

中龄林修枝对杉木林生长和材种结构的影响研究

江宇¹², 黄瑜成¹², 孙麟钧¹², 林华章³, 林照授³, 吴鹏飞¹², 李明¹², 林开敏¹², 马祥庆¹²

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 国家林草局杉木工程技术研究中心, 福建福州 350002, 3. 福建省大田桃源国有林场, 福建大田 366100)

摘要: 为培育杉木大径级无节柱材, 探讨修枝对杉木林生长和材种结构的影响规律, 2003 年以 17 年生杉木中龄林为研究对象, 设计杉木人工林修枝与不修枝试验, 2023 年在中龄林修枝 20 年后进行修枝对杉木人工林生长和材种结构影响的研究。结果表明: 中龄林修枝前 2a 内显著促进了杉木胸径年生长量, 对树高、蓄积量年生长量没有显著影响, 随后修枝对杉木胸径、树高、蓄积量年生长量的影响逐渐减弱, 修枝 20 年后修枝对杉木林胸径、树高、蓄积量的影响均不显著。中龄林修枝 20 年后对杉木林分总生物量没有显著影响, 但显著增加林分树干生物量分配比例, 树干生物量比例比不修枝提高 14.28%, 显著减小了叶的生物量分配比例。中龄林修枝 20 年后显著提高了杉木林大径材出材率和出材量, 有利于杉木大径无节柱材培育。

关键词: 修枝; 杉木; 生长; 生物量; 中龄林;

中图分类号: S791.27 **文章标识码:** A **文章编号:**

Effects of pruning on growth and species structure of middle-aged Chinese fir plantation

JIANG yu¹² HUANG yucheng¹² SUN linjun¹² LIN huazhang³ LIN zhaoshou³ WU pengfei¹² LI ming¹² LIN kaimin¹² MA xiangqing¹²

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. National Forestry and Grass Bureau of Chinese Fir Engineering Technology Research Center, Fujian Fuzhou 350002, China; 3. Fujian Datian State-owned Forest Farm, Fujian Datian 366100, China)

Abstract: In order to cultivate the knot-free log of Chinese fir and explore the influence of pruning on the growth and timber structure of Chinese fir, a pruning and non-pruning experiment of Chinese fir plantation was designed in 2003 with 17-year-old Chinese fir middle-aged plantation as the research object. In 2023, the effects of pruning on the growth and timber structure of Chinese fir plantation were studied after 20 years of pruning in middle-aged plantation. The results showed that the annual growth of DBH of Chinese fir was significantly promoted within 2 years before pruning in middle-aged plantation, and there was no significant effect on the annual growth of tree height and volume. Then, the effect of pruning on the annual growth of DBH, tree height and volume of Chinese fir was gradually weakened. After 20 years of pruning, the effect of pruning on DBH, tree height and volume of Chinese fir plantation was not significant. After 20 years of pruning in the middle-aged plantation, there was no significant effect on the total biomass of the Chinese fir stand, but the proportion of stem biomass allocation was significantly increased. The proportion of stem biomass was 14.28% higher than that of non-pruning, and the proportion of leaf biomass allocation was significantly reduced. After 20 years of pruning in middle-aged plantation, the yield and volume of large-diameter timber of Chinese fir plantation were significantly improved, which was conducive to the cultivation of knot-free log of Chinese fir.

