均值得到。图 2 和图 3 展示了不同降雨量级下,米楮次生林和杉木人工林林内穿透雨量与林冠层郁闭度和叶面积指数相关关系。由图 2 可以看出,2 种林分林内穿透雨量随着降雨量增大而增大,而且林冠层郁闭度在不同降雨量等级条件下对两种林分穿透雨的影响差异较大。米楮次

生林林内穿透雨量与林冠郁闭度呈负相关关系,随着降雨量增大,相关程度也逐渐增大($0.204 < R^2 < 0.465$)。也就是说米槠次生林林冠郁闭度越高,林内穿透雨越小。说明米槠次生林叶面积指数和郁闭度是影响林内穿透雨量空间分异的主要因素。当降雨量较小时,米槠次生林林冠郁闭度和叶面积指数对林内穿透雨量的影响较小。因为降雨量越小,米槠次生林林内穿透雨量与郁闭度和叶面积指数的相关性越小。这与田风霞等^[18]在祁连山研究青海云杉的结果并不一致,他们发现当降雨量较小时,林内穿透雨更容易受林冠郁闭度和叶面积指数的影响,随着降雨量增加,穿透雨与林冠郁闭度和叶面积指数的相关性逐渐减小。相反,除降雨量等级为 25~50 mm 外,杉木人工林林内穿透雨量与林冠郁闭度虽然略呈正相关关系(图 2 和图 3),但关系均较弱。可能是因为杉木属于针叶树种,其叶片对雨水的截留作用明显不同于阔叶树种。国内也有研究发现降雨量大于 10 mm 后,祁连山青海云杉林内穿透雨量与叶面积指数呈现正相关关系^[18]。

从图 3 可以发现,在不同降雨量等级条件下,米槠次生林林内穿透雨量与叶面积指数呈负相关关系,

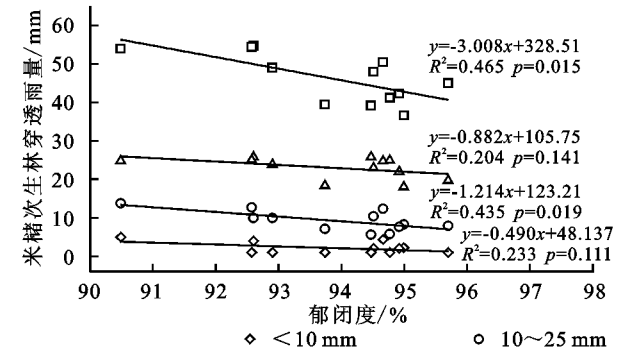


图 2 不同降雨量级下林内穿透雨量与林冠郁闭度的相关关系

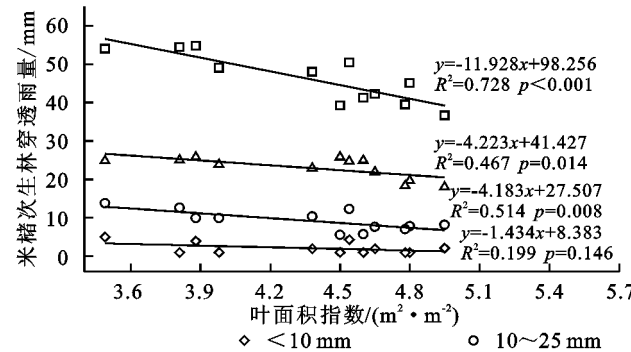


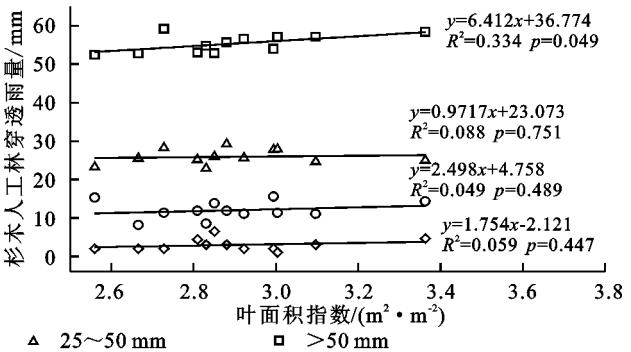
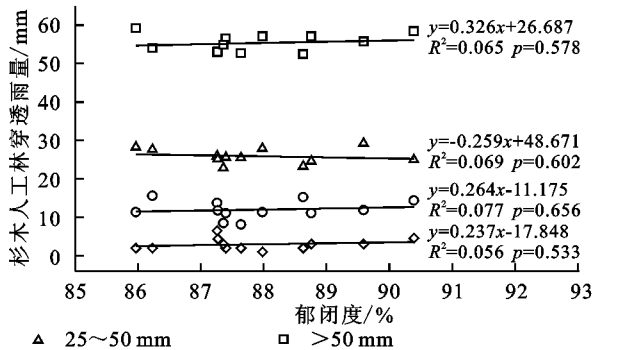
图 3 不同降雨量级下林内穿透雨量与叶面积指数的相关关系

