

中亚热带天然次生常绿阔叶林水文生态效应研究

王小明¹, 王刚¹, 周本智¹, 钟绍柱², 孔维健¹, 徐升华³

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;

2. 浙江省富阳市水利局, 浙江 富阳 311400; 3. 浙江省富阳市林业局, 浙江 富阳 311400)

摘要: 对浙江省庙山坞自然保护区天然次生常绿阔叶林的水文生态特征进行了为期 1 a 的定位观测研究。结果表明: (1) 研究区天然次生林土壤水分具有明显月动态变化规律和垂直变化特征, 土壤含水量年均 14.24%~22.55%, 年内变化与降雨量趋势基本一致, 为先上升后下降。表层(0—5 cm)土壤水分垂直变化较大, 随着深度的增加, 森林土壤含水量变异系数减小。(2) 坡面径流量月变化较大, 与一次性降水有密切关系。集水区径流量月际间变动幅度较大, 8 月份径流量达到最大值 389.11 mm。(3) 流域内的多次水质抽样检验结果表明, 多数水质指标都达到一类水质标准, 超标指标主要是总氮和 pH 值。

关键词: 森林水文; 天然次生林; 集水区; 土壤水分; 径流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0011-05

中图分类号: S714.7

Hydro-ecological Effects of Native Secondary Evergreen Broad-Leaved Forest in Mid-Subtropics

WANG Xiao-ming¹, WANG Gang¹, ZHOU Ben-zhi¹, ZHONG Shao-zhu², KONG Wei-jian¹, XU Sheng-hua³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang, Zhejiang 311400, China; 2. Fuyang Water Conservancy Bureau, Fuyang, Zhejiang 311400, China; 3. Fuyang Forestry Bureau, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

Abstract: The eco-hydrological characteristics of natural secondary evergreen broadleaved forest in Miaoshanwu Nature Reserve were studied based on field observations within a time period of one year. The results show that soil moisture of natural secondary forest has significant temporal and spatial variations. The average annual soil moisture content ranged from 14.24% to 22.55%. Similar to precipitation, soil moisture content increased firstly and then decreased during a year. Soil moisture of the surface layer (0—5 cm) exhibited strong variability. With the increase of soil depth, the coefficient of variation of soil water content decreased. Strong variations of monthly slope surface runoff were observed and were found closely correlated with single-event rainfall. In the watershed scale, monthly surface runoff varied in a wide range with a maximum runoff of 389.11 mm in August. The results of water quality sampling show that most water quality indices qualified the first level in the governmental standards, except for total N contents and pH values.

Keywords: forest hydrology; natural secondary forest; watershed; soil water; runoff

常绿阔叶林作为亚热带地区的地带性植物群落, 具有极为显著的综合生态效应^[1-2]。森林水文生态功能是森林生态系统功能的一个重要方面, 对森林土壤水分动态过程的研究, 有利于全面了解森林生态系统的功能过程^[3-8]。由于人类干扰活动的长期破坏, 目前我国整个亚热带常绿阔叶林分布面积已不足 5%^[9], 多数为受到破坏后自然恢复形成的次生常绿阔叶林。有关亚热带地区常绿阔叶林的土壤水分动

态及水文生态功能等方面已有相关报道^[10-15], 但针对亚热带天然次生常绿阔叶林的水文生态效应研究较少。次生常绿阔叶林是我国南方诸省生态公益林中的重要林种之一^[16], 如何定量评价这一林种在该地区的水文生态效应, 成为生态公益林效益评价的迫切需求之一。本文对浙江省庙山坞自然保护区天然次生常绿阔叶林的水文生态特征进行了为期 1 a 的定位观测, 旨在揭示中亚热带次生常绿阔叶林生态系统

收稿日期: 2010-03-21

修回日期: 2010-08-01

资助项目: 国家“十一五”科技支撑重大项目专题“杭州富春江水源区水源涵养林构建技术试验示范”(2006BAD03A1806); 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2008006); 中国林科院亚热带林业研究所中央级公益性科研院所基本业务费专项基金重点项目(RISF060701)