Keywords: pruning; Chinese fir; growth; biomass; middle-aged plantation

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国南方林区主要造林树种, 生长快、产量高、材质好, 是我国人工林面积最大的造林树种(马祥庆等, 2003)。近年来, 随着人们生活水平的提高, 市场对杉木多样性的木材需求增加, 特别是对杉木无节材的需求增加, 因此, 如何培育杉木的无节材满足人们对杉木木材的多样化

需求成为当前林业生产上急需解决的重要课题。

大量研究表明,杉木人工林在生长过程中侧枝基部被包进树干中形成结疤,影响木材的质量和美观(KAI-LI, L *et al.*, 2023; 黄丽娜等, 2022)。目前林业生产上培育的无节材主要有无节板材和无节柱材两种,无节板材的培育目标是保证锯出的板材两面均无节,其修枝开始的时间要尽早进行(LARS, S *et al.*, 2017; MISSANJO, E *et al.*, 2015; 肖祥希, 2005),而无节柱材的培育目标是保证整株原木表面无节,其主要用于盖庙宇和房屋的支柱,其修枝的开始时间可以推迟到中龄林。修枝是培育无节材的主要措施之一(QQ, Z *et al.*, 2022; YANG, Q *et al.*, 2015; 马永春等, 2021),长期来国内外学者对杉木修枝进行了大量研究,取得了不少研究成果。何善情研究发现:合理修枝可显著促进杉木生长,有效增强杉木林下光照强度,促进林下植被发育,提升人工林生态系统稳定性(何善情, 2020)。沙子舟等研究发现:修枝可以有效减少杉木木材的节子体积,提高无节材比例(沙子舟等, 2022)。Dong 等研究发现:修枝可以有效改善杉木干形,优化杉木林分结构(TINGFA, D *et al.*, 2019); Yang 等研究表明:修枝显著降低杉木树干呼吸,尤其在生长季节,但不影响树液流动(YANG, Q *et al.*, 2015)。但目前这些修枝研究主要围绕培育杉木无节板材而进行的,大部分是在杉木幼龄开始修枝,而以无节柱材为培育目标的杉木修枝一般在中龄林和成熟林时进行,但目前这方面的研究相对较少,有关中龄林修枝对杉木林生长和材种结构的影响规律还不清楚。

有鉴于此,本研究以 17 年生杉木中龄林为研究对象,通过设计修枝和不修枝试验开展基于无节柱材培育的杉木中龄林修枝长期研究,在修枝 20 年后进行修枝对杉木人工林生长、生物量和材种结构影响的研究,探讨中龄林修枝对杉木林生长、生物量和材种结构的影响规律,为杉木大径级无节柱材培育提供科学依据。

1 试验地概况

试验地位于福建省三明市大田县桃源国有林场桃源管护站土坑 123 林班,大田属亚热带季风气候区,年降雨量 1040~2435 毫米,年均气温 18.3℃,无霜期 230~311 天。试验地海拔 680m~790m,土壤为山地红壤,坡度 24°,前茬林地为马尾松人工林采伐迹地,土层深厚,立地较好。

1986 年采伐后冬天整地挖穴,1987 年 2 月营造杉木与火力楠混交林,混交比例为 4 杉木:1 火力楠,初植密度 3600 株·hm⁻²。造林后前三年每年进行幼林除草抚育,1988 年、1989 年各进行一次施肥。1996 年进行第一次间伐,间伐时将火力楠全部伐去,间伐强度 50%,保留密度 1800 株·hm⁻²。2002 年在 16 年生时进行第二次间伐,间伐强度 50%,间伐后杉木保留密度 700 株·hm⁻²,2003 年杉木 17 年生时开始中龄林修枝试验。

2 研究方法

2.1 试验设计

为培育杉木无节柱材,2003 年在杉木第二次间伐后的第二年选择立地一致、生长良好 17 年生杉木人工林开展中龄林修枝试验。采用随机区组设计,每个区组设修枝和不修枝处理,共设三个区组,共设 6 个

试验处理小区，每个处理小区面积约 25 亩。修枝处理采用人工攀爬结合楼梯用弯刀一次性修除每一株杉木树高 8m 以下的全部枝条，修除的枝条保留在林地中，不修枝对照处理不采取措施。试验处理实施后，定期对修枝和不修枝处理林分的生长进行调查。

