林业科学研究 2002,15(1):13 20
Forest Research

文章编号: 1001-1498(2002)01-0013-08

大岗山人工针阔混交林与常绿阔叶林水文动态变化研究

王 兵[1], 崔相慧[1], 白秀兰[1], 夏良放[2], 李江南[2], 陈仲庐[2]
(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091;
2. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心,江西 分宜 336600)

摘要: 采用定位观测方法与小集水区试验技术方法,利用 1 6 月份观测数据,从土壤水分、坡面径流、集水区径流量等方面对大岗山地区人工针阔混交林、天然常绿阔叶林典型森林集水区的森林水文月动态变化规律进行了研究。结果表明: (1) 人工针阔混交林森林土壤水分最大值(51.8 mm)出现在 5 月份,最小值(33.2 mm)出现在 3 月份,且垂直变化幅度不大。(2) 坡面径流量月变化较大,与一次性降水有密切关系,可用指数式 $y = 0.126\,6e^{0.050\,2x}$表示。(3) 与人工针阔混交林相比,天然常绿阔叶林具有较强水土保持能力和显著水源涵养作用。

关键词: 江西大岗山;森林水文;集水区;土壤水分;径流
中图分类号: S715.1 **文献标识码**: A

森林水文特征是森林生态系统定位研究的主要内容之一,不断揭示和发现各地区森林水文的动态变化规律具有重要意义。大岗山位于中亚热带,该地区不同森林植被类型小集水区的土壤水分、坡面径流以及小集水区径流动态变化具有一定代表性。本文通过定位研究典型森林植被类型集水区森林水文的动态变化规律,不仅对充分发挥和增强该地区森林生态系统的水文生态功能具有重要作用,而且为正确评价小流域森林水文生态效益和科学经营管理该地区森林资源提供了理论依据。

1 研究地区概况

研究地位于江西省分宜县中国林科院亚热带林业实验中心的年珠林场,114°30′ 114°45′E,27°30′ 27°50′N。江西大岗山属罗霄山脉北端的武功山支脉,主要山脊线呈南北走向,地势西高东低,地形起伏较大,相对高差达 1 000 m,最高峰海拔 1 091.8 m。

该地区气候温暖湿润,属亚热带季风湿润类型。年平均气温在 15.8 17.7 ℃,1 月份平均最低温度为 - 5.3 ℃,日最低温度为 - 8.3 ℃,7 月份平均最高温度为 28.8 ℃,日最高温度为 39.9 ℃。年平均降水量为 1 591 mm,降水主要集中在 4 6 月,年平均蒸发量为 1 503 mm。

本区属地带性低山丘陵红壤、黄壤类型及其亚类的分布区,随地形变化,形成不太明显的垂直地带谱,即由低海拔至高海拔,依次为红壤、黄红壤、红黄壤、黄壤、黄棕壤。黄壤分布最

收稿日期: 2001-08-22
基金项目: 国家基础性研究项目"大岗山国家级森林生态系统定位研究"(2001 2005)内容之一
作者简介: 王兵(1965-),男,辽宁西丰人,副研究员,在职博士生.

广,分布海拔为 300 700 m,土质疏松、肥沃湿润、腐殖质层较厚;红壤多分布于海拔 200 m 以下的低山丘陵,土质深厚粘重,土壤侵蚀严重,表土腐殖质含量较低。母岩主要有砂页岩、千枚岩、板(页)岩和花岗岩,成土母质多为残积型和坡积型。

天然常绿阔叶林是中亚热带的地带性植被,也是本地区天然林演替系列的顶极群落。但由于长期严重的人为干扰,地带性植被已破坏殆尽,现在的各种植被类型主要有天然次生常绿阔叶林、落叶阔叶林、各类针阔混交林、毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) Lehaie.)林以及大面积杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)人工林。植被的垂直分布特点不很明显,天然常绿阔叶林主要分布在海拔 600 m 以下,针阔混交林和杉木人工林主要分布在海拔 800 m 以下,大多也都在 600 m 以下[1]。