作者简介: 王小明(1978—), 男(汉族), 福建省尤溪县人, 博士, 主要从事森林生态与森林水文的研究。E-mail: rsfyrs@126.com。

通信作者: 周本智(1969—), 男(汉族), 安徽省安庆市人, 博士, 研究员, 主要从事森林生态学研究。E-mail: benzhi_zhou@126.com。

水文变化特征和动态规律,为我国南方地区生态公益林可持续经营和保护提供科学依据和可行措施。

1 概况

研究区位于浙江钱江源生态站副站浙江省富阳市庙山坞自然保护区(119°56′—120°02′E, 30°03′—30°06′N)。研究区地形属浙西低山丘陵区天目山系余脉,山体主脉呈东西走向,由主脉延伸的多条南北向支脉为该区主体,峡谷相间,谷向朝南,濒临富春江。气候属中亚热带季风气候,季风显著,四季分明,降水充沛,温暖湿润。区内气候温和,夏季炎热,冬少严寒;年平均气温 16.1℃(极端最高气温 40.2℃,极端最低-14.4℃),年平均降水量 1 441.9 mm^[17]。

天然常绿阔叶林是中亚热带的地带性植被,也是该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(简称天然次生林)、落叶阔叶林、各类针阔混交林、毛竹林(*P. pubescens*)及大面积杉木人工林(*C. lanceolata*)。天然次生常绿阔叶林主要分布于海拔 600 m 以下的低山丘陵区,乔木层主要由浙江楠(*P. chekiangensis*)、薄叶润楠(*Machilus leptophylla* Hand. -Mazz)、木荷(*S. superba*)等组成,高 15~20 m 左右,亚层有青冈栎[*C. glauca* (Thunb) Oerst]、冬青(*I. purpurea* Hassk)、南酸枣(*C. axillaries*)、香樟(*C. camphora*)等混生;灌木层较少,以尖连蕊茶(*C. cuspidata* Wight)、格药铃(*E. muricata* Dunn)、山矾(*S. caudata*)等为主。

2 研究方法

2.1 土壤含水量和气象要素观测

在天然次生林内设置 30 m 综合观测铁塔 1 座,并布置小气候梯度观测系统,采用 DT85 自动数据收集器,收集器每 10 min 收集 1 次数据,长期收集不同深度(5, 10, 20 和 50 cm)土壤含水量、大气降水、温度、湿度、风速、风向等环境因子。

2.2 森林水文观测

在天然次生林集水区内建立 2 个标准地表径流场(10 m×20 m),在 2009 年雨季(3—10 月)观测集水区坡面径流的大小;在小流域出口设三角形测流堰 1 座(三角型堰顶角为 60°),根据 Odyssey 电容式水位计测出的水位变化,每隔 15 min 记录 1 次水位高度,测算集水区径流量。三角堰径流量计算公式如下:

$$D=1\ 400\times(H/1\ 000)^{2.5}\times T\times 60/A$$

式中: D ——径流深度(mm); H ——水位计测出的水位高度(mm); T ——测量间隔时间(min); A ——小流域面积(m²)。

2.3 水质测定

水质指标的测定依据《国家地面水环境质量标准》(GB3838-88),测量的主要指标包括 pH 值、溶解氧、生化需氧量、高锰酸盐指数、总氮、氨氮和总磷。每个季度的雨季在天然次生林集水区流域出口和林外降雨分别采集水样 1 000 ml(3 次重复)进行检验。

3 结果与分析

3.1 降雨特征

根据 2009 年 3—10 月的 54 场降雨产流数据,观测期内总降雨量 1 220.8 mm,其中 7,8 月份的降雨量占总量 45.48%。每次降雨量分布在 0.1~113.3 mm 之间,降雨历时多数在 24 h 之内。依据气象预报分类标准(QX/T-2009-25),24 h 内累计降雨量<10 mm 为小雨,10~25 mm 为中雨,25~50 mm 为大雨,50~100 mm 为暴雨,100~250 mm 为大暴雨,对观测期内每次降雨强度分布频率进行统计。结果显示,观测期内研究区 54 场降雨中,小雨 23 次,占降雨总次数的 42.6%;中雨 12 次,占 22.2%;大雨 13 次,占 24.1%;暴雨 5 次,占 9.3%;大暴雨 1 次,占 1.8%。