2.2 调查方法

2.2.1 林分生长调查

2023 年在杉木中龄林修枝 20 年后进行修枝和未修枝杉木人工林的全面调查，分别在不同区组试验林中设 20m×20m 标准地，共设 6 块标准地，其中修枝标准地 3 块，不修枝标准地 3 块，标准地四周用固定桩固定。对标准地的杉木人工林进行全面调查，用围径尺进行胸径测定，用 Vertex IV 超声波测高器测定树高。

根据标准地杉木胸径和树高的调查结果，计算标准地杉木平均胸径和平均树高，据此选择杉木平均标准木，每个标准地选择一株平均标准木，共选择 6 株平均标准木，其中修枝标准木 3 株，不修枝标准木 3 株。用油锯伐倒标准木，以 2m 为区分段截取圆盘，带回实验室进行树干解析，计算每株标准木胸径、树高、材积生长过程，比较修枝对杉木林生长的影响规律。

2.2.2 林分生物量调查

根据不同试验处理标准地的胸径和树高调查结果，在每个标准地上选择 1 株平均标准木进行林分生物量调查，共选择 6 株平均标准木，其中修枝处理 3 株、未修枝对照 3 株。

首先用油锯将标准木伐倒后，锯下树干上的所有侧枝，然后按 2m 区分段截取圆盘。分别在 0m、1.3m、4m 处取 4cm 厚圆盘，随后每 2m 取一个圆盘，直至树梢，每个圆盘分别干、皮称重。采用人工挖掘法进行标准木根系生物量调查，用锄头挖出标准木的全部根系。根据前期调查结果表明修枝木林冠层厚度为 12.20m，未修枝杉木林冠层厚度为 13.95m，现按照等比例法将林冠层分成上层（I）、中层（II）、下层（III），即修枝杉木林冠层的每层厚度均为 4.07m，未修枝杉木林冠层的每层厚度均为 4.65m，分别三个层次收集枝、叶。对收集的平均木枝、叶、树干、树皮、树根进行分别称重，并取部分样品带回实验室进行含水率测定，据此计算杉木平均木不同器官生物量。

把野外取回的杉木标准木不同器官样品置 105℃烘箱内杀青 1h，于 65℃烘箱中烘干至恒重，在平衡状态下称重。按以下计算公式计算各器官生物量：

$$W_{dw} = W_{fw} \times \frac{W}{W'} \times \frac{dw}{fw}$$

W_{dw} : 干量, W_{fw} : 鲜量, W' : 样品干量, W : 样品鲜量

按以下公式计算林分生物量结构特征指标：

$$\text{枝叶比 (BNR)} = \frac{W_z}{W_y}$$

$$\text{枝叶指数 (BNI)} = \frac{W_z + W_y}{W_t}$$

$$\text{光合器官比例 (FCR)} = \frac{W_y}{W_t}$$

W_z : 枝组分质量, W_y : 叶组分质量, W_t : 地上部分组分质量

2.3 林分材种出材量计算

(1) 计算平均单株材积林分蓄积量

根据 2023 年最后一次林分调查数据, D_i 、 H_i 分别为样地内各杉木胸径、树高, 计算样地内各杉木单株材积 V_i , 乘以所对应的样地总株数 N_i , 得到相对应的样地材积之和 V 。各样地材积累加求和, 得到各样地林分的总材积, 并换算为每公顷样地所有林分的蓄积量 $V_{\text{总}}$ (单位 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)。

杉木的单株材积公式为:

$$V_i = 0.000058777 \times 1.9699831 D_i \times 0.89646157 H_i$$

$$V = V_i \times N_i$$

(2) 计算材种出材量

依据林分立木材种按径阶大小的区分标准, 分别计算各径阶立木出材量, 并按如表 1 所示比例划分各径阶中各材种所占的株数。

表 1 不同径级林木株数材种占比标准(赵铭臻等, 2023)

Tab. 1 Proportion standard of number of wood species of different diameter grade forest trees