2 研究方法

采用 CNC503DR 型智能中子水分仪、坡面径流场等定位观测方法与小集水区试验技术方法,自 2001 年 1 月到 6 月,对大岗山地区人工针阔混交林(面积 2.2 hm^2)与天然常绿阔叶林(面积 5.0 hm^2)典型森林集水区(试验沟)的水文状况进行观察测定,具体测定方法如下[2]:

2.1 土壤水分含量测定

在人工针阔混交林小集水区林地,每月 5、20 日按 0 10、10 20、20 30、30 40、40 60 cm 5 个层次采集土样,每层取 3 个重复,采用中子水分仪法与烘干称重法同时进行测定,计算土壤含水率及土壤含水量。

2.2 小集水区径流量测定

采用并行流域试验法,选择地形、地质、土壤、气象等条件相似的人工针阔混交林和天然常绿阔叶林小集水区(实验沟),分别在 2 个集水区内设置坡面径流场,其中人工针阔混交林集水区中面积为 100 m^2 径流场 5 个,天然常绿阔叶林集水区中面积为 200 m^2 径流场 2 个,用于观测小集水区坡面径流的大小;在集水区内各设三角型测流堰一座(人工针阔混交林中三角型堰顶角为 60°,天然常绿阔叶林中三角型堰顶角为 45°),根据自计水位计测出的水位变化,测算集水区径流量。

2.3 气象要素观测

在研究地区设有海拔 300 m 和 800 m 标准常规气象观测场 2 座,测定内容包括大气温度、大气湿度、降水、蒸发、气压、日照、风速、风向等,其中降水量使用国内先进的 CR2 型自动雨量仪和人工观测相结合进行测定。

3 土壤水分含量动态变化

土壤是森林生态系统中进行物质和能量交换使植物赖以生存的场所,其水分状况是重要的肥力指标之一[3]。受气候、植被、土壤理化性质及人为经营措施的影响,土壤水分状况呈现一定的变化规律,直接制约着林木的生长发育,并能反映水分下渗、渗透、蒸发散等水文现象,因此林地土壤水分动态规律是森林生态系统定位研究的重要内容。

3.1 森林土壤水分月动态

土壤水分的月动态,即土壤水分在年周期内,随深度和时间发生的变化,与气候、植被、地质地貌和土壤性质都有密切的关系[4]。

将每月 5、10 日土壤不同深度的水分含量平均,计算出人工针阔混交林小集水区各个月份不同深度的土壤含水量(见表 1)。做出土壤含水量随时间的变化图(图 1)。

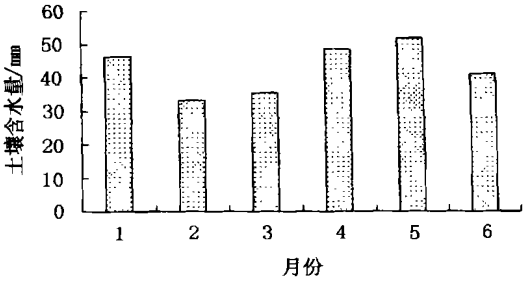

图 1　人工针阔混交林土壤水分的动态变化

从图 1 可以看出,土壤含水量呈现有规律的动态变化。在 1 月份,因为这一时期大气温度低,植物处于休眠期,蒸发散很小,土壤含水量达到 46.4 mm。2 至 3 月,由于降水较少且均匀,所以土壤水分偏低,变化幅度不大。但到 4、5 月份,随着降水的增多,蒸发散小,土壤水分得到积蓄和补充,到 5 月份达到最高值(51.8 mm)。6 月份,气温升高,植物进入生长盛期,蒸发散变大,虽然降水量还是很大,但主要为暴雨和阵雨,降水中很大一部分以径流形式流走,土壤水分入不敷出,土壤含水量又开始下降。

表 1　人工针阔混交林小集水区不同季节土壤水分随深度变化　　mm

月份	土层深度/cm					
	平均	0　10	10　20	20　30	30　40	40　60
1	46.4	48.6	43.8	47.0	46.9	45.7
2	33.2	40.0	35.8	37.4	34.5	33.1
3	35.4	38.9	35.7	36.0	34.0	32.3
4	48.5	52.0	50.3	47.5	45.1	47.7
5	51.8	55.6	52.5	52.2	49.1	49.4
6	40.9	46.4	45.2	35.7	38.0	39.1

