

# 杉木大径材-闽楠复层林经营对林分生长和材种结构的影响

侯政杰<sup>1, 2</sup>, 邹显花<sup>1, 2</sup>, 刘爱琴<sup>1, 2</sup>

**摘要:** 通过研究杉木大径材-闽楠复层林经营对杉木林分生长的影响与大径材的培育效果, 为实现大径材高效培育提供科学依据。本研究以 24 年生杉木林为研究对象, 采用完全随机区组设计方法, 本研究以福建省邵武卫闽国有林场 27 年生杉木人工林为研究, 进行不同间伐保留密度下杉木大径材-闽楠复层林研究, 设置套种闽楠, 杉木保留密度 40 株/亩与套种闽楠, 杉木保留密度 60 株/亩两种间伐保留密度, 同时以不间伐不套种措施作为对照。通过在杉木纯林择伐林地开展林下闽楠珍贵树种的种植, 优化了林分结构和功能, 构建更加健康、稳定、优质、高效的复层林, 既有利于杉木大径材培育, 又拓展了珍贵树种的发展空间, 为缓解杉木连栽地力衰退、推广杉木多层次经营模式、培育杉木大径材提供科学依据。结果表明: 杉木大径材-闽楠复层林经营的中低保留密度均能提高林分平均生长量, 且能显著提高林分的中间收益, 径级分布均呈现正态分布, 大径级株数占比高于对照和高保留密度模式, 且中低保留密度径级分布最为集中。通过材种结构分析表明, 杉木大径材-闽楠复层林低密度经营能显著提高林分大径材的出材量与出材率, 林分总出材量也大于对照和高保留密度林分。综上所述, 杉木大径材-闽楠复层林低密度经营能促进林分的生长, 且较有利杉木大径材的生长, 但两者差异并不显著。

**关键词:** 杉木; 林下套种; 大径材培育; 材种结构

## Effects of management of large diameter wood of Chinese fir and multilayer forest of fuchsia on stand growth and seed structure

**Abstract:** Through the study of the effect of the management of large diameter of Chinese fir and the multi-layer forest of Fujian nan on the stand growth of Chinese fir and the cultivation effect of large diameter of Chinese fir, to provide a scientific basis for the efficient cultivation of large diameter of Chinese fir. This study Chinese fir forests in 24 years as the research object, USES the completely randomized block design method, this study Shao Wuwei fujian state-owned forest farm of fujian province 27 years of Chinese fir plantation, for research of Chinese fir big diameter under different thinning reserve density material - fujian nan stand of research, set up the fujian nan interplanting, density of Chinese fir reserved 40 plants/mu and li min nan, Retaining density of Chinese fir was 60 plants/mu, and the measures of no thinning and no interplanting were taken as the control. Through the undergrowth in the forest of cunninghamia lanceolata selective min nan precious tree planting, optimized the forest structure and function, build more healthy, stable and high quality, efficient, stand of both fir big diameter wood cultivation, and expand the development space of the precious tree species, to ease to fir the soil fertility decline, the promotion of Chinese fir complex hierarchical management model, provide a scientific basis for cultivating cunninghamia lanceolata big diameter wood. The results showed that the middle and low retention densities of the large-diameter Chinese fir and the multi-layer forest of Fujian and Nan could both increase the average growth of the stand and significantly improve the middle income of the stand. The diameter class distribution presented normal distribution, and the proportion of trees in the large-diameter class was higher than that in the control and the high-retention density model, and the diameter class distribution of the middle and low retention densities was the most concentrated. The analysis of timber species structure showed that low density management could significantly increase the timber yield and timber yield of large diameter stand, and the total timber yield of stand was also higher than that of control stand and high retention density stand. In conclusion, low-density management of Chinese fir large diameter forest and Fujian Nan complex forest can promote the growth of stand, and is more favorable to the growth of Chinese fir large diameter forest, but the difference between the two is not significant.

**Keywords:** *Cunninghamia lanceolata*; Undergrowth interplanting; Large diameter timber cultivation; Material structure.