材种 timber type	各径级占比 (%) diameter class ratio											
	<6	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	≥26
薪材 fuelwood	100	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小条木 small wood	0	70	100	60	10	0	0	0	0	0	0	0
小径材 small diameter timber	0	0	0	40	90	100	100	40	0	0	0	0
中径材 medium diameter timber	0	0	0	0	0	0	0	60	100	100	65	0
大径材 large diameter timber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	100

杉木人工林材种结构的计算参考文献(赵铭臻等, 2023)的方法, 不同径级材积株数划分后, 按以下公式计算不同径级的材积出材量及林分总出材量。

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

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

$$V_{\text{规(总)}} = V_{\text{规(小径材)}} + V_{\text{规(中径材)}} + V_{\text{规(大径材)}}$$

2.4 数据处理与统计分析

采用 SPSS 24.0 进行数据统计分析, 利用独立样本 T 检验比较中龄林修枝与未修枝处理生物量及分配

的差异 ($\alpha=0.05$)，采用 Excel 2010 制表和 Origin 2018 作图。

3 结果与分析

3.1 中龄林修枝对杉木人工林生长的影响

3.1.1 胸径生长

表 2 看出，中龄林修枝 20 年后修枝处理胸径比不修枝高 5.26%，但修枝 20 年后对杉木林胸径生长没有显著影响 ($P \geq 0.05$)。

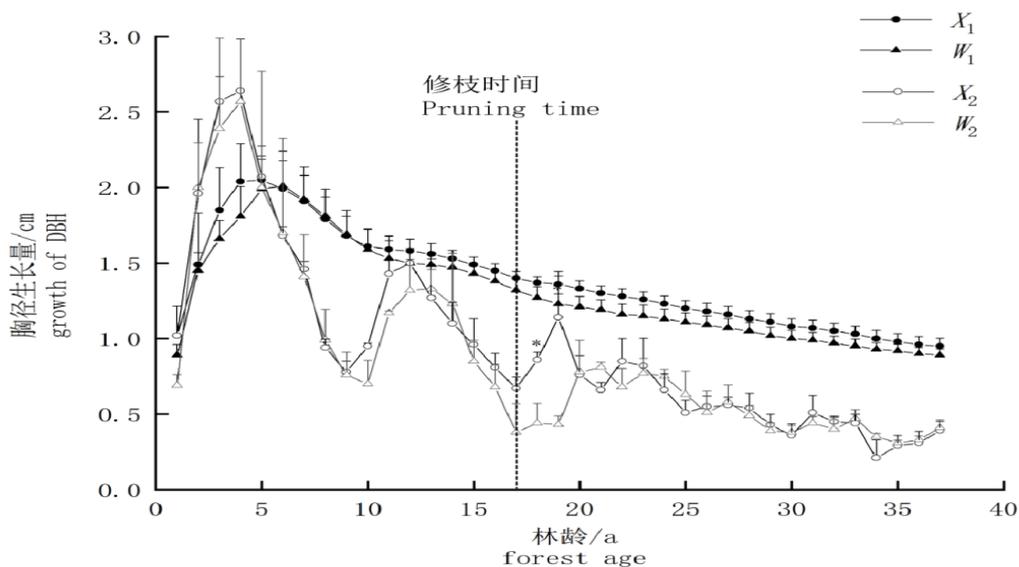
表 2 中龄林修枝对杉木林生长的影响

Tab.2 Effect of pruning on growth of middle-aged Chinese fir plantation

处理 Treatment	保留密度 Retention density	胸径 Diameter	树高 Height	蓄积量 Stand volume
修枝 Pruning	450	39.76±6.22a	29.45±3.38a	693.92±56.70a
不修枝 Non-pruning	475	37.67±4.28a	27.70±3.16a	616.44±127.63a

注：数据后相同小写字母说明修枝与不修枝之间的差异未达显著水平 ($P \geq 0.05$)。保留密度单位为 (株·hm²)，胸径单位为 (cm)，树高单位为 (m)，蓄积量单位为 (m³·hm²)。Note: The same lowercase letters indicate that the difference between pruning and non-pruning is not significant. ($P \geq 0.05$). The retention density unit is (tree·hm²), The diameter unit is (cm), The height unit is (m), The stand volume unit is (m³·hm²).

