

# 富春江流域人工阔叶幼林涵养水源效果分析

王小明<sup>1</sup>, 周本智<sup>1</sup>, 钟绍柱<sup>2</sup>, 孔维健<sup>1</sup>, 王刚<sup>1</sup>

(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)

**摘 要:**选择富春江流域迹地更新的 7 年生水土保持试验林分,通过 1 a 的定位监测,研究了阔叶幼林恢复重建的水文效应。研究表明:(1)与对照相比,人工阔叶幼林土壤总孔隙度、毛管持水量和饱和持水量分别提高了 21.45%、22.50% 和 31.14%;土壤容重明显降低,阔叶幼林对土壤入渗能力有明显改善。(2)阔叶幼林的水文生态效应比较明显。监测期间,地表径流总量为 1.87 mm,平均径流系数 0.16%,略高于天然次生林同期地表径流总量 1.47 mm 和平均地表径流系数 0.10%。在中小降雨强度下,阔叶幼林平均地表径流系数和天然次生林较接近;但在暴雨和大暴雨条件下,阔叶幼林的平均地表径流系数显著高于天然次生林。观测期内阔叶幼林泥沙总量为 173.74 kg/hm<sup>2</sup>,是天然次生林泥沙总量(31.99 kg/hm<sup>2</sup>)的 5.43 倍。

**关键词:**森林重建;水土保持林;水文效应

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)06-0115-03

## The Eco-hydrological Effect of Young Broadleaved Plantation in Fuchun River Basin

WANG Xiao-ming<sup>1</sup>, ZHOU Ben-zhi<sup>1</sup>, ZHONG Shao-zhu<sup>2</sup>, KONG Wei-jian<sup>1</sup>, WANG Gang<sup>1</sup>

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

**Abstract:** The eco-hydrological effect of the young broadleaved plantation was studied and evaluated. Compared to control, the soil total porosity, capillary water holding capacity and saturated water holding capacity in young broadleaved plantation increased by 21.45%, 22.50% and 31.14%; its soil bulk density and soil infiltration capacity were also improved significantly. The effect of the young broadleaved plantation on eco-hydrology is significant. During the observation period, the total amount of surface runoff was 1.87 mm and the average runoff coefficient was 0.16% which were slightly higher than that in natural secondary forest (1.47 mm and 0.10%). During the low-medium rainfall intensity, the average runoff coefficient of young broadleaved plantation was similar as that of natural secondary forest, whereas the average runoff coefficient was significantly higher than that of natural secondary forest under rainstorm conditions. The runoff sediment in young broadleaved plantation was 173.74 kg/hm<sup>2</sup>, which was 5.43 times as much as that (31.99 kg/hm<sup>2</sup>) in natural secondary forest.

**Key words:** forest rehabilitation; soil and water conservation forest; hydrological effect

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<sup>[1-4]</sup>。由于历史原因,我国亚热带地区原生的常绿阔叶林植被遭到严重破坏,取而代之的是大面积次生的马尾松和杉木等暖性针叶林<sup>[5]</sup>。针叶林阔叶化改造是改善亚热带地区林种、树种结构和生态功能的重要途径之一<sup>[6-8]</sup>。有关人工阔叶幼林造林模式和树种选择<sup>[9]</sup>、对土壤理化性质和微生物多样性的影响<sup>[10-13]</sup>、生态防火效应<sup>[14]</sup>等

内容已有相应报道,但目前针对人工阔叶幼林的水土保持和水源涵养状况的研究较少报道<sup>[15-16]</sup>。鉴于此,本研究对富春江流域人工阔叶幼林的土壤水分状况和水土保持效益进行了为期 1 a 的定位观测和初步研究,旨在探讨阔叶化改造幼林阶段水土保持林的水文生态功能,为正确评价人工阔叶林的水文生态效益提供基础数据,亦可为本地区水源林的建设提供依据。

收稿日期:2010-03-30

资助项目:国家“十一五”科技支撑重大项目专题(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,福建尤溪人,博士,主要从事森林生态与森林水文的研究。E-mail: rsfys@126.com