3.2　土壤水分的垂直分布规律

土壤水分含量一般从剖面上部向下逐渐减少,表层土壤水分含量的变幅较大。但由于根系分布层的土壤水分变化与根系吸收水分有关,到了生长旺盛季节,植物需要大量水分,致使根系分布的土壤层水分减少[4]。亚热带杉木根系集中分布在 10　20 cm 和 20　30 cm,所以植物蒸腾耗水影响着这两层土壤含水量的变化。图 2 是混交林小集水区不同深度森林土壤含水量变化折线图,从图中看出,土壤水分的垂直变化幅度不大,且各层土壤水分月动态变化趋势基本一致。

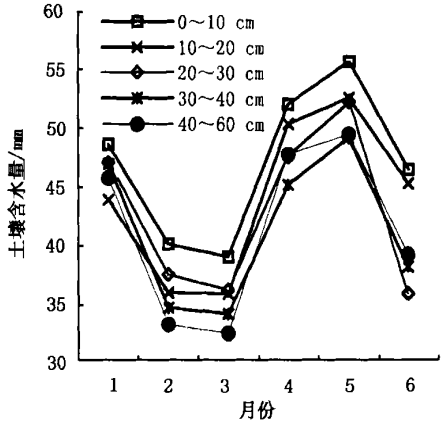

图 2　土壤水分垂直变化图

3.3　土壤水分变化的拟合模型

森林土壤的水分含量取决于气候条件(季节变化)、森林类型、组成成分、林分密度、林龄及根系分布的深度等[4]。根据气候因子观测,通过计算机进行回归分析(样本数为 22 个),得到土壤含水量和降水量、蒸发量、大气温度、大气湿度 4 个气象因子关系的数学统计模型,即;

$$Y = 30.729 + 0.187X_1 - 0.253X_2 - 0.106X_3 + 0.144X_4 \qquad R^2 = 0.754$$

式中,X_1 —降水量(mm),X_2 —大气温度(℃),X_3 —蒸发量(mm),X_4 —大气湿度(%),复相关系数为 0.754,可见拟合效果很好,模型是可行的。

4 小集水区径流特征及其与气象因子的关系

径流是陆地上重要的水文现象,是水分循环和水量平衡的基本要素,能集中反映流域植被、土壤、气候和其他一些综合水文特征,是衡量森林保持水土、涵养水源、消减洪峰等水文效益的一个基本指标[5]。众所周知,森林植被能够减少地表径流,在山地条件下,随着森林覆盖率的增加,地表径流量显著减少。但影响地表径流的因素是多样的,复杂的,除了降水等直接气象因素外,还取决于土壤质地、湿度、冻结程度、水分物理性质、地形及森林植物的类型及其覆盖程度等。研究表明,亚热带不同森林小集水区林地径流量的动态变化存在较大的差异,与降水量等气象因子有着密切的关系[6]。

4.1 坡面径流的月动态

从观测结果来看,尽管森林植被类型不同,但人工针阔混交林小集水区坡面径流的月变化趋势却是相似的。从图 3 可以看出,在人工针阔混交林小集水区 3 种不同植被类型的径流场测得的坡面径流量差别不大,且都呈规律性季节变化。在 1 至 3 月份,由于降水量小,坡面径流量也非常小,特别在 2 月份,基本上没产生径流;随着降水量增加,到 4、5 月份,小集水区坡面径流量也随之增大,在 4 月,径流量达到 5.48 mm;随后呈现递减变化。