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)是一种具有极高栽培价值的树种,是我国南方地区重要的林业作物之一,具有生长快、产量高、材质优,木材纹理通直等优点,是一种拥有极高经济价值的树种,对增加林农收入和国家经济建设做出了巨大贡献。大径材是木材里珍贵、应用广泛的材种,多用于建筑、汽车、船舶、家具、工艺品等。然而传统经营比较注重人工林的数量,忽视了树种质量和市场需求的变化。新形势下市场对传统杉木材种的需求发生极大变化,杉木中小径材多,而市场急需的大径材少,供给结构失衡日趋突出。杉木大径材一般采用纯林经营,培育过程中由于杉木保留密度低,杉木树冠小且较稀疏,林分郁闭度小,林下透光度较大,导致林下无经济价值的草本和灌木植被生长茂盛,与杉木竞争水分与养分,对杉木的生长和栽培的经济效益产生不良影响,因此在林下套种珍贵阔叶树就能充分利用空间和太阳能,增加阔叶树木材产量,提高杉木大径材培育的经济效益。

从20世纪80年代,我国就开始对南方混交林进行研究,闽楠是很好的混交林树种。闽楠(*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang)是一种兼具生态效益和经济价值的树种。闽楠生长缓慢,可利用周期长,造林成活率较低,故在生产实践中未能得到大面积营造。杉木人工林下套种闽楠,可充分发挥闽楠伴生辅佐的作用,极大促进了杉木大径材生长。大径材林下空间较大,套种楠木进行复层林经营能充分利用林下空间,提高光能利用率,林下调落物的增加也能促进活化土壤微生物,改善土壤肥力,使生态系统达到良性循环,促进林分的生长。在杉木林下套种闽楠也成为了顺应社会潮流的必然趋势。

已有学者就杉木-闽楠复层林营造后林木生长进行了一些研究和探讨。为进一步探究杉木大径材-闽楠复层林经营对林分生长和材种结构的影响,本研究以福建省邵武卫闽国有林场27年生杉木人工林为研究,进行不同间伐保留密度下杉木大径材-闽楠复层林研究,设置套种闽楠,杉木保留密度40株/亩与套种闽楠,杉木保留密度60株/亩两种间伐保留密度,同时以不间伐不套种措施作为对照。通过在杉木纯林择伐林地开展林下闽楠珍贵树种的种植,优化了林分结构和功能,构建更加健康、稳定、优质、高效的复层林,既有利于杉木大径材培育,又拓展了珍贵树种的发展空间,为缓解杉木连栽地力衰退、推广杉木复层次经营模式、培育杉木大径材提供科学依据。

## 1 研究地自然概况

试验地设置在福建省南平市邵武卫闽国有林场,地处武夷山北部中区东南侧山山脉,东经117°43'北纬27°05',为杉木主产区之一。主要地貌为低山、高丘,海拔250m~700m,坡度25°~35°。气候温和湿润,年平均气温17.7°C,1月平均气温6.8°C,7月份的平均气温28°C,极端低温-7.9°C,全年日照时数1740.7h,平均霜期95d,最长达132d。年降水量1768mm,年平均相对湿度82%,属亚热带季风气候,地理气候条件适宜杉木生长。该地区的土壤主要是以花岗岩为母质的红壤,土壤肥沃,腐殖质含量高。试验地设在卫闽国有林场卫闽管护站045林班53大班020小班,前期为杉木采伐迹地,1994年采伐后进行炼山,小块状整地,种植穴规格为40cm×40cm×30cm,回表土,造林密度为1995株·hm<sup>-2</sup>。1995年2月采用本场一代种子园所产杉木种子的一级苗造林,幼林郁闭前,每年进行二次全锄抚育。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

选择立地条件基本一致的24年生杉木近成熟林,2015年2月套种2年生闽楠,闽楠密度为90株/

亩，2017 年对杉木进行间伐处理，并设计两种间伐保留密度(40 株/亩与 60 株/亩)，同时设置不套种闽楠作为对照处理；进行不同杉木大径材-闽楠复层林经营模式的比较，具体设计见表 1。每个处理重复 3 次，每个标准样地面积 400m<sup>2</sup>(20m×20m)，标准地的 4 个角点埋设木桩作为标志。

表 1 杉木-闽楠复层林经营处理设计表

Table 1 Design table of management level of *Cunninghamia lanceolata* - Fujian - Nan complex forest