3.2 天然次生林土壤水分含量动态变化分析

3.2.1 土壤水分含量月变化动态 从图 1 可知,天然次生林土壤含水量月平均值分布在 14.24%~22.55%。表层(5 cm 和 10 cm)土壤含水量 3—5 月呈下降趋势,6 月份土壤含水量小幅回升,7 月份再次下降,8 月份土壤含水量达到最高值,9 月以后,随着降雨减少,土壤含水量下降明显。土壤含水量与研究区降雨量的月变化趋势大体一致,这与刘鹄等^[18]研究结果相同。6 月份之前降雨量较小,土壤含水量比较低,7 月(267.93 mm)和 8 月(287.27 mm)是研究区全年降雨最集中的季节,但是 7 月份土壤含水量(14.24%)远低于 8 月份(22.55%),其原因可能和 7,8 这 2 个月份的气象条件差异有关。由表 1 可知,7 月份月平均温度、大于 35℃ 高温天数均高于 8 月份,而月平均相对湿度则低于 8 月份,结果导致 7 月份的植物蒸腾和土壤蒸发作用均高于 8 月份,土壤失水过程明显增强;再加上 7 月份雨日(8 d)远小于 8 月份(22 d),在降雨量相近的前提下,雨日越少,每次因降雨而产生的地表径流也越大,不利于长期保持土壤水分。随着深度的增加,深层(20 cm 和 50 cm)土壤含水量逐步趋于稳定。5 cm 层和 10 cm 层土壤含

水量变异系数分别为 8.47% 和 6.42%，高于 20 cm 和 50 cm 层土壤含水量变异系数。这可能是由于在土壤垂直剖面上，0—5 cm 表层土壤受外界环境影响大，随着深度的增加土壤所受的环境影响减弱，所以造成上层土壤水分变化幅度大于下层^[12]。

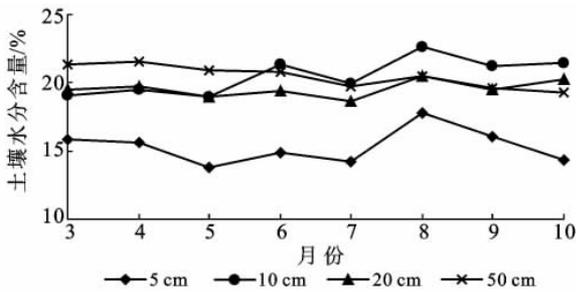


图 1 天然次生林土壤水分含量月变化动态

表 1 研究区 7—8 月份气象要素比较

气象特征	7 月	8 月
月平均温度/℃	26.9	25.7
月平均相对湿度/%	73.7	86.4
日最高温度>35℃天数/d	3	0
雨日/d	8	22

3.2.2 土壤水分垂直分布规律 从图 2 可知，随着深度的增加，土壤含水量逐渐增加，这与其他研究者的研究结果一致^[13,15]。但 6—10 月份，10 cm 层的含水量显著高于其它 3 个层次。土壤含水量这种变化的原因可能和环境条件及植物根系对深层土壤水分的强烈吸收有关。表层(0—5 cm)土壤由于温度变化

大，土壤蒸发量大，因此含水量最低。天然次生林主要树种如青冈、苦槠等多为深根性树种，根系多分布在 20—100 cm 土层，在 6—10 月份植物生长旺盛期，虽然该时期是大气降水量集中的季节，但由于水热同步，温度高，蒸发和蒸腾量大，致使根系分布的土壤层水分减少，所以植物蒸腾耗水影响着这个深度内土壤含水量的变化^[19]。

