

# 杉木(19年生)毛竹混交林水源涵养能力研究

郑郁善

(福建林学院资源与环境系,南平 353001)

管大耀

(福建省尤溪县包溪林业采育场)

李仁昌

(福建省松溪县林场)

**摘要** 对福建省尤溪县包溪林业采育场 1974年营造的杉木毛竹混交林水源涵养能力和经济效益进行了研究。结果表明:杉木密度为  $1\ 350\text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$  的混交林涵养水源能力最强,林冠层持水量比杉木纯林多  $0.545\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比毛竹纯林多  $3.049\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;地上部分总持水量( $25.424\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )分别比杉木纯林、毛竹纯林增加  $3.143\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $3.309\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;土壤( $0\sim 40\text{ cm}$  层)贮水量达  $611.2\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比杉木纯林、毛竹纯林和其他混交林都大;初渗值达  $60.86\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,稳渗值达  $24.32\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,分别是杉木纯林 2.8倍和 2.3倍,毛竹纯林的 2.5倍和 1.6倍。

**关键词** 杉木;毛竹;混交林;持水当量;水源涵养林

**中图分类号** S718. 56

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)在我国南方栽培历史悠久,面积大,生长快,材质好,用途广,经济价值高<sup>[1]</sup>。但杉木纯林水源涵养功能较差,林下植物层和枯枝落叶层现存量低,厚度小,林地土壤的下渗能力较差,不利于水土保持和水源涵养。杉木毛竹(*Phyllostachys pubescens*)混交林不仅生长快,生产周期短,收益大,而且具有很好的水土保持和水源涵养作用<sup>[2~4]</sup>。近几年来福建省掀起了毛竹经营热潮,但毛竹纯林产量低,病虫害严重,地力衰退,涵养水源和保持水土的能力较差。本文通过对不同密度杉木毛竹混交林、杉木纯林和毛竹纯林的水源涵养能力和生态效益的差异研究,探讨出杉木最佳密度的杉木毛竹混交林,为生产经营提供理论依据,以便更好地发挥森林的多种效能。

## 1 试验地概况

试验地位于福建尤溪县包溪采育场( $25^{\circ}48' \sim 26^{\circ}24' \text{N}$ , $117^{\circ}48' \sim 118^{\circ}36' \text{E}$ ),属戴云山脉西北面,为亚热带东南季风气候区,年均降水量为  $1460 \sim 1780\text{ mm}$ ,最高时达  $2324\text{ mm}$ ,年平均蒸发量为  $1326.6\text{ mm}$ ,年相对湿度 83%,年平均气温  $18.9^{\circ}\text{C}$ ,年日照时数  $1764.6\text{ h}$ ,无霜期

收稿日期: 1997-04-14 修回日期: 1997-10-15

\* 福建省科学技术委员会科研基金资助项目

第 1 作者简介: 郑郁善,男,1960 年生,副教授

299~333 d。母岩为侏罗纪下统陆相盆地岩浆岩,土壤为红壤,低山带长坡上部立地类型组,低山带长坡上部中厚腐立地类型,土层厚度大于1 m;海拔为670~780 m,平均坡度30°,北坡。本试验地造林前为毛竹天然纯林,1973年皆伐,1974年未经炼山造林,林下植被丰富,有五节芒(*Miscanthus floridulus*),柃木(*Eurya japonica*),岗柃(*Eurya groffii*),阔叶箬竹(*Indocalamus latifolius*),山苍子(*Linderx cubeba*),五叶木通(*Akebia quinata*),黄瑞木(*Adinandra millettii*),金樱子(*Rosa laevigata*),菝葜(*Smilax china*),观音座莲(*Angiopteris fokiensis*),李白(*Diplopterygium glaucum*),芒萁(*Dicranopteris pedata*),算盘子(*Glochidion puberum*)等杂灌、草本植物。

## 2 研究方法

试验地以杉木密度为设置标准,采用随机区组法设置固地试验地,毛竹密度以自然生长状态保留为准。在杉木(19年生)毛竹复合混交林中按杉木密度设置:A(300株·hm<sup>-2</sup>),B(600株·hm<sup>-2</sup>),C(900株·hm<sup>-2</sup>),D(1 350株·hm<sup>-2</sup>),E(1 800株·hm<sup>-2</sup>),F(2 100株·hm<sup>-2</sup>),以及G(杉木纯林2 040株·hm<sup>-2</sup>),H(毛竹纯林3 150株·hm<sup>-2</sup>)等8个处理。每个处理各设3个重复,共有24个试验地。每个标准地面积为25.8 m×25.8 m。整地、挖穴、造林、幼林抚育和成林管理按常规实施。