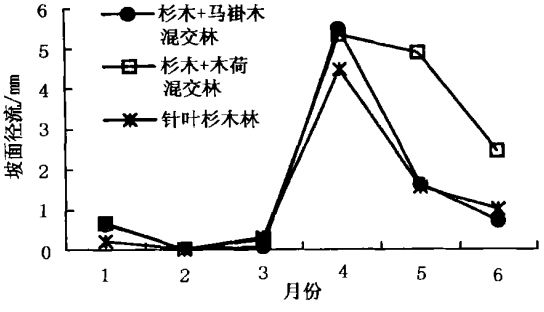

图 3 不同森林植被类型坡面径流月动态

与人工针阔混交林集水区对比,天然常绿阔叶林集水区在 6 个月产生的坡面地表径流则非常少(1.03 mm),见表 2。这是天然常绿阔叶林林地具有较高的入渗能力以及林冠的截流所致,可见覆盖程度较高的天然常绿阔叶林具有涵养水源、防止水土流失以及减小土壤侵蚀的重要生态功能。

表 2 人工针阔混交林与天然常绿阔叶林集水区地表径流月变化 mm

月 份	1	2	3	4	5	6	(合计)
人工针阔混交林	0.56	0.00	0.17	5.08	3.00	1.43	10.24
天然常绿阔叶林	0.57	0.00	0.00	0.39	0.05	0.02	1.03

4.2 坡面径流与降水量的关系特征

通过观测发现,林地坡面径流变化与该地区的降水情况有密切关系,因为坡面径流大多为一次降水所产生,所以一次降水量与林地坡面径流量有直接关系[5]。图 4 为人工针阔混交林小集水区的观测实例,从图 4 中看出,一次降水量较小时,坡面径流量也相对很小,且变化平缓,当一次降水量达到 26 mm 时,径流量开始急剧增加,但是当降水量超过一定限度(图中为 40 mm)时,坡面径流量增加幅度逐渐减小,重新趋向平缓。通过一次降水量与坡面径流量的拟合,效果非常显著,复相关系数 $R^2 = 0.939\ 5$。两者关系可以用指数曲线式表示:

$$y = 0.126\ 6e^{0.050\ 2x}$$

式中,y 为坡面径流量(mm),x 为一次降水量(mm)。

由于观测历时较短,在 1 到 6 月份,该地区未出现过 44 mm 以上的一次降水,所以坡面径流量与一次降水量的关系特征有待进一步观测研究。

因为天然常绿阔叶林集水区坡面径流量非常小,暂未考虑其与降水量的关系。

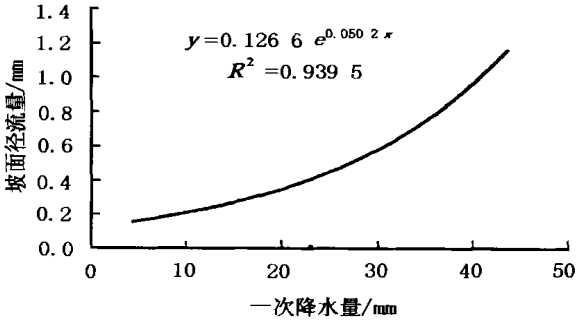

图 4　一次降水量与坡面径流关系图

4.3　小集水区径流量的动态变化规律

亚热带小集水区径流量,在不同区域间差异很大,产生差异的原因除了集水区降水差异外,还与集水区的地形、地貌、地质、土壤状况以及其他气象要素有关。即使在同一区域,小集水区植被类型不同,其径流量也存在很大差异。通过对大岗山地区人工针阔混交林、天然常绿阔叶林集水区径流量的测定发现,虽然 2 个集水区径流量在数量上存在差异,但其动态变化规律却非常相似。

4.3.1　小集水区径流量的月动态　从图 5 可以看出,2 个小集水区径流量的月变化规律很相似,最大值均出现在 4 月份,最小值则在 2 月份;另外,2 个小集水区的月径流量变化很大,人工针阔混交林集水区月径流量变化于 2.9　65.7 mm,天然常绿阔叶林变化于 14.3　116.4 mm,显然这是受该地区降水的影响比较大。