处理编号	处理措施	处理方式
TN-40	套种闽楠	闽楠密度 90 株/亩，杉木间伐保留密度 40 株/亩
TN-60	套种闽楠	闽楠密度 90 株/亩，杉木间伐保留密度 60 株/亩
CK	对照（无套种闽楠）	杉木密度 60 株/亩

## 2.2 调查方法

2020 年，对样地内的乔木进行每木检尺，测量杉木与闽楠的胸径、树高、冠幅，并计算林分内杉木与闽楠的单株材积和蓄积量等。比较不同复层林经营模式下杉木与闽楠的单株生长情况，并分析不同林分内乔木的径级分布规律与材种结构差异，探究杉木人工林不同复层林经营模式对单株木的生长影响。

## 2.3 计算方法

### 2.3.1 复层林林分材种结构分析

#### 2.3.1.1 径阶平均胸径

以 2 cm 为一个径阶，对各径阶株数进行统计，并分别计算各径阶杉木的平均胸径，计算公式（1）如下：

$$\bar{D}_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum d_i^2} \quad \dots\dots (1)$$

其中 N 表示第 i 阶总株数，d<sub>i</sub> 表示第 i 径阶胸径值。

#### 2.3.1.2 径阶平均树高

运用 Excel 软件对胸径、树高两个因子进行回归拟合，一般选取同一林分的多个样地林分数据作为样本数据（由于受样本量的影响，单个样地林分数据一般不单独作回归拟合，影响拟合精度），选取 R<sup>2</sup> 最大值的回归方程作为最佳回归拟合方程，再将各径阶的平均胸径带入方程，得出各径阶的平均树高。按上述方法可对林分活立木径阶株数进行统计，并计算出对应径阶的径阶平均胸径，拟合树高和实测平均树高。

#### 2.3.1.3 单株材积

单株材积公式：

$$v_i = 0.000058777042 \cdot D_i^{1.9699831} \cdot H_i^{0.89646157}$$

其中 D<sub>i</sub> 为第 i 径阶平均胸径，H<sub>i</sub> 为第 i 径阶拟合树高。

#### 2.3.1.4 径阶材积

分别计算样地内各径阶平均单株材积(v<sub>i</sub>)，乘以所对应的径阶株数，即得相对应径阶材积(V<sub>i</sub>)。计算公式为：V<sub>i</sub>=v<sub>i</sub>•N<sub>i</sub>

其中  $N_i$  为第  $i$  阶总株数。

### 2.3.2 材种株数划分

林分各材种以径阶大小为区分标准，分别计算各径阶立木出材量，并按表 3 所示比例对林分立木各径阶中各材种所占株数进行归并。

表 2 各径级杉木株数材种占比 (%)  
Table 2 Number of Chinese fir trees of different diameter classes (%)

材种 timber species	径阶 Diameter class									
	< 6	8	10	12	14	16	18	20	22	≥ 26
薪材 Fuelwood	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小条木 Long narrow timber	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
小径材 Small wood	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0
中径材 Middle wood	0	0	0	0	0	0	0	100	100	5
大径材 Large timber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5

### 2.3.3 材种出材量计算

各材种以径阶大小为区分标准，分别计算各径阶立木出材量。并对林分立木各径阶中各材种所占株数进行归并。

各径阶各材种株数划分后，分别按规格材和非规格材（小条木）计算各材种出材量和林分总出材量：

当平均胸径小于 6cm 时，均按单株材积公式计算材积量；

当平均胸径大于 6cm 时，则采用杉木出材经验公式计算，其中，规格材各材种出材量计算公式如下：

$$V_{\text{规(原条)}} = 3.60243758 \times 10^{-5} \times D^{1.94752076} \times H^{1.00793769}$$

$$V_{\text{规(薪材)}} = 5.35633889 \times 10^{-3} \times D^{-0.567409453} \times H^{0.632966036}$$

$$V_{\text{规(废材)}} = 2.85679844 \times 10^{-5} \times D^{1.85964898} \times H^{0.686898895}$$