在试验地内进行每木调查,以林分平均高和平均胸径选择杉木毛竹的平均标准木(竹),按照Monisi分层切割法<sup>[5]</sup>调查各模式林分乔木层生物量,用样方收获法测定各模式林下植被层和枯枝落叶层生物量<sup>[5]</sup>,用浸水法测定林冠层持水量和持水率<sup>[4,6]</sup>。土壤渗透性能、土壤排水能力和土壤贮水能力采用环刀法分层后取样测定<sup>[7]</sup>,计算土壤渗透系数、土壤排水能力和土壤贮水量。

## 3 结果与分析

### 3.1 地上部分持水量

降水首先被林冠层所截留,而林冠层的截留能力,主要取决于林冠层枝叶生物量、叶面积指数和枝叶持水率。不同密度杉木毛竹混交林的林冠层持水能力见表1。杉木毛竹混交林的林冠层生物量与杉木密度有密切关系,随杉木密度增加,林冠层生物量也随之加大,到一定密度时林冠层生物量又开始呈下降趋势,即两者呈二次曲线关系;同样其持水量也和杉木密度呈二次曲线关系(图1)。

表1和图1表明在杉木密度1 350株·hm<sup>-2</sup>的杉木毛竹混交模式中,林冠层生物量最大(73.084 t·hm<sup>-2</sup>),林冠层持水量也最大(18.781 t·hm<sup>-2</sup>)。在杉木毛竹混交林中,杉木密度在1 350~2 100株·hm<sup>-2</sup>范围内,林冠层生物量变化并不大,变幅为0.759 t·hm<sup>-2</sup>,只占全重的百分之一,同样其持水量变化也甚小。表明在一定杉木密度范围内杉木毛竹混交林的林冠层生物量所能达到的能力是恒定在一定范围之内,并不随着杉木密度增加而变化。杉木一定密度范围的混交林能充分利用杉木生长达到极限以后的空间进行生长,增加林冠层生物量,提高林冠层持水量。当杉木密度过大,留给毛竹生长的空间就少,毛竹生物量也少。在杉木密度1 350株·hm<sup>-2</sup>的混交林中,林分总生物量和总持水量均达最大,分别比杉木纯林多0.759 t·hm<sup>-2</sup>和0.545 t·hm<sup>-2</sup>,比毛竹纯林多30.759 t·hm<sup>-2</sup>和2.869 t·hm<sup>-2</sup>,也比其他混交林总持水量大。

## 生物量和总持水量高

表 1 各模式地上部分持水量

Table 1 Water-holding content above ground part of mixed forest with different densities

$t \cdot hm^{-2}$

密度 模式	杉木		林冠层		林下植物层		枯枝落叶层		总计	
	胸径 / cm	树高 / cm	生物量	持水量	生物量	持水量	生物量	持水量	生物量	持水量
A	20.5	15.6	19.234	5.897	5.051	2.841	1.401	5.157	25.686	13.535
B	17.3	12.4	26.128	7.464	4.650	1.893	1.526	4.233	32.304	13.592
C	18.7	13.8	56.247	14.617	3.875	1.221	1.928	5.826	61.977	21.704
D	19.1	14.1	73.084	18.781	2.228	1.064	1.887	5.612	77.199	25.424
E	17.5	13.9	72.895	18.739	1.849	1.022	1.693	3.623	76.437	23.384
F	16.2	13.7	72.696	18.187	1.750	0.955	1.331	3.120	75.787	22.262
G	18.1	14.6	72.325	18.236	0.952	0.423	1.442	3.622	74.719	22.281
H	—	—	42.325	15.912	5.725	3.129	1.257	3.074	49.307	22.115