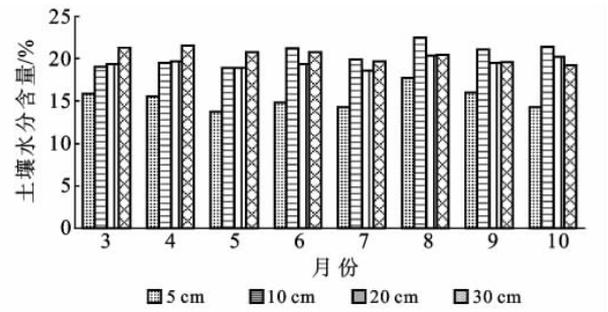


图 2 天然次生林土壤水分垂直分布

3.3 不同尺度水文特征分析

3.3.1 坡面径流水文特征分析

(1) 坡面径流月动态。对 54 场降雨产流数据处理结果表明(表 2)，在 3—6 月份，坡面径流量比较平稳。由于降水量小，这个期间对应的径流量也较小，月平均径流深为 0.16 mm。随着降水量增加，7—8 月份，坡面径流量也急剧增大，在 8 月，径流量达到最大值 0.43 mm；随后呈现递减变化。研究区次生林在观测期内产生的坡面径流量稍高于大岗山天然常绿阔叶林，远远低于人工针阔混交林^[13]。

表 2 天然次生林区降雨量、坡面径流和集水区径流量

mm

水文指标	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
降雨量	103.95	140.67	93.20	128.07	267.93	287.27	134.67	65.07
坡面径流	0.14	0.21	0.09	0.17	0.42	0.43	0.20	0.09
集水区径流	134.92	73.60	11.28	16.77	117.39	389.11	43.09	50.30

(2) 坡面径流与降水量的关系特征。观测期内天然次生林坡面径流总量为 1.77 mm，平均径流系数 0.10%。对 54 场降雨产流观测表明，随着降雨量的增加，地表径流量增加。10 mm 以下降雨天然次生林产生的地表径流量小于 0.01 mm，研究区 35 mm 以上的降雨量才开始产生 0.05 mm 以上的地表径流。对降雨—坡面径流观测数据进行回归分析，结果显示，坡面径流(Y)与降雨量(X)呈线性相关(图 3)，其方程式为：

$$Y = 0.0017X - 0.0046$$

$$(R^2 = 0.994, n = 54, p < 0.01)$$

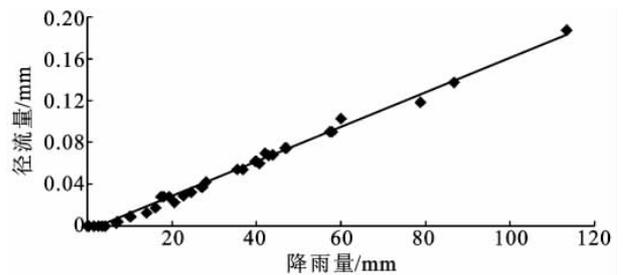


图 3 天然次生林坡面径流与降雨量的关系

3.3.2 集水区径流水文特征分析

(1) 集水区径流量的月动态。从表 2 可知，集水区月径流量分布在 4.32~389.11 mm 之间。在 3—6

月份,集水区径流量呈下降趋势;7—8月份,随着降水量增加,特别是夏季受台风雨的影响,集水区径流量急剧增大,并在8月份径流量达到最大值389.11mm;9—12月径流量持续下降。

(2)集水区径流与降水量的关系特征。观测期内集水区径流量1192.24mm,径流系数0.767。对集水区月径流量与月降水量进行回归分析,结果显示,集水区月径流量(Y)与月降雨量(X)相关性较好(图4),即随着降雨量的增加,集水区地表径流量增加。其方程式为:

$$Y=0.0053X^2-0.16789X+61.3$$

$$(R^2=0.8111, n=12, p<0.01)$$

3.4 水质监测

按照《国家地面水环境质量标准》(GB3838-88)的规定,对集水区径流的水质进行检验(表3)。和对照(林外降雨)各指标相比,集水区对大气降水中的溶解氧、化学需氧量和氨氮等指标有显著的改善效应。