非规格材（小条木）各材种出材量计算公式如下：

$$V_{\text{非规(小条木)}} = -0.0275552409 + 3.68649463 \times 10^{-3} \times D + 1.67244305 \times 10^{-3} \times H$$

$$V_{\text{非规(薪材)}} = 9.44348782 \times 10^{-4} - 8.25571796 \times 10^{-5} \times D + 3.39741113 \times 10^{-4} \times H$$

$$V_{\text{非规(废材)}} = -9.71138159 \times 10^{-3} + 1.67009235 \times 10^{-3} \times D + 3.11969525 \times 10^{-4} \times H$$

## 2.4 数据分析处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理，采用 SPSS19.0 软件进行数据分析，相关性分析用单因素方差分析，并用 Origin9.1 作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 杉木-闽楠复层林经营对杉木生长和材种结构的影响

3.1.1 杉木-闽楠复层林经营对杉木生长的影响

对三种处理的平均生长情况(表3)比较可见,杉木平均胸径、平均树高、单株材积表现为:TN-40>TN-60>CK;但各个指标均未达到显著水平( $P>0.05$ ),蓄积量表现为:CK>TN-60>TN-40;TN-40与TN-60相比,TN-40的杉木平均胸径、平均树高、平均单株材积分别比TN-60模式提高了3.19%、10.07%、29.2%;而TN-60的杉木平均胸径、平均树高、平均单株材积分别比CK提高了0.89%、1.29%、4.34%;可见,套种闽楠,杉木保留密度为40株/亩的处理模式对杉木单株生长的促进作用更明显,杉木林分的蓄积量则表现为套种闽楠,杉木间伐保留密度为60株/亩的处理大于40株/亩的处理。

表3 不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林的林分平均生长量比较

Table 3 Comparison of average stand growth between *Cunninghamia lanceolata* and Fujian - Nan multilayer forest with different thinning retention densities

处理	平均树高/m	平均胸径/cm	平均单株材积/ m <sup>3</sup>	蓄积量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>
TN-40	21.00±0.62a	26.76±0.65a	0.62±0.054a	400.05±11.38a
CK	20.17±1.00a	24.00±0.14a	0.46±0.048a	428.94±48.45a
TN-60	20.35±1.21a	24.31±1.74a	0.48±0.097a	417.80±79.28a

注:不同小写字母代表代表不同处理之间达到显著性水平( $p<0.05$ )

3.1.2 不同间伐保留密度杉木大径材-闽楠复层林杉木材种结构比较

27年不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林处理措施下,林分的出材量均表现为:大径材>中径材>小径材>小条木,不同处理模式均以大径材出材为主。总蓄积量表现为:CK>TN-60>TN-40;三种模式均以大径材出材为主,出材率到达65.41%、56.9%以及55.72%。可见,套种闽楠,杉木保留密度40株/亩处理促进了杉木出材量。小条木、小径材、中径材、大径材的出材情况均未达到显著水平,但总出材量表现为:TN-40>CK>TN-60;可见,间伐后由于杉木密度降低,导致杉木生长变快,大径材比例增加,中小径材比例减小,且间伐保留密度较低(40株/亩)处理的大径材出材优于密度较高(60株/亩)处理。

表4 27年生不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林杉木材种结构比较

Table 4 Comparison of timber species structure between 26 years old Chinese fir and Fujian and Nan multilayer forest with different thinning retention densities

		TN-40	CK	TN-60
出材量 m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	小条木	0.13±0.19a	0.12±0.085a	0.09±0.063a
	小径材	8.05±3.66a	16.31±1.99a	16.51±11.17b
	中径材	63.45±11.96a	83.88±23.32a	71.50±21.56a
	大径材	316.76±28.74a	230.15±15.05a	232.11±68.23a
出材率%	小条木	0.024±0.035a	0.03±0.020a	0.022±0.016a
	小径材	1.59±0.59a	3.99±0.72a	4.29±3.28a
	中径材	12.95±1.02a	20.01±4.09a	18.52±7.25a
	大径材	65.41±1.70a	55.72±5.45a	56.90±10.60a
占总出材量百分比%	小条木	0.031±0.043a	0.035±0.025a	0.027±0.020a
	小径材	0.40±0.11a	1.23±0.30a	1.43±1.22a
	中径材	3.35±0.16a	6.03±0.94a	6.13±2.97a
	大径材	17.13±2.51a	17.03±2.16a	17.88±3.11a