通信作者:周本智(1969-),男,安徽安庆人,博士,副研究员,主要从事森林生态学研究。E-mail: benzhi-zhou@126.com

1 材料和方法

1.1 研究区概况

2006 年初,浙江省实施阔叶林发展工程,对全省范围内重要水系源头、大中型水库周围等区域,采用“封育、改造、迹地更新”等综合措施,改造低效生态公益林,培育阔叶林和针阔混交林。本研究在浙江省富阳市富春江流域的中埠水库库区(119°51′-120°01′E, 30°03′-30°06′N)的火烧迹地进行。研究区植被属中亚热带常绿阔叶林北部亚地带,为浙皖山丘青冈、苦槠林栽培植被区,天目山、古田山丘陵、山地植被片。气候属中亚热带季风气候,年平均气温 16.1℃;年平均降水量 1 441.9 mm,年内降水分配不均,5-8 月为丰水期,占全年降雨量的 60%,年平均相对湿度 80%<sup>[17]</sup>。研究区属杉木林火烧迹地,少量无林地,属低丘地形,海拔 100 m 左右,坡位大多为中坡或下坡,原有火烧迹地上主要树种是木荷、香樟或者杉木,郁闭度 0.2 左右,林下植被主要为蕨类和苦竹,植被盖度 60%~80%。土壤类型为红壤,土壤质地砂土,坡度较缓,10°~20°。

试验人工造林位于富春江流域的杉木火烧迹地和无林地,总造林面积 33.3 hm<sup>2</sup>。主要树种包括木荷、深山含笑、乳源木莲等常绿阔叶树种以及枫香、乌桕、马褂木等落叶阔叶树种。采用全劈清理林地,块状整地,株间混交模式和基于小地形的块状混交。造林时间 2005 年秋冬季。采用 2~3 年生实生大苗,苗高>1.5 m,地径>3 cm,带土球(20 mm×20 mm)造林,1 605 株/hm<sup>2</sup>。通过对迹地造林的样地调查,造林成活率均达到 90% 以上,引入的常绿、落叶阔叶树种生长表现良好,7 年生平均胸径 5.9 cm,平均高 3.4 m,平均冠幅 2.6 m。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤物理性质测定 2010 年 3 月下旬,采用环刀法在样地内挖掘土壤剖面,用环刀对 0-40 cm 土层取样,重复 3 次,并以样地附近无林地土壤作对照。在实验室测定土壤容重、毛管持水量、毛管孔隙度、总孔隙度及渗透系数,具体方法见林业部科技司

主编的《森林生态系统定位研究方法》中森林土壤定位研究方法的“环刀法”<sup>[18]</sup>。

1.2.2 地表径流和径流泥沙观测 以研究区附近立地条件相似的 40 年生天然次生林为对照,在阔叶幼林和天然次生林内分别建立 2 个标准地表径流场(10 m×20 m),径流场下坡面建一集水池(容积 1 m<sup>3</sup>),积水池底面建一沉沙池(0.4 m×0.2 m×0.1 m),在 2009 年雨季(3-11 月)观测小集水区坡面径流的大小;每次降雨后及时测量蓄水池中地表径流量,并从沉沙池中用 600 ml 的水瓶取满泥沙和水的混合水样。水样先用滤纸过滤,然后把滤纸和泥沙一起放置在 105℃ 的电烘箱内 12~24 h,取出冷却后称重。记录每次径流的泥沙含量。

2 结果分析

2.1 降雨特征

实验观测记录了 2009 年 3 月 24 日至 2009 年 11 月 13 日的 54 次降雨数据,平均每 4.9 d 一次降雨。观测期内总降雨量 1 167.8 mm,次降雨量分布在 0.1~191.1 mm 之间,降雨历时多数在 24 h 之内。依据气象预报分类标准,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的分布频率进行统计。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%。

2.2 阔叶幼林土壤层水文效应

由表 1 可以看出,人工阔叶幼林对土壤水文性质的改善作用较明显。与对照(无林地)相比,阔叶幼林土壤总孔隙度、毛管持水量和饱和持水量分别提高了 21.45%、22.50% 和 31.14%。重建后林地土壤容重明显降低,阔叶幼林对土壤入渗能力有明显改善,从而提高了土壤水的维持能力。这表明阔叶幼林促进了土壤物理性质的改变,提高土壤孔隙度和持水、渗水能力,改善了林地土壤的水源涵养水土保持功能。