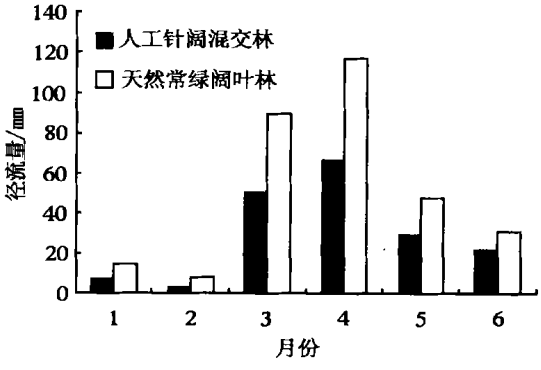

图 5　集水区径流量月动态变化直方图

从 2 个小集水区径流量的大小来看,天然常绿阔叶林集水区径流量明显大于人工针阔混交林。前者 6 个月总径流量为 303.862 mm,而后者总径流量则为 189.074 mm,相差约 1.6 倍。综合坡面径流与小集水区径流量来看,天然常绿阔叶林要比人工针阔混交林有更强的水源涵养、保持水土、防洪滞洪的水文生态功能。这是因为天然常绿阔叶林是亚热带地带性森林或顶极植物群落,一般枝叶茂盛,根系粗大,分布深广;枯落物分解较易;土壤微生物活性强,利于土壤团粒结构的形成及非毛管空隙度的提高,从而增强了土壤的渗透能力。因此系统的水文生态综合调节能力显著增强[6]。

4.3.2　径流与气象因子的关系特征　气候气象因素是影响径流的决定性因素,其中尤以降水和蒸发最为重要,它们直接影响径流量和损失量的大小。其他因素,如大气温度、大气湿度、风速等也都通过降水和蒸发对径流产生间接作用[7,8]。本文采用降水量、蒸发量、大气温度及大气湿度 4 个气象因子对径流量进行逐步多元回归分析,结果发现集水区月径流量与这 4 个因子的复相关系数很小,主要是因为影响径流量的因素复杂多样,除了气象因素外,还有森林类型、土壤特点、土壤前期蓄水量以及降水强度等众多复杂因素。最后用月总径流量分别与降水量、蒸发量 2 个气象因子拟合(见图 6,7),得到表 3 数学拟合模型。

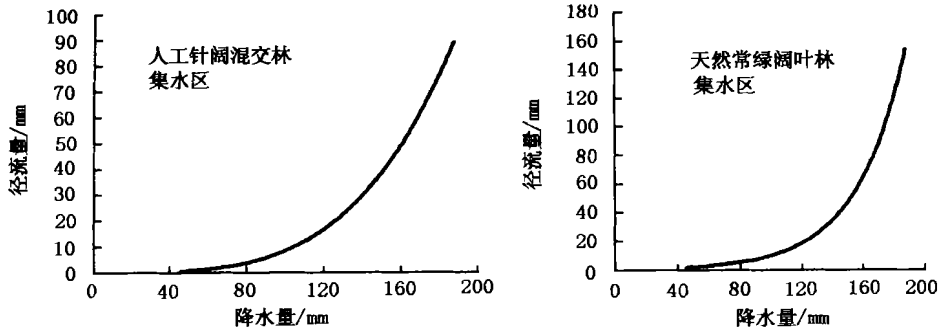

图 6 集水区降水量与径流量的相关关系

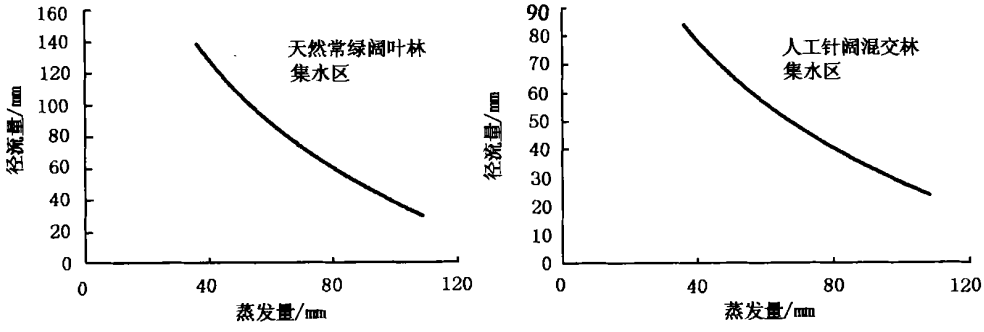

图 7 集水区蒸发量与径流量的相关关系

表 3 集水区径流量(mm)与主要气象因子的数学拟合模型

集水区	拟合模型	样本数	相关系数
人工针阔混交林	$y = 2 \times 10^{-7} x_1^{3.784}$	20	0.986
	$y = -54.3 \mathrm{Ln}(x_2) + 278.43$	20	0.766
天然常绿阔叶林	$y = 0.440\ e^{0.0312 x_1}$	22	0.964
	$y = -98.639 \mathrm{Ln}(x_2) + 491.710$	22	0.799