总出材量 $m^3 \cdot hm^{-2}$	388.39±44.28a	330.35±27.69a	320.20±49.36a
蓄积量 $m^3 \cdot hm^{-2}$	400.05±11.38a	428.94±48.45a	417.80±79.28a

注: 不同小写字母代表代表不同处理之间达到显著性水平 ( $p < 0.05$ )

### 3.1.3 不同间伐保留密度杉木大径材-闽楠复层林不同材种杉木出材增量比较

与 2017 年, 不同杉木-闽楠复层林经营模式下 27 年生杉木大径材出材量增长情况, 林地总出材量增量表现为 TN-40>CK>TN-60; 蓄积量增量表现为 CK>TN-60>TN-40; 小条木、小径材的出材量增量、出材率增量以及占总出材量百分比增长量均为负增长, 而大径材出材量增量表现为: TN-40>TN-60>CK。

表 5 27 年生不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林材种出材增量比较

Table 5 Comparison of seed yield increment of 27 years old Chinese fir with different thinning retention densities and Fujian - Nan multilayer forest

		TN-40	CK	TN-60
出材量增长量 $m^3 \cdot hm^{-2}$	小条木	-0.37±0.55a	-0.73±0.12a	-0.69±0.52a
	小径材	-8.6±3.46a	-4.98±3.11a	-4.68±4.30a
	中径材	-3.95±9.36a	12.85±46.57a	11.41±19.49a
	大径材	182.81±47.95a	134.15±33.59a	149.66±31.95a
出材率增长量%	小条木	-17±0.21a	-0.30±0.05a	-0.31±0.26a
	小径材	-4.63±0.91a	-4.28±0.8a	-5.03±1.88a
	中径材	-9.17±6.58a	-7.67±15.15a	-16.96±4.77a
	大径材	15.73±6.80a	18.48±10.67a	24.10±5.10a
占总出材量百分比增长量%	小条木	-0.22±0.27a	-0.42±0.06a	-0.39±0.33a
	小径材	-2.59±0.53a	-3.15±0.48a	-3.95±2.02a
	中径材	-7.23±3.89a	-8.41±6.41a	-13.81±3.84a
	大径材	-6.52±1.37a	2.82±5.50a	0.66±2.46a
总出材量 $m^3 \cdot hm^{-2}$		177.80±41.21a	166.41±14.73a	151.23±20.55a
蓄积量 $m^3 \cdot hm^{-2}$		130.79±51.20a	177.53±28.70a	169.90±17.24a

注:不同小写字母代表代表不同处理之间达到显著性水平 ( $p < 0.05$ )

### 3.1.4 不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林杉木径阶分布规律

三种处理经营方式的径级以 2 cm 为径阶对样地内的杉木径级结构进行分析。由图 1 可以看出, 三种处理经营方式的杉木直径都是随着径级的增大, 树木株数先增大后逐渐减小。三种处理经营方式对比, TN-40 的杉木主要集中分布在 20-32cm 径阶范围内; CK 处理主要集中分布 18-28 cm 径阶范围内, TN-60 处理主要集中分布 24 cm-34cm 径阶范围内。CK 样地 22 cm 径阶的杉木最多; TN-40 处理样地 32cm 和 24cm 径阶的杉木最多; TN-60 处理在 36 径阶的杉木最多。TN-40 的最大胸径达到 42cm, TN-60 的最大胸径达到 38cm, TN-40 的径阶集中范围最广。三种处理方式综合分析: TN-40 与 TN-60 均有利于杉木大径材生长, 且 TN-40 最佳。