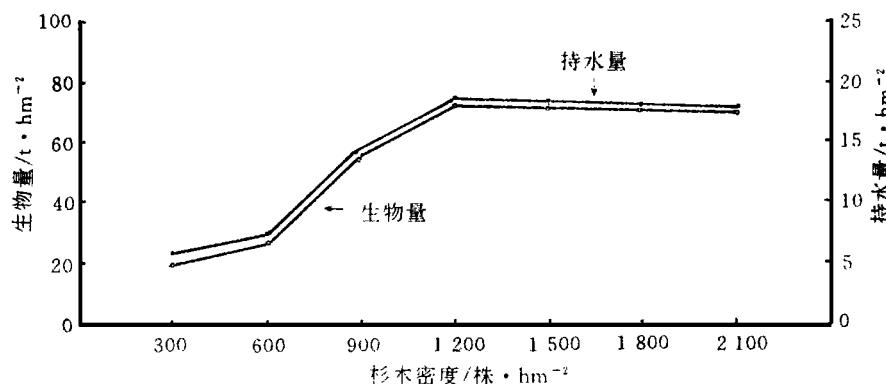


图 1 各模式林冠层生物量和持水量

Fig. 1 Biomass and water-capacity of canopy of mixed forest with different densities

林下植物层是森林截持雨水的第二个作用层。毛竹纯林下植物层最丰富,数量最大( $5.725 t \cdot hm^{-2}$ )。其持水量也最大( $3.129 t \cdot hm^{-2}$ );而杉木纯林林下植物稀少,持水量也最小。枯枝落叶层具有吸收雨水、调节和消弱地表径流作用。各种混交林中的枯枝落叶量不同,杉木密度为2100株。 $hm^{-2}$ 时数量最少,杉木密度为900株。 $hm^{-2}$ 时,枯枝落叶量最大( $1.928 t \cdot hm^{-2}$ ),持水量最大( $5.826 t \cdot hm^{-2}$ )。

综合林冠层、林下植物层和枯枝落叶层的持水能力,杉木密度1350株。 $hm^{-2}$ 的林分生物量最大( $77.199 t \cdot hm^{-2}$ ),持水量最大( $25.424 t \cdot hm^{-2}$ ),分别比杉木纯林高 $2.48 t \cdot hm^{-2}$ 和 $3.143 t \cdot hm^{-2}$ ,比毛竹纯林高 $27.892 t \cdot hm^{-2}$ 和 $3.309 t \cdot hm^{-2}$ ,也比其他混交林高。

### 3.2 林地土壤贮水性能

森林土壤是水分贮蓄的主要场所,而非毛管孔隙则是水分进入土壤的主通道。森林土壤贮藏水量主要取决于土壤非毛管孔隙度的大小,用公式计算: $W = 10000 HP$ , $W$ 为土壤贮水量, $H$ 为土层厚度/m, $P$ 为非毛管孔隙度/%。

森林土壤降水滞留量和非毛管孔隙度分析结果(表2),杉木密度为1350株。 $\text{hm}^{-2}$ 时的混交林土壤非毛管孔隙度最大,0~25 cm层土壤非毛管孔隙度为17.28%,是杉木纯林的1.15倍,毛竹纯林的1.35倍;20~40 cm层土壤非毛管孔隙度是杉木纯林的1.10倍,毛竹纯林的1.20倍。混交林土壤持水量较大,涵养水源和供应水分能力更好。不同混交林中,杉木密度为1350株。 $\text{hm}^{-2}$ 的林地土壤涵养水源能力最好,0~20 cm层土壤中非毛管孔隙度是杉木密度为300株。 $\text{hm}^{-2}$ ,600株。 $\text{hm}^{-2}$ ,900株。 $\text{hm}^{-2}$ ,1800株。 $\text{hm}^{-2}$ ,2100株。 $\text{hm}^{-2}$ 的1.34倍、1.15倍、1.08倍和1.19倍;20~40 cm土层中杉木密度为1350株。 $\text{hm}^{-2}$ 的林分有同样的优势。毛竹林的土壤孔隙度比杉木纯林土壤孔隙度小。杉木毛竹混交林土壤孔隙度大,当杉木密度达到600株。 $\text{hm}^{-2}$ 时,其土壤孔隙度超过杉木纯林,表明混交林地下部分有相互促进性能,具有改良土壤物理性状和结构的作用。比较各种混交林,可知杉木密度1350株。 $\text{hm}^{-2}$ 的混交林比其他混交林分有更好的涵养水源、保持水土能力。