表 2 降雨量与林内穿透雨、树干茎流的线性回归系数

项目	林型	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>R</i> ²	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>P</i> -value
穿透雨	米槠次生林	-3.660±0.830a	0.803±0.018a	0.978	1894.7	46	<0.001
	杉木人工林	-2.601±0.873b	0.823±0.019a	0.989	1799.1	46	<0.001
树干茎流	米槠次生林	-0.160±0.327a	0.095±0.007b	0.802	170.5	46	<0.001
	杉木人工林	-0.462±0.139b	0.040±0.003b	0.795	162.8	44	<0.001

注:同列不同小写字母表示 2 种林分之间差异显著($p < 0.05$)。

随着降雨量增大,相关程度越高($0.199 < R^2 < 0.728$),降雨量大于 10 mm 时,均达到显著相关水平($p < 0.05$)。杉木人工林林内穿透雨量与叶面积指数呈正相关关系,同样随着降雨量增大,相关程度也逐渐变高($0.049 < R^2 < 0.334$),但仅有降雨量大于 50 mm 以上时,才达到显著相关水平($p = 0.049$)。说明米槠次生林和杉木人工林林冠降雨分配的影响过程明显不同。米槠次生林和杉木人工林林内穿透雨量与降雨量呈极显著相关关系(表 2)。通过对比系数 *b*,可以发现米槠次生林显著低于杉木人工林($p < 0.05$),说明当降雨量越小,2 种林分林内穿透雨量差异显著。Keim 等^[26]研究发现穿透雨的空间变异与林冠结构的关系在叶面积指数大于 4 的林地内密切相关,而在叶面积指数小于 4 的林地内关系较弱或者不相关。从图 2 和图 3 可以看出,米槠次生林和杉木人工林的林冠郁闭度分别为 90%~96%和 85%~91%;叶面积指数分别为 3.3~5.4 m²/m²和 2.2~3.4 m²/m²。由此可见,林冠郁闭度和叶面积指数是米槠次生林和杉木人工林林内穿透雨特征差异的关键影响因素。



2.3 米楮次生林和杉木人工林树干茎流特征

通常情况下,树干茎流量占总降雨量的比例仅 0.12%~13.1%^[19]。不同树种组成和不同区域的森林树干茎流率存在显著差异^[20]。本研究发现,米楮次生林和杉木人工林树干茎流率分别为 4.8%和 2.7%。影响树干茎流的因素包括树高、胸径、树冠面积和林冠郁闭度^[21],树干茎流的产生与树木的胸径、树高和冠幅等均有密切关系^[22]。回归分析结果表明,在不同降雨等级条件下,米楮次生林和杉木人工林树干茎流量与树木胸径和林冠冠幅呈对数函数相关关系。随着降雨量增加,米楮次生林和杉木人工林树干茎流量与胸径的相关性也逐渐增加,两者的这种相关系数(R^2)分别从 0.284~0.690 和 0.421~0.636,同时显著性也逐渐增加(表 3)。同样地,米楮次生林和杉木人工林树干茎流量与冠幅的相关性也随着降雨量增加而增加,两者的这种相关系数(R^2)

分别从 0.249 增加到 0.643 和 0.401 增加到 0.454,相关性也逐渐增加(表 3)。说明胸径和冠幅控制着树干茎流量的大小。此外,米楮次生林树干茎流量显著高于杉木人工林,这是因为米楮和杉木的树枝倾角、树皮特征的差异所引起的,米楮分枝斜向上生长,与水平夹角较大,这样就能汇集更多的雨水,导致大部分的雨水要通过树干才到达地表;而杉木分枝主要以水平生长为主,对雨水的汇集能力较差,而且其树皮深裂多孔,极易吸附雨水。

通过分析 47 场降雨数据发现,米楮次生林和杉木人工林发生树干茎流所对应的最小降雨量明显不同。米楮发生树干茎流的最小降雨量为 7.0 mm,而杉木发生树干茎流的最小降雨量为 11.0 mm。随着降雨量变大树干茎流量也逐渐增加,米楮次生林和杉木人工林树干茎流量与降雨量均呈极显著相关关系(表 2)。这与以往的研究结果一致^[23-24]。