注: x_1 ——月降水量(mm), x_2 ——月蒸发量(mm)

5 结论

(1) 大岗山地区针阔混交林森林土壤水分具有明显月动态变化规律和垂直变化特征,在观测期内,月最大土壤含水量 51.8 mm,最小含水量为 33.2 mm,土壤水分垂直变化不大。与降水量、蒸发量、气温和湿度等气象因子进行多元回归分析,结果为: $Y = 30.729 + 0.187 X_1 - 0.253 X_2 - 0.106 X_3 + 0.144 X_4$,复相关系数 0.754,拟合效果良好。

(2) 人工针阔混交林林地坡面径流有明显的动态变化特征,2 月份基本上没产生径流,随着降水量增加,在 4 月份坡面径流量达到最大值,为 5.48 mm;不同树种组成的混交林型坡面径流量差别不大;经过统计分析发现,坡面径流量月变化较大,并与一次降水量关系密切,可用指数式 $y = 0.126\ 6 e^{0.050\ 2x}$ 表示。与之相反,天然常绿阔叶林由于具有良好的林分结构和群落特征,产生坡面径流量很小。

(3) 不同森林植被类型小集水区径流量的月变化规律很相似,在观测期间最大值均出现在

4 月份,最小值则在 2 月份;另外,月径流量变化很大,人工针阔混交林集水区月径流量变化于 2.9　65.7 mm,天然常绿阔叶林月径流量变化于 14.3　116.4 mm。集水区径流量月变化趋势与降水量具有很好的相关性,说明降水量是影响径流量的主要因素。但降水量并不是唯一的决定因素,径流量还与小集水区下垫面因素以及人类活动等多种因素有关。

(4) 与人工针阔混交林相比,天然常绿阔叶林具有涵养水源、减少坡面径流、防止水土流失以及减少土壤侵蚀的良好森林水文生态效益。天然常绿阔叶林一般多为复层异龄林,具有较好的林分结构,一般枝叶茂盛,树冠对降水有很强的截流能力;枯落物分解较易,土壤微生物活性强,利于土壤团粒结构的形成及非毛管空隙度的提高,从而增强了土壤的渗透能力和持水能力,所以林地蓄水能力非常强。但近些年来,由于强烈的人为干扰,原始常绿阔叶林所剩无几,仅残存些天然次生林且资源越来越少,所以采取措施保护和恢复一定面积的常绿阔叶林具有长远意义,也是一项迫切而艰巨的工作。

参考文献:

[1] 蒋有绪. 中国森林生态系统结构与功能规律研究[M]. 北京:中国林业出版社,1996

[2] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994

[3] 刘煊章. 森林生态系统定位研究[M]. 北京:中国林业出版社,1993

[4] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993

[5] 方向京,孟广涛,郎南军,等. 滇中高原山地人工群落径流规律的研究[J]. 水土保持学报,2001,15(1):66　99

[6] 刘世荣. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996

[7] 刘玉洪,马友鑫,刘文杰,等. 西双版纳人工群落林地径流量的初步研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):30　34