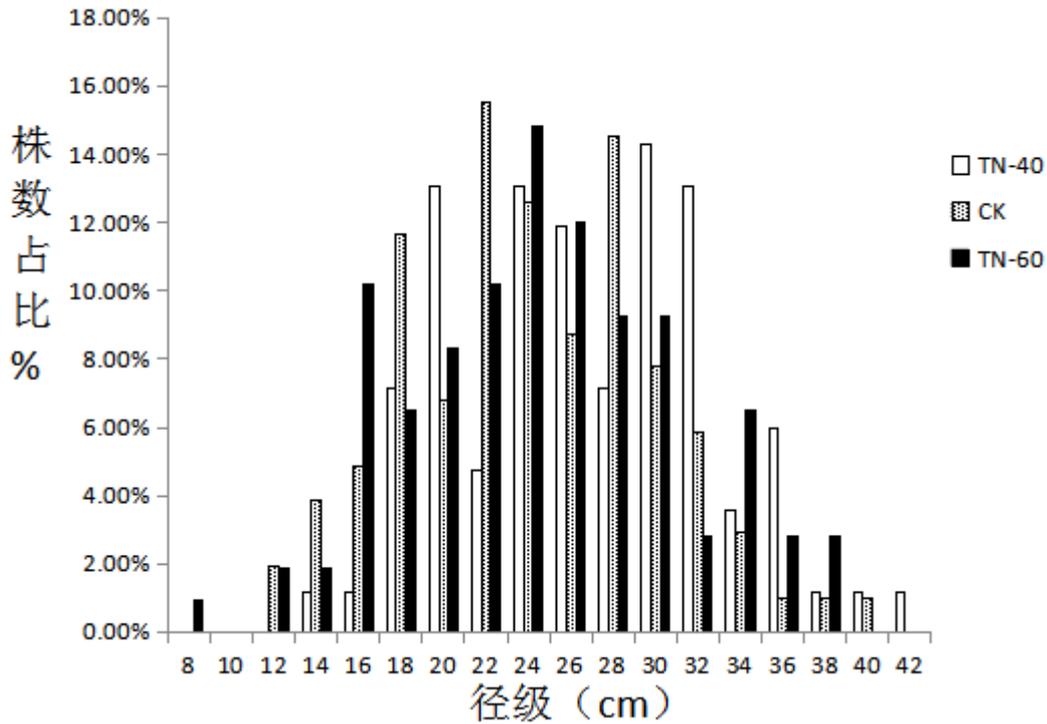


图 1 不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林杉木径阶分布比较

Fig. 1 Diameter-order distribution of different thinning retention densities of *Cunninghamia lanceolata* and Fujian - Nan multilayered forest

### 3.2 杉木-闽楠复层林经营对闽楠生长的影响

#### 3.2.1 不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林对闽楠生长的影响

TN-40 和 TN-60 相比, TN-40 平均树高、平均胸径、平均单株材积、蓄积量都高于 TN-60 处理。2020 年 TN-40 的杉木平均胸径、平均树高、平均单株材积和蓄积量分别比 TN-60 模式提高了 27.84%、20.64%、80%和 45.45%。说明杉木间伐密度为 40 株/亩时有利于闽楠生长。平均树高、平均胸径、平均单株材积、蓄积量都呈现出逐年上升的趋势。

表 6 不同间伐保留密度杉木-闽楠复层林下闽楠林分平均生长量

Table 6 Average growth of nanmu stand under different thinning retention densities of *Cunninghamia lanceolata* and Min Nan multilayer forest

处理		TN-40	TN-60
平均树高/m	2017	2.23±0.055	2.15±0.009
	2018	3.14±0.087	2.82±0.099
	2019	4.03±0.24	3.51±0.13
	2020	5.15±0.53	4.31±0.24
平均胸径/cm	2017	1.66±0.02	1.53±0.002
	2018	2.50±0.15	2.23±0.017
	2019	3.37±0.44	2.84±0.089
	2020	4.09±0.73	3.39±0.18
平均单株材积/m <sup>3</sup>	2017	0.0004±7.69E-09	0.00033±1.004E-09
	2018	0.0012±1.58E-07	0.00086±2.69E-08

	2019	0.0030±1.21E-06	0.0017±2.06E-07
	2020	0.0049±4.31E-06	0.0028±7.0092E-07
	2017	0.73±0.0017	0.7±0.0010
	2018	1.95±0.012	1.68±0.14
蓄积量/m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	2019	4.25±0.077	3±0.056
	2020	8±0.40	5.5±0.18