从图 1 杉木胸径生长过程看，中龄林修枝对杉木林胸径的短期内生长过程有显著影响 ($P < 0.05$)。通过独立样本 T 检验，中龄林修枝后 1a (18 年生) 至修枝后 2a (19 年生) 显著促进了杉木胸径生长，但随后至修枝 20a 后 (37 年生时) 修枝对杉木胸径生长的影响不显著。可见，中龄林修枝短期内有利于杉木人工林胸径的生长，但随后修枝对胸径生长的影响减弱。



注：*表示修枝与不修枝之间的差异达显著水平 ($P < 0.05$) X_1 、 X_2 、 W_1 、 W_2 分别表示修枝木的年平均生长量、修枝木的连年生长量、不修枝的年平均生长量、不修枝的连年生长量。下同 Note: * indicates that the difference between pruning and non-pruning is significant. ($P < 0.05$) X_1 、 X_2 、 W_1 、 W_2 indicate the average increment of pruning, average increment of Non-pruning, current annual increment of pruning, current annual increment of Non-pruning.

图 1 中龄林修枝对杉木林胸径生长过程的影响

Fig. 1 Effect of pruning on DBH growth proces of middle-aged Chinese fir plantation

3.1.2 树高生长

表 2 看出，中龄林修枝 20 年后修枝处理树高比不修枝高 2.55%，但修枝 20 年后对杉木林树高生长的影响不显著 ($P \geq 0.05$)。

从图 2 树高生长过程看出，中龄林修枝对杉木林树高生长过程没有显著影响。通过独立样本 T 检验，修枝后至 20 年修枝和不修枝杉木林的树高生长差异均未达显著水平，说明中龄林修枝对杉木林树高生长过程的影响不明显。

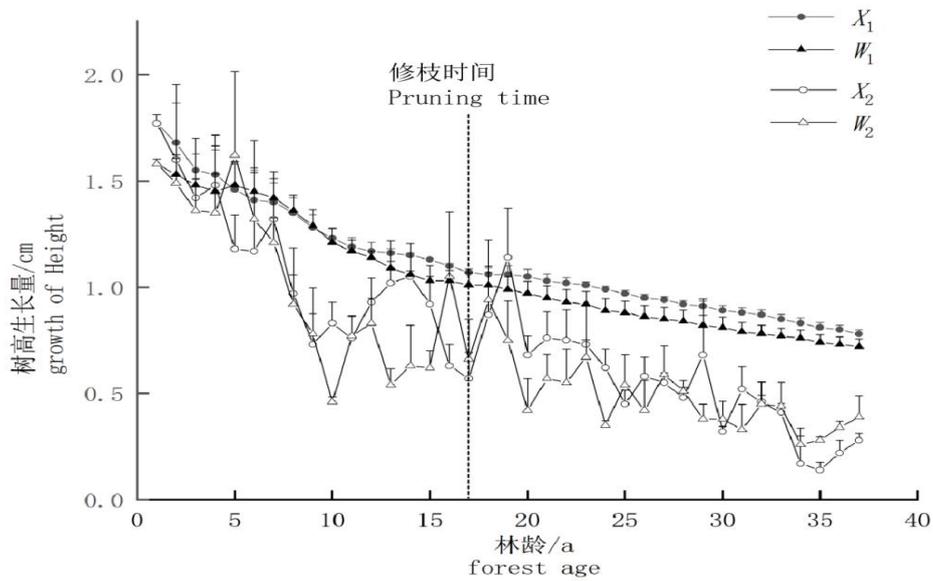


图 2 中龄林修枝对杉木林树高生长过程的影响

Fig. 2 Effect of pruning on Height growth process of middle-aged Chinese fir plantation