表2 各模式林地土壤(0~40cm)贮水性能

Table 2 Water-holding capacity of soil in mixed forest with different densities

密度模式	土层 /cm	容重 /g $\cdot \text{cm}^{-3}$	非毛管孔隙 /%	自然含水量 /%	土壤贮水量 /t $\cdot \text{hm}^{-2}$	0~40cm土层贮水量 /t $\cdot \text{hm}^{-2}$	
						0~20	20~40
A	0~20	0.97	12.86	39.15	257.2		493.0
	20~40	1.04	11.79	33.90	235.8		
B	0~20	0.95	15.05	48.59	301.0		542.6
	20~40	1.03	12.08	44.44	241.6		
C	0~20	0.91	15.89	39.46	317.8		568.4
	20~40	1.00	12.53	37.60	250.6		
D	0~20	0.89	17.28	48.56	345.6		611.2
	20~40	0.99	13.28	36.90	265.6		
E	0~20	0.93	17.14	47.74	342.8		568.4
	20~40	1.03	11.28	35.49	225.6		
F	0~20	0.98	14.54	35.34	304.8		528.6
	20~40	1.04	11.19	31.13	223.8		
G	0~20	0.94	15.02	32.78	300.4		542.2
	20~40	1.00	12.09	28.04	241.8		
H	0~20	1.05	12.74	46.19	254.8		475.6
	20~40	1.09	11.04	37.89	220.8		

### 3.3 土壤渗透性能

土壤渗透能力的大小,一般用10°C时土壤稳渗系数 $K_{10}$ 来表示,也考虑每分钟内水在土壤中下渗的速度即渗透速度,它是林分水源涵养功能的重要指标之一,与土壤质地、结构、孔隙度、有机质含量、土壤湿度以及土温有关,在一定的降水强度条件下,水分可以充分进入土壤贮存或形成地下径流,减少水分损失。

毛竹纯林土壤渗透性能比杉木纯林好,渗透速度(初渗值)达 $21.23 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,比杉木纯林快 $1.74 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。混交林土壤渗透性能比毛竹纯林更好。对各种混交林比较,杉木密度1350株。 $\text{hm}^{-2}$ 的土壤渗透性能最好,初渗值达 $60.86 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,稳渗值达到 $24.32 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 分别是杉木纯林的2.5倍和2.3倍,是毛竹纯林的2.5倍和1.6倍(表3)

表 3 各模式土壤(0~20 cm)渗透性能和林分总持水量

Table 3 Infiltration capacity of soil and total water-holding capacity of stands

模式	有机质 %	容重 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-3}$	渗透速度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$		渗透系数 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$		地上部分 持水量 / $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	地下部分 持水量 / $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	总持水量 $/\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$
			初渗值	稳渗值	初渗值	稳渗值			
A	4.363	0.97	20.65	14.42	7.95	4.08	13.535	493.0	506.535
B	4.098	0.95	23.71	16.54	11.15	7.78	13.592	542.6	556.192
C	3.607	0.91	23.26	21.02	15.65	9.24	21.704	568.4	590.104
D	3.542	0.89	60.86	27.60	28.63	12.98	25.424	611.2	636.624
E	3.402	0.93	54.11	24.32	25.63	9.97	23.384	568.4	591.784
F	2.727	0.98	29.37	16.27	13.81	7.65	22.262	528.6	550.862
G	3.302	0.94	21.23	14.95	9.99	7.03	22.282	542.2	564.482
H	2.254	1.05	19.49	10.42	7.51	3.84	22.115	475.6	497.715

### 3.4 林分持水能力分析

地上部分持水量比地下部分小得多,但地上部分特别是林冠层是截留雨水的第一作用层,起到先锋作用,对阻挡雨水侵蚀,减小雨滴的溅蚀,有着很大作用。地表径流是造成水土流失的主要原因,地上部分的枯枝落叶和地上植物的根径部能够很好地减少地表径流。林分的主体贮水在土壤中,土壤层贮水量是地上部分几倍(表3)。杉木纯林比毛竹纯林持水能力强,总持水量多 $66.787 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;混交林持水能力更强,杉木密度 $900 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的混交林持水量已达 $590.104 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比杉木纯林增加 $25.622 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,在杉木密度 $1350 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的混交林持水能力最强( $636.624 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),比杉木纯林大 $72.142 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。地上部分持水量仅占总持水量的 $2.4\% \sim 4.4\%$ 。

## 4 结论

杉木密度为 $1350 \sim 2100 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的混交林,林冠层生物量变化不大,持水量也变化不大;杉木密度小于 $1350 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,林冠层生物量大幅度减少,持水量也相应减少;杉木密度 $1350 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的混交林总生物量和总持水量最大,分别达 $77.199 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $25.424 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