[8] 丁永建,叶柏生,刘时银. 祁连山区流域径流影响因子分析[J]. 地理学报,1999,54(5):431　437

[9] 张志强,王礼先,余新晓,等,森林植被影响径流形成机制研究进展[J]. 自然资源学报,2001,16(1):79　84

[10] 张志强,王礼先,余新晓,等. 渗透坡面林地地表径流运动的有效糙率研究[J]. 林业科学,2000,36(5):22　27

[11] 理查德. 森林小气候学[M]. 姚启润译. 北京:气象出版社,1986

[12] 李久昌. 水文观测[M]. 北京:人民教育出版社,1964

[13] 中国林学会森林水文与流域治理专业委员会. 全国森林水文学术讨论会文集[M]. 北京:测绘出版社,1989

[14] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999

[15] 中野秀章. 森林水文学[M]. 李云森译. 北京:中国林业出版社,1983

[16] 刘俊民,余新晓. 水文与水资源学[M]. 北京:中国林业出版社,1999

[17] 于澎涛. 分布式水文模型在森林水文学中的应用[J]. 林业科学研究,2000,13(4):431　438

[18] 王金叶,车克钧. 祁连山森林复合流域径流规律研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):22　27

[19] 孟广涛,郎南军,方向京,等. 滇中华山松人工林的水文特征及水量平衡[J]. 林业科学研究,2001,14(1):78　84

[20] 周国逸. 生态系统水热原理及其应用[M]. 北京:气象出版社,1997

[21] 陆鼎煌. 气象学与林业气象学[M]. 北京:中国林业出版社,1994

[22] 黄礼隆,陈祖铭,任守贤. 森林水文研究方法[J]. 四川林业科技,1994,(1):1　20

[23] 周光益. 中国热带森林水文生态功能[J]. 生态学杂志,1997,16(5):47　50

[24] Evan R C. Forests Climate Hydrology[M]. Singapore: Regional Impacts Kefford Press, 1988

Study on the Hydrology Dynamics of Needle-broad Leaved Mixed Plantation and Evergreen Broad-leaved Forest in Dagangshan

WANG Bing[1], *CUI Xiang-hui*[1], *BAI Xiu-lan*[1],
XIA Liang-fang[2], *LI Jiang-nan*[2], *CHEN Zhong-lu*[2]
(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China;
2. Subtropical Forest Experiment Centre, CAF, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: This paper, based on methods of experiment technique and the data of collected from observation, the forest hydrology monthly dynamics of artificial mixed stands of coniferous and broad-leaved trees and nature stands of evergreen broad-leaved trees in Dagangshan district were studied, including soil moisture, surface runoff and total runoff. Some analysis results are as follows: (1) The maximum of soil moisture (5.18 mm) of artificial mixed stands of coniferous and broad-leaved trees occurred in May, the minimum occurred in March; the distribute change of moisture in the depth is not obviously. (2) The surface runoff monthly change is greatly, and one-off rainfall obviously affects soil moisture (R^2 = 0.939 5). (3) Compared with artificial mixed stands of coniferous and broad-leaved trees, nature stands of evergreen broad-leved trees had good effect of prevention of water and soil erosion and function of water conservation.

Key words: Dagangshan; forest hydrology; forest catchment; soil moisture; runoff

《新世纪最有开发价值的树种》出版

国家林业局泡桐研究开发中心暨中国林业科学研究院经济林开发中心侯元凯博士等主编、中国工程院副院长沈国舫院士作序的《新世纪最有开发价值的树种》一书已由中国环境科学出版社出版。

该书作者通过对树木市场多年的调查和对林业高新技术前沿的把握,精选了新世纪初最具有开发价值的速生丰产和珍贵用材林、名特优新经济林和园林绿化树种,其中绝大多数是新近培育的树木品种、引进树种和珍稀树种,均具有独特的特性和市场开发价值,每个树种均扼要介绍了品种来源、特征特性、栽培要点、适生范围、开发价值等。内容丰富,取材新颖,技术先进,使用价值较高,尤其对希望进行农业产业结构调整的基层政府,希望从事林业产业开发的企业、农民、林业技术推广人员可以作为一部新颖、时效性强的生产中急需的参考书,也可供林业院校师生参考。全书 20 万字,大 32 开本,定价 25 元(每年需另付邮资 2 元)。有意购买者,请速从邮局汇款。

汇款地址:邮编 100083,北京林业大学 148 信箱。收款人:李明志。

(注:请将汇款人地址、汇款人姓名填写详细、清楚,我们将据此寄书:另请在"汇款人简短附言"注明"购树种某某本")