3.1.3 蓄积量生长

表 2 看出，中龄林修枝 20 年后修枝处理林分蓄积量比不修枝高 11.17%，但修枝 20 年后对杉木林林蓄积量生长的影响不显著 ($P \geq 0.05$)。

从图 3 蓄积量生长过程看出，中龄林修枝对杉木林蓄积量生长过程没有显著影响 ($P \geq 0.05$)。修枝后至 20 年修枝和不修枝杉木林的蓄积量生长差异均未达显著水平，说明中龄林修枝对杉木林蓄积量生长过程的影响不明显。

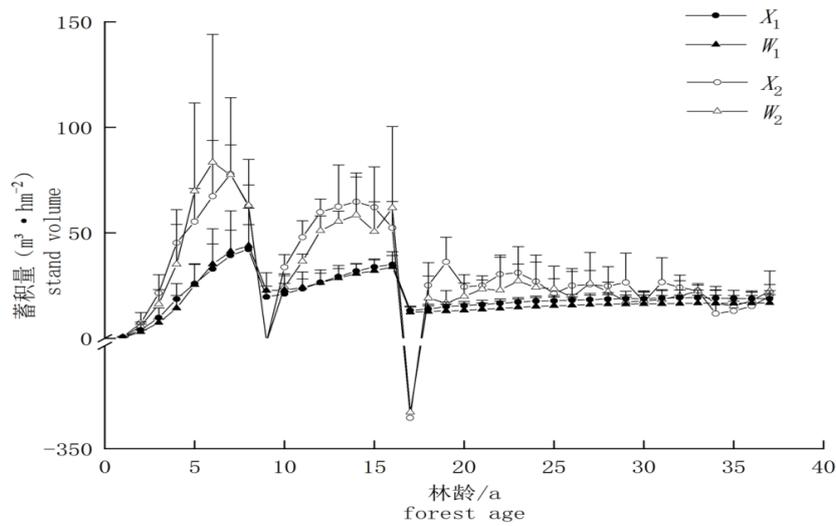


图 3 中龄林修枝对杉木林蓄积量生长过程的影响

Fig. 3 Effect of pruning on Stand volume growth process of middle-aged Chinese fir plantation

3.2 中龄林修枝对杉木人工林生物量的影响

3.2.1 林分生物量

表 3 看出，中龄林修枝对杉木林各器官生物量有不同程度的影响 ($P < 0.05$)。修枝 20 年后林分总生物量比不修枝高 8.30%，但两者的差异未达显著水平 ($P \geq 0.05$)。修枝 20 年后修枝对杉木林冠层的叶生物量有显著影响 ($P < 0.05$)，修枝林分叶生物量比不修枝降低 32.97%，两者的差异达显著水平 ($P < 0.05$)。修枝 20 年后修枝处理杉木枝、叶生物量比不修枝分别降低 5.48% 和 32.87%，修枝林分杉木不同高度叶生物量比不修枝减小 11.85%~56.81%。

3.2.2 林分生物量分配

表 3 看出，中龄林修枝 20 年后对杉木林林分生物量分配有显著影响 ($P < 0.05$)。20 年后修枝林分干生物量占总生物量的 70.28%，显著高于不修枝林分，而叶生物量分配比例显著低于不修枝林分，但修枝与不修枝林分枝生物量的分配差异未达显著水平 ($P \geq 0.05$)。表 4 看出，修枝 20 年后林分上层叶生物量显著大于中层和下层叶生物量，不修枝林分上层叶生物量显著大于下层叶生物量，但林冠中层叶生物量与上层和下层叶生物量之间的差异未达显著水平 ($P \geq 0.05$)。中龄林修枝对杉木林分生物量特征指标有一定影响 ($P < 0.05$)，修枝 20 年后显著降低光合器官占比，比不修枝林分降低 39.04%，但修枝和未修枝林分枝叶比和枝叶指数的差异均未达显著水平。