表 3 不同降雨量级下树干茎流量与树木胸径和林冠冠幅的回归关系

林型	降雨量级/mm	回归方程	<i>n</i>	R^2	<i>P</i> -Value
米楮次生林	<10	$\lg(S)=0.036\lg(D)-0.484$	18	0.284	0.014
	10~25	$\lg(S)=0.032\lg(D)+0.232$	18	0.490	0.001
	25~50	$\lg(S)=0.036\lg(D)+0.604$	18	0.584	<0.001
	>50	$\lg(S)=0.033\lg(D)+1.010$	18	0.690	<0.001
	<10	$\lg(S)=0.146\lg(C)-0.530$	18	0.249	0.034
	10~25	$\lg(S)=0.144\lg(C)+0.138$	18	0.515	0.001
	25~50	$\lg(S)=0.158\lg(C)+0.506$	18	0.601	<0.001
	>50	$\lg(S)=0.139\lg(C)+0.949$	18	0.643	<0.001
杉木人工林	<10				
	10~25	$\lg(S)=0.039\lg(D)-0.685$	18	0.421	0.004
	25~50	$\lg(S)=0.035\lg(D)-0.172$	18	0.548	<0.001
	>50	$\lg(S)=0.040\lg(D)+0.266$	18	0.636	<0.001
	<10				
	10~25	$\lg(S)=0.326\lg(C)-0.950$	18	0.401	0.005
	25~50	$\lg(S)=0.263\lg(C)-0.339$	18	0.441	0.003
	>50	$\lg(S)=0.283\lg(C)+0.124$	18	0.454	0.002

注:回归方程中 *D* 表示树木胸径,*C* 表示冠幅;没有回归方程的表示该降雨量级下无树干茎流产生。

2.4 米楮次生林和杉木人工林林冠截留规律

一般而言,不同树种或森林类型林冠截留率明显不同,大多研究认为针叶林的截留率通常大于阔叶林,主要是因为簇壮的针叶更容易吸持雨水^[1]。然而,本研究观测期间,米楮次生林和杉木人工林的林冠截留总量分别为 420.7 mm 和 372.4 mm,占年降雨量的 24.7%和 21.8%(表 1)。米楮次生林林冠次降雨最小截留率和最大截留率分别为 8.9%和 81.8%,杉木人工林林冠最小截留率和最大截留率分别为 7.4%和 55.6%,2 个林分的平均截留率分别为 32.5%和 25.3%。由此可见,米楮次生林的林冠截留显著高于杉木人工林,这主要受 2 林分的林冠郁闭度、叶面积指数及树种特征的影响。

影响林冠截留因素很多,主要包括气象因素:降雨量、降雨强度、空气饱和差、温度和风速,及林分特征因素:郁闭度、冠层厚度、叶面积指数、枝叶表面持

水特性^[2,4]。已有研究发现,林冠截留量与叶面积指数关系十分密切,而且枝叶吸水性能也影响林冠截留量^[4]。从林冠截留量与降雨量的关系来看,随着降雨量增加,截留量逐渐增大,当降雨量增加到一定程度时,截留量的增幅减小。通过回归分析发现,米楮次生林和杉木人工林林冠截留量与降雨量呈对数回归关系,且均达到极显著水平($p<0.001$,图 4)。相反,米楮次生林和杉木人工林林冠截留率与降雨量之间呈幂函数负相关关系。也就是说,随着降雨量逐渐增加,林冠截留率反而越小,到一定降雨量时,减小的幅度也减小(图 5)。这是因为林冠截留能力是有限的,当超过了林冠截留的最大值,林冠就不在会截留雨水,仅以穿透雨和树干茎流的方式进入林内。