根据多次水质抽样检验结果,除pH值和总氮外,绝大多数水质指标均达到一类水质,重金属和挥发性的污染物指标均未检出。由于研究区处于杭州市近郊,工业化程度较高,大气降水年平均pH值小于6,酸雨危害较重。酸雨中的主要阴离子成分(SO_4^- 和 NO_3^-)运动可能加速土壤盐基离子的淋失,长期作用会酸化土壤;森林生态系统内枯枝落叶分解时会产生腐殖酸,以及森林对大气中氮、硫等污染物的沉降和吸附,导致径流pH值降低和总氮局部超标^[20-22]。

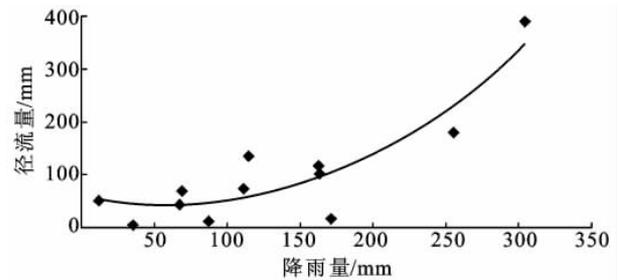


图4 集水区月径流量与降水量的关系

表3 天然次生林和对照不同季节水质比较

项目	第1季度		第2季度		第3季度		第4季度	
	集水区	对照	集水区	对照	集水区	对照	集水区	对照
pH值	4.46	5.98	5.98	6.33	4.95	5.35	5.58	6.12
溶解氧/(mg·L ⁻¹)	8.52	8.36	9.63	7.16	6.90	7.99	7.76	6.87
生化需氧量/(mg·L ⁻¹)	0.45	1.59	2.67	1.94	0.90	1.05	1.31	1.54
高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	0.63	2.40	1.24	2.84	1.71	2.66	1.67	2.51
总氮/(mg·L ⁻¹)	6.28	1.29	8.98	1.70	6.80	4.22	8.97	1.86
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.04	0.85	0.17	1.16	0.11	2.17	0.14	1.29
总磷/(mg·L ⁻¹)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02

4 结论

(1)天然次生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,土壤含水量分布在14.24%~22.55%,表层(5cm和10cm)土壤含水量与降雨量月变化趋势基本一致。随着深度的增加,深层(20cm和50cm)土壤含水量逐步趋于稳定。在6—10月间,受环境条件及植物根系对深层土壤水分吸收的影响,10cm层的土壤含水量显著高于其它3个层次。

(2)天然次生林径流有明显的动态变化特征。坡面径流与一次性降水有密切关系,可用 $Y=0.0017X-0.0046$ 表示。集水区径流量月际间变动幅度较大,集水区径流量与月降雨量关系可用 $Y=0.0053X^2-0.16789X+61.3$ 表示。

(3)流域内的多次水质抽样检验结果表明:天然次生林对大气降水中的溶解氧、化学需氧量和氨氮等

指标有显著的改善效应。集水区多数水质指标都达到一类水质标准。

[参考文献]

- [1] 王彦辉,金曼,于澎涛.我国与森林植被和水资源有关的环境问题及研究趋势[J].林业科学研究,2003,16(6):739-747.
- [2] 刘世荣,温远光,王兵,等.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,1996:21-26.
- [3] 马雪华.森林水文学[M].北京:中国林业出版社,1993:11-16.
- [4] 王礼先,张志强.森林植被变化的水文生态效应研究进展[J].世界林业研究,1998(6):14-23.
- [5] 高甲荣,肖斌,张东升,等.国外森林水文研究进展述评[J].水土保持学报,2001,15(5):60-65.
- [6] 李文华,何永涛,杨丽韞.森林对径流影响研究的回顾与展望[J].自然资源学报,2001,16(5):398-406.
- [7] Buttle J M, Creed I F, Pomeroy J W. Advances in Canadian forest hydrology, 1995—1998 [J]. Hydrological