表 1 阔叶幼林对土壤水分性质的改善效果

植被	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	孔隙度/%			毛管最大 持水量/%	饱和 持水量/%	渗透系数/ (mm·min <sup>-1</sup> )
		总	毛管	非毛管			
阔叶幼林	1.16	48.7	40.7	8.0	29.24	34.66	8.67
对照	1.37	40.1	36.2	3.9	23.87	26.43	4.45

2.3 地表径流和径流泥沙的变化特征

以天然次生林为对照,对人工阔叶幼林水文效应进行观测和分析。从图 1-2 可知,观测期内阔叶幼林地地表径流总量和平均地表径流系数分别为 1.87

mm 和 0.16%,略高于天然次生林同期地表径流总量 1.47 mm 和平均地表径流系数 0.10%。人工阔叶幼林泥沙总量为 173.74 kg/hm<sup>2</sup>,是天然次生林泥沙总量(31.99 kg/hm<sup>2</sup>)的 5.43 倍。在 8 月 11 日大暴雨

(113.33 mm) 情况下, 人工阔叶幼林地表径流(0.569 mm) 与泥沙含量(136.4 g) 分别是天然次生林地表径流量的 3.03 倍和泥沙含量的 7.91 倍, 说明人工阔叶幼林在大暴雨条件下的水土保持功能较低, 这可能与人工阔叶幼林地尚未完全郁闭、地表枯落物较少、根系持水固土能力弱有关。

回归分析结果显示: 人工阔叶幼林和天然次生林的地表径流( $Y$ ) 与总降雨量( $X$ ) 均呈线性相关(图 1), 即随着降雨量的增加, 地表径流量增加, 其方程式分别为  $Y=0.0022X-0.0243$  ( $R^2=0.926, n=35, P<0.01$ ) 和  $Y=0.0017X-0.0068$  ( $R^2=0.993, n=54, P<0.01$ )。地表径流系数与总降雨量也成正相关(图 2), 其方程式分别为  $Y=0.0006\ln(X)-0.0008$  ( $R^2=0.706, n=35, P<0.01$ ) 和  $Y=0.0004\ln(X)+6E-06$  ( $R^2=0.797, n=54, P<0.01$ )。人工阔叶幼林和天然次生林的径流泥沙量与降雨量关系均不显著, 这可能是由于泥沙量更多与降雨强度有关。

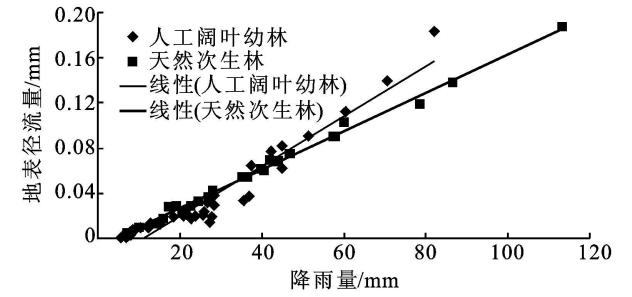


图 1 人工阔叶幼林和天然次生林地表径流与降雨量的关系

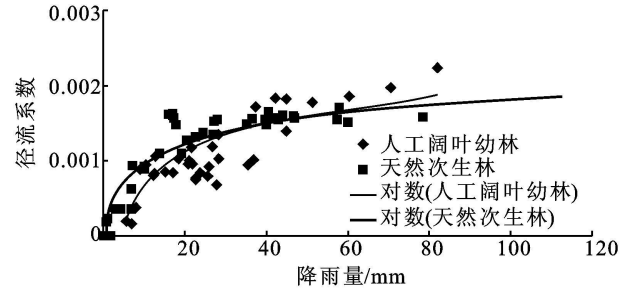


图 2 人工阔叶幼林和天然次生林地表径流系数与降雨量的关系

2.4 阔叶幼林对地表径流截留效果分析

对阔叶幼林 1 年来的森林水文定位观测结果分析(表 1) 显示, 人工阔叶幼林对地表径流的拦截作用较明显。小雨量( $<10$  mm) 的降水, 平均地表径流系数为 0.056%; 中雨量(10~25 mm) 和大雨量(25~50 mm) 的降雨情况下, 平均地表径流系数分别为 0.098% 和 0.123%; 暴雨(50~100 mm) 和大暴雨( $>100$  mm) 条件下, 平均径流系数分别为 0.196% 和 0.224%。雨量等级越低, 拦截作用越大, 尤其当降雨量小、历时较长时, 截留率越高。在中小降雨强度下,