不同区域的森林林冠截留能力存在差异,巩合德等^[25]研究了云南哀牢山常绿阔叶林的林冠截留率

为 15.8%,杨东山常绿阔叶次生林的林冠截留率为 21.0%,这说明林冠截留率与其所处的演替阶段有较

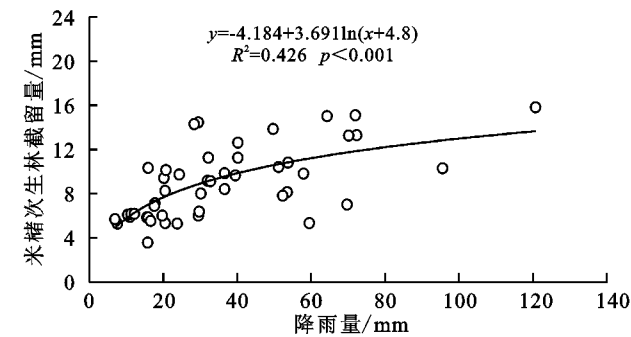


图 4 米楮次生林与杉木人工林截留量与降雨的回归方程

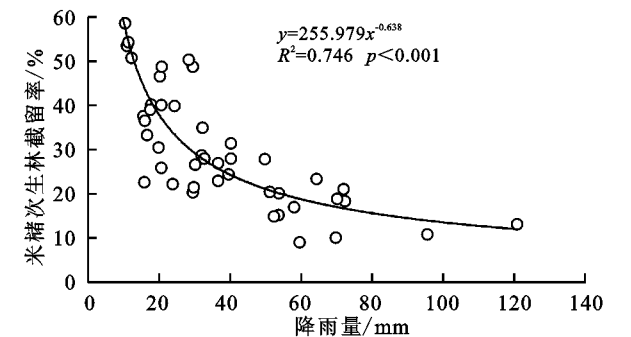


图 5 米楮次生林与杉木人工林截留率与降雨的回归方程

4 结 论

(1)观测期内,研究区年降雨量为 1 706.6 mm,降雨主要集中于 3—8 月份。米楮次生林穿透雨量(1 204.0 mm),相对低于杉木人工林(1 289.9 mm),分别占降雨的 70.6%和 75.6%,但二者无显著差异。

(2)米楮次生林穿透雨量与林冠郁闭度和叶面积指数呈显著负相关关系,而杉木人工林穿透雨与林冠郁闭度和叶面积指数无线性关系;而且米楮次生林郁闭度和叶面积指数均高于杉木人工林。因此说明米楮次生林穿透雨大小受其林冠结构的影响较大。

(3)米楮次生林树干茎流量显著高于杉木人工林($p<0.05$),米楮次生林树干茎流量是杉木人工林的 1.8 倍,树干茎流率分别为 4.8%和 2.7%;米楮次生林和杉木人工林的林冠截留率分别为 24.7%和 21.8%;说明米楮次生林和杉木人工林对降雨再分配作用存在明显的差异。

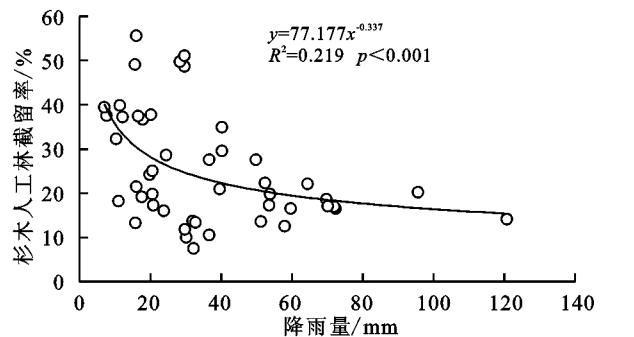
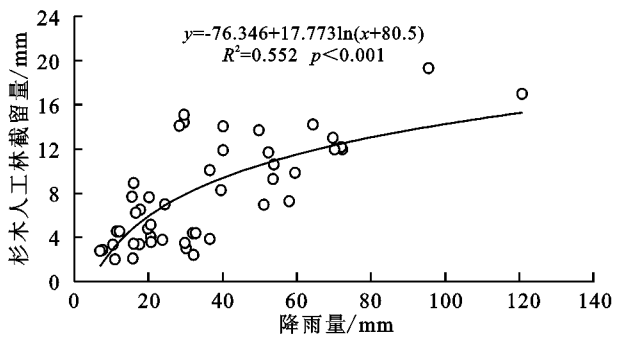
参考文献:

[1] André F,Jonard M,Ponette Q. Influence of species and rain event characteristics on stemflow volume in a temperate mixed oak-beech stand[J]. Hydrological Processes,2008,22(6):4455-4466.

[2] Oliveira P T S,Wendland E,Nearing M A. Rainfall erosivity in Brazil: A review[J]. Catena,2012,100(2):139-147.

[3] Peng T,Wang S J. Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in

大关系^[20],同时也说明中亚热带米楮次生林和杉木人工林林冠截留能力处于中等水平。



southwest China[J]. Catena,2012,90(3):53-62.

[4] 宝虎,刘殿国,赵鹏武,等. 大兴安岭南段白桦林降雨再分配特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(2):82-87.

[5] Zheng H,Chen F,Ouyang Z,et al. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China[J]. Journal of Hydrology,2008,356(1/2):174-184.

[6] D'Almeida C,Vorosmarty C J,Hurt G C, et al. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: A review on scale and resolution[J]. International Journal of Climatology,2007,27(5):633-647.

[7] Bãse F,Elsenbeer H,Neill C,et al. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil[J]. Agriculture Ecosystems and Environment,2012,159(15):19-28.

[8] Miyata S,Kosugi K,Gomi T,et al. Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests[J]. Water Resources Research,2009,45(6):W06402.

[9] Siti A S,Yusop Z,Noguchi S,et al. Rainfall partitioning in a young *Hopea odorata* plantation[J]. Journal of Tropical Forest Science,2012,24(2):147-161.

[10] Limin S G,Oue H,Sato Y,et al. Partitioning rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in clove (*Syzygium Aromaticum*) plantation in upstream saba river basin, bali[J]. Procedia Environmental Sciences,2015,28(7):280-285.