林地土壤是水分主要贮存场所。杉木密度 $1350 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的混交林土壤贮水能力最强( $611.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),比杉木纯林多 $135.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比其他模式高;土壤渗透性能也比其他模式林分好。渗透速度(初渗值)为 $60.86 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,稳渗值为 $27.60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在杉木密度 $1350 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的混交林具有最强的贮水能力,总贮水量达 $636.624 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比杉木纯林增加 $72.142 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比毛竹纯林增加 $136.715 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

杉木毛竹混交林无论在林冠层的截留水量、地上部分持水能力、林地土壤贮水能力等都比杉木纯林、毛竹纯林更大。杉木和毛竹混交后,杉木密度较低时,林下植被层和枯枝落叶层增加,有效地减少了地表径流,增加林地蓄水量,使保持水土能力加强。杉木毛竹混交林改善林地土壤结构,疏松了土壤,使渗透性能好,增加土壤孔隙度,增强林地贮水能力。

在杉木毛竹混交林的长期演替中,地上部分水文作用发生一定的变化。杉木初植时,毛竹和林下植物层起着主要作用,同时保护杉木幼林成长,随着杉木林郁闭,林冠层形成,杉木林冠层的作用显著加大,逐渐起到主要作用,但随林分生长,林冠又会疏开,持水量下降,保持水土

的主要作用又落到毛竹林和林下植被层及地表枯枝落叶层上。杉木毛竹混交林中,毛竹起到缓冲作用,可以增强林分稳定性。我国南方各省杉木产区中正在推广杉木大径材培育,必然要降低密度经营,从而导致杂草丛生,林内透光度大,不仅浪费林地,也影响杉木生长。毛竹具有短平快特点,在南方各省也有经营杉木毛竹混交林历史经验。为此在培育杉木大径材时可以混种毛竹,也可在毛竹纯林中种植杉木或杉木林中种植毛竹,以增强林分的稳定性,提高林分的水源涵养功能,增加经济效益。

## 参 考 文 献

- 1 俞新妥.杉木.福州:福建科学技术出版社,1982. 97
- 2 刘向东,吴钦孝.六盘山林区森林树冠截留枯枝落叶层和土壤水文性质的研究.林业科学,1989, 25(3): 220~ 227
- 3 L 理查德,著;姚启润,译.森林小气候.北京:气象出版社,1986. 169~ 196
- 4 姜志林.森林生态系统蓄水保土功能.生态学杂志,1984, (1): 58~ 63
- 5 Monsi M.植物群落的数学模型.植物生态学译丛,1974, (1): 123~ 144
- 6 张万儒.森林土壤定位研究方法.北京:中国林业出版社,1986. 43~ 78
- 7 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析.上海:上海科学技术出版社,1978. 511~ 525

Zheng Yushan( Fujian College of Forestry, Nanping 353001, PRC), Guan Dayao, and Li Renchang. **Water-holding Capacity of Mixed Forest in *Cunninghamia lanceolata* and *Phyllostachys pubescens***. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1998, 15(1): 63~ 68

**Abstract** The research was made at Baoxi Forest Farm of Youxi County, Fujian Province. The mixed forest with Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) and moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) was established in 1974. The results showed that mixed forest with the density of 1 350 plants per hectare for Chinese fir had the strongest function of water conservation. The water-holding content in canopy of mixed forest was  $0.545 \text{ t}^\circ \text{ hm}^{-2}$  more than pure Chinese fir, and was  $3.143 \text{ t}^\circ \text{ hm}^{-2}$  more than pure moso. Total water-holding above ground part reached to  $25.424 \text{ t}^\circ \text{ hm}^{-2}$ ,  $3.143 \text{ t}^\circ \text{ hm}^{-2}$  and  $3.309 \text{ t}^\circ \text{ hm}^{-2}$  more than pure Chinese fir and pure moso respectively. Total water-storing of soil at 0~40 cm was  $611.2 \text{ t}^\circ \text{ hm}^{-2}$ , larger than pure Chinese fir, pure moso and other mixed forests. Initial infiltration and stable infiltration capacities were  $60.86 \text{ mm}^\circ \text{ min}^{-1}$  and  $24.32 \text{ mm}^\circ \text{ min}^{-1}$ , which were 2.8 times and 2.3 times for pure Chinese fir, and 2.5 times and 1.6 times for pure moso stand, respectively.

**Key words** *Cunninghamia lanceolata*; *Phyllostachys pubescens*; mixed forest; moisture equivalent; forests for conservation of water supply