阔叶幼林平均地表径流系数和天然次生林较接近; 但在暴雨和大暴雨条件下, 阔叶幼林的平均地表径流系数显著高于天然次生林。根据研究区气象站(2008–2009 年) 观测, 全年降雨 $<25$  mm 等级的雨量占 23.4%, 阔叶幼林能全部截留, 不产生地表径流。对于占全年 27.6% 的暴雨和大暴雨来说, 其地表径流系数也仅为 0.17%~0.22%, 大部分能被阔叶幼林生态系统涵养。照此估算, 研究区全年降雨的 80% 以上能被阔叶幼林涵养, 而不产生明显的水土流失, 表明阔叶幼林的水源涵养、水土保持效果较好。

表 2 不同降雨强度下阔叶幼林和天然林的  
平均地表径流系数

	平均地表径流系数					%
降雨强度/mm	$<10$	10~25	25~50	50~100	$>100$	
阔叶幼林	0.056	0.098	0.123	0.196	0.224	
天然次生林	0.006	0.092	0.113	0.158	0.166	

3 结论

通过对浙江富春江流域火烧迹地人工阔叶幼林的涵养水源效果的研究, 得出以下主要结论:

(1) 人工阔叶幼林改善土壤物理性质效果明显。人工阔叶幼林地土壤容重、渗透速度、总孔隙度、饱和持水量等都优于对照, 表明人工阔叶幼林能够改变土壤结构, 改善土壤性能, 提高土壤的蓄水能力。

(2) 人工阔叶幼林的水文生态效应比较明显。监测期间, 地表径流总量为 1.87 mm, 平均径流系数 0.16%, 略高于天然次生林同期地表径流总量 1.47 mm 和平均地表径流系数 0.10%。地表径流与降雨量具有显著的线性相关关系, 径流系数与降雨量也呈正相关。观测期内人工阔叶幼林泥沙总量为 173.74 kg/hm<sup>2</sup>, 是天然次生林泥沙总量(31.99 kg/hm<sup>2</sup>) 的 5.43 倍。总体而言, 人工阔叶幼林水土流失较少, 水土保持功能较强。

(3) 本文仅对研究区火烧迹地阔叶化改造 4 a 的幼林阶段的涵养水源效应开展了初步研究, 未来还要对阔叶幼林重建的生态效应进一步定位监测, 不断完善和优化水土保持林树种组合和模式构建, 为我国东部亚热带地区水源涵养林重建提供科学依据。

参考文献:

[1] 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.  
[2] 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.  
[3] 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.

本地区土地资源的消费情况与该区与土地资源所能提供的生态承载力进行比较,进而评价了土地是否处于可持续发展的安全状态,为进行土地生态安全状况的评价提供了参考。1999—2006 年雅安市对资源的利用效率在不断提高,但在研究期内雅安市的人均生态足迹均超过人均生态承载力,土地生态系统始终处于超负荷状态,土地生态系统处于危险状态。尤其体现在耕地、草地和水域的生态赤字等方面。为了缓解日益增加的生态赤字,实现区域土地资源的可持续利用,应协调好人口、资源环境和经济发展间的关系,科学合理规划,改变资源利用模式,发展循环经济,提高土地的产出效率,可在一定程度上降低或缓解区域土地生态系统危险状态。