- Processes, 2000, 14(9):1551-1578.
- [8] 张志强, 余新晓, 赵玉涛, 等. 森林对水文过程影响的研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1):113-116.
- [9] 陈伟烈, 贺金生. 中国亚热带地区的退化生态系统: 类型、分布、结构特征及恢复途径[M]//陈灵芝, 陈伟烈. 中国退化生态系统. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 61-93.
- [10] 徐小牛, 王勤, 平田永二. 亚热带常绿阔叶林的水文生态特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9):1570-1574.
- [11] 崔向慧, 王兵, 邓宗富. 江西大岗山常绿阔叶林水文生态效应的研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(5): 660-665.
- [12] 巩合德, 张一平, 刘玉洪, 等. 哀牢山常绿阔叶林土壤水分动态变化[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(1):53-54.
- [13] 王兵, 崔相慧, 白秀兰, 等. 大岗山人工针阔混交林与常绿阔叶林水文动态变化研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(1):13-20.
- [14] 杨进怀, 孙艳红, 张洪江. 缙云山不同类型植被坡面土壤水分特征[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6):126-129.
- [15] 杨新兵, 余新晓, 孙庆艳, 等. 植被对流域水文特征响应研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3):170-173.
- [16] 沈琪, 张骏, 朱锦茹, 等. 浙江省生态公益林植被恢复过程中物种组成及多样性的变化[J]. 生态学报, 2005, 25(9):2131-2138.
- [17] 周本智, 傅懋毅. 庙山坞自然保护区毛竹林细根生产和周转研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(4):239-245.
- [18] 刘鹤, 赵文智, 何志斌, 等. 祁连山浅山区不同植被类型土壤水分时间异质性[J]. 生态学报, 2008, 28(5):2389-2394.
- [19] 朝鲁蒙, 王进鑫, 侯琳, 等. 黄土高原不同植被复合边界土壤水分分布及影响域研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3):28-32.
- [20] 周光益, 徐义刚, 吴仲民, 等. 广州市酸雨对不同森林冠层淋溶规律的研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(6):598-807.
- [21] 丁国安, 徐晓斌, 王淑凤, 等. 中国气象局酸雨网基本资料数据集及初步分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(S):85-94.
- [22] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈光水, 等. 森林生态系统 DOM 的来源、特征及流动[J]. 生态学报, 2003, 23(3):547-555.

《水土保持通报》2010 年引证及评刊报告

(1) 根据中国知网(CNKI)的《中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2010版)计量指标统计表》,《水土保持通报》综合统计源统计的总被引频次为 3 446 次(2009 年版中为 1 358 次);复合影响因子为 0.955;期刊综合影响因子为 0.568(2008 年为 0.493),在所统计的 23 个农业基础学科期刊中排序为第 16 位;技术研究类影响因子为 0.546(2009 年版中为 0.471),在水土保持学科的 7 个统计源期刊中排序为第 2 位。

(2) 根据 2010 年版《中国科技期刊引证报告》(核心板)资料,《水土保持通报》影响因子为 0.472,较 2009 年版中的 0.385 有明显提高。

(3) 据“中国知网”[中国知识基础设施工程(CNKI),中国知识资源总库]的 2010 年发行情况统计,2009 年《水土保持通报》在该网的机构用户总计 1 718 个,分布在 12 个国家和地区。国际个人读者分布在 15 个国家和地区。其中中国大陆地区机构用户总计 1 683 个。Web 下载量 7.94 万次,即年下载率为 33。

(4) 2010 年,在由陕西省新闻出版局和陕西省科技期刊编辑学会联合组织的科技期刊审读评优活动中,《水土保持通报》荣获“陕西省优秀科技期刊奖”。

《水土保持通报》编辑部
二零一一年二月二十八日