## 4 讨论

人工复层林是经过人为实施造林形成的具有两个或两个以上的树冠层形成的林分，人工复层林的树种组成和年龄构成也是各种各样，有同龄混交林、异龄混交林和单一树种的复层异龄林，人工复层林可以充分利用生长空间、光照、水分、热和土壤养分条件，增强防护作用和抵抗力，并且具有独特的林分结构、生长规律和经营措施。大量研究表明：不同处理措施对杉木人工林的生长有不同程度的影响，因此，对不同处理下杉木的生长状况进行研究有重要意义。黄旺志、林长安等人研究表明：抚育间伐对提高杉木人工林的生长有很大的促进作用，具体表现为：随着林分密度的降低，杉木平均树高、胸径和单株材积均呈有不同程度的增长趋势。本研究中，TN-40 处理下的杉木平均树高、胸径、单株材积相较于 TN-60 处理分别高出 3.19%、10.07%、29.2%，即低林分密度处理能促进杉木生长，高林分密度处理抑制杉木生长，这与上述研究结果相一致，再次证明随着林分密度降低，杉木林冠层生长空间得到缓解，林木生长速度加快[14]；而从林分蓄积量可以看出，虽然 TN-40 处理下促进了杉木平均树高、胸径和单株材积的增长，但平均蓄积量与 TN-60 处理相比却降低了，这主要是因为通过伐除干扰木和病死枯倒木降低了林分密度，从而导致林分蓄积量减少；范辉华研究发现杉木林下套种闽楠，下层闽楠平均胸径、平均树高、平均最大冠幅、平均枝下高以及最大分枝粗均随着上层杉木保留密度的增加而呈现出降低趋势。与前人研究类似，本研究 TN-40 和 TN-60 的平均树高分别比对照增加了 4.12%和 0.89%，平均胸径分别增加了 11.5%和 1.29%，平均单株材积增量增加了 34.78%和 4.35%。

杉木大中径材培育技术的研究与推广是杉木乃至我国人工用材林提高培育质量和优化产业结构的迫切需求和有效途径。陈代喜[17]在杉木大中径材高效栽培模式研究中发现杉木良种+配套良法确保了大中径材的生长成效。杉木良种+配套良法模式可显著提高营林成效，在相同的培育年限下，可比国家行业标准所规定的林分生长量提高 30.00%以上，使大中径材生长量提前 5~10 年达到或超过国家标准。通过大径材培育与珍贵树种闽楠培育相结合的方式构建杉木-闽楠垂直结构的复层林，可为后续开展森林近自然可持续经营创造条件，有利于杉木人工林生产力和多种功能的维持与提升，本研究发现 TN-40 与 TN-60 均有利于杉木大径材生长，且 TN-40 最佳。

## 5 结论

(1) 通过对比三种不同处理措施下杉木人工林生长，TN-40 处理的平均树高、胸径、单株材积高于 TN-60 处理。说明高林分密度处理抑制杉木生长，证明随着林分密度降低，杉木林冠层生长空间得到缓解，林木生长速度加快。而从林分蓄积量可以看出，TN-40 的蓄积量最低，说明杉木平均树高、胸径和单株材积随着杉木间伐保留密度的增加而降低，但杉木蓄积量随着杉木间伐保留密度的增加而增加。

(2) 通过对杉木出材情况的对比，总出材量表现为：TN-40>CK>TN-60；大径材出材量表现为 TN-

40>TN-60>CK，可见，间伐后由于杉木密度降低，导致杉木生长变快，大径材比例增加，中小径材比例减小。而对总出材量与蓄积量的对比发现，CK>TN-60>TN-40，总出材量增量与蓄积量增量表现为：TN-40>CK>TN-60，原因可能是因为不同处理下的林分密度不同导致林分总出材量与蓄积量的差异。说明 TN-40 模式下能提高大径材的出材量、蓄积量。

(3) 通过径级分布规律研究得出，三种处理均呈现正态分布规律，且通过径级比较，TN-40 径级大于 CK，但对比 TN-40 与 TN-60，TN-40 在径级上的分布大于 TN-60。三种处理方式综合分析：TN-40 与 TN-60 均有利于杉木大径材生长，且 TN-40 最佳。

(4) 不同处理措施下影响闽楠生长影响不同，TN-40 平均树高、平均胸径、平均单株材积、蓄积量都高于 TN-60 处理。且平均树高、平均胸径、平均单株材积、蓄积量都呈现出逐年上升的趋势。说明杉木密度为 40 株/亩时有利于闽楠生长。