由于资源的消费所带来的生态压力不完全由资源的消费地来承担,而实际上是由资源的生产地来承担,因此,采用生态足迹模型进行区域土地生态安全评价时,资源的消费量是采用该区域实际消耗量还是该区域从本地区实际获取的资源量有待进一步探讨。目前基于生态足迹理论的生态压力指数概念及等级划分标准尚未统一,科学合理的基于生态足迹的土地生态安全评价体系有待进一步研究。此外,在本文计算过程中由于受数据限制,没有考虑废水、农药、重金属等带来的土地生态环境污染,没有计算废弃物所产生的生态足迹,雅安市实际的生态足迹可能更大,土地生态安全形势可能更为严峻。而且通过生态足迹及生态压力指数发展趋势分析,可知雅安市土地生态安全形势在逐渐恶化。

## 参考文献:

- [1] Jonathan Loh. 地球生态报告[R]. 世界自然基金会, 2004.
- [2] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [3] 徐中民, 张志强. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280-285.
- [4] 朱国锋, 杨小梅, 万国宁, 等. 甘肃省 2004 年生态足迹计算与分析[J]. 甘肃联合大学学报, 2008, 22(5): 62-65.
- [4] 杨开忠, 杨咏. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630-636.
- [5] 李月辉, 张薇. 生态足迹方法及研究进展[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 334-339.
- [6] 王书华, 毛汉英. 生态足迹研究的国内外近期进展[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776-782.
- [7] 王书玉, 卞新民. 生态足迹理论方法的改进及应用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 1977-1981.
- [8] 张晶, 刘耀林, 陈新明. 基于生态足迹的浙江省生态安全动态研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 18-190.
- [9] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1551-1556.
- [10] 姚猛, 韦保仁. 生态足迹分析方法研究进展[J]. 资源与产业, 2008, 10(3): 70-74.
- [11] 陈敏, 张丽君, 王如松, 等. 1978—2003 年中国生态足迹动态分析[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 132-139.
- [12] 肖玲, 董林林, 兰叶霞, 等. 基于生态压力指数的江西省生态安全评价[J]. 地域研究与开发, 2008, 27(1): 119-121.
- [13] 王兴贵, 李铁松. 重庆市 2003—2005 年生态足迹分析[J]. 江西科学, 2007, 25(4): 446-449.
- [14] 中国环境与发展国际合作委员会, 世界自然基金会. 中国生态足迹报告(下)[R]. 2004.
- [4] 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.
- [5] 徐高福. 千岛湖国家森林公园针叶林阔叶化改造技术探讨[J]. 中南林业调查规划, 2005, 24(1): 19-22.
- [6] 王冬米, 卢国耀, 高智慧, 等. 针叶林阔叶化改造质量评价体系的研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(2): 56-58.
- [7] 王冬米, 卢国耀, 何理坤. 阔叶林发展的主要途径和模式选择[J]. 华东森林经理, 2006, 20(2): 38-40.
- [8] 陆献峰, 葛文宁. 从森林健康谈浙江省阔叶林的发展[J]. 浙江林业科技, 2004, 24(6): 54-57.
- [9] 徐高福, 丰炳财, 王政懂, 等. 针叶林阔叶化改造目的树种选择研究[J]. 林业调查规划, 2007, 32(3): 40-42, 49.
- [10] 薛立, 赖日石, 陈红跃, 等. 不同阔叶树种的生长及其对赤红壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 795-799.
- [11] 杨玉盛, 李振问, 刘爱琴. 人工阔叶林取代格氏栲天然林后土壤肥力变化的研究[J]. 东北林业大学学报, 1993, 21(5): 14-21.
- [12] 田大伦, 陈书军. 樟树人工林土壤水文—物理性质特征分析[J]. 中南林业学院学报, 2005, 25(2): 1-6.
- [13] 薛立, 吴敏, 徐燕, 等. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 1017-1023.
- [14] 徐高福. 针叶林阔叶化改造的森林生态防火效果初报[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(3): 84-87.
- [15] 包维楷, 乔永康, 陈庆恒. 岷江上游典型油松人工幼林的生态环境效应[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 662-668.
- [16] 胡孔飞, 文仕知, 张杰, 等. 湘北红壤丘陵区四川桉木人工林水文生态效应[J]. 福建林业科技, 2009, 36(3): [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] 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: 21-23.

(上接第 117 页)