表 3 中龄林修枝对杉木林分生物量及其分配的影响
Tab. 3 Effects of pruning of middle-aged plantation on biomass and proportion of each organ in Chinese fir plantation

处理 Treatment	干 Trunk			皮 Bark			枝 Branch			叶 Leaf			根 Root			总计 Total
	生物量 Biomass	分配 Distribution														
修枝 Pruning	187.07±8.00a	70.28±2.03a	22.22±2.49a	8.35±0.84a	29.18±7.11a	10.87±2.07a	4.37±0.37b	1.65±0.19b	23.56±0.91a	8.85±0.37a	266.40±15.83a					
不修枝 Non-pruning	160.35±36.98a	65.52±1.00b	22.96±1.59a	9.64±1.78a	30.85±12.23a	12.36±2.49a	6.52±1.24a	2.68±0.16a	23.61±2.85a	9.80±1.09a	244.29±58.92a					

注：数据后不同小写字母表示修枝与不修枝之间的差异达显著水平 (P<0.05), 生物量单位为 (t·hm⁻²), 分配单位为 (%). Note :Different lowercase letters indicate that the difference between pruning and Non-pruning is significant (P<0.05).The biomass unit is (t·hm⁻²),The distribution unit is (%).

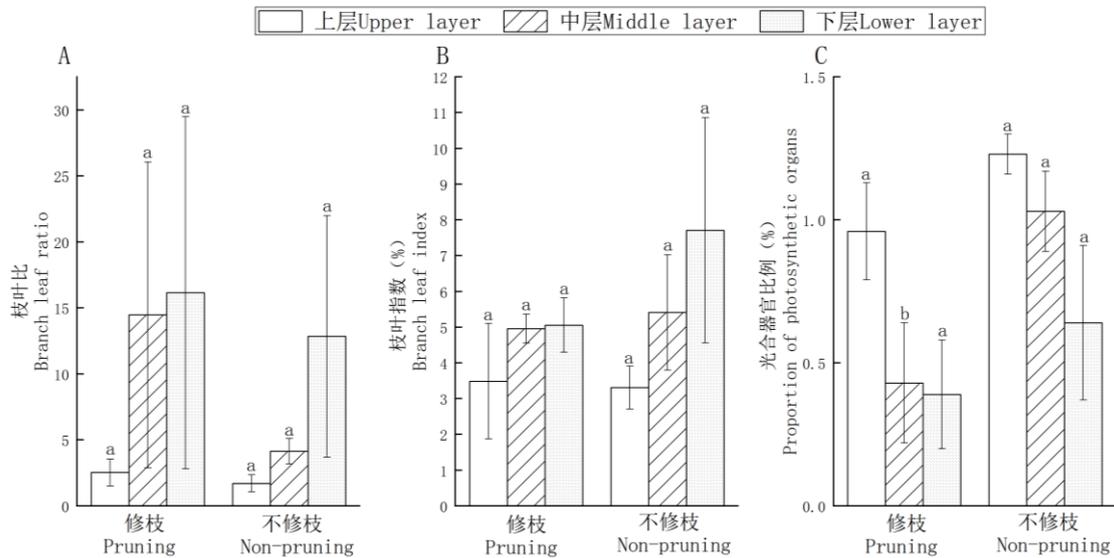
表 4 中龄林修枝对杉木林侧枝生物量特征指标的影响

Tab. 4 Effects of pruning of middle-aged plantation on biomass characteristics of lateral branches in Chinese fir plantation

处理 Treatment	叶生物量 Leaf biomass			枝生物量 Branch biomass			枝叶比 Branch leaf ratio	枝叶指数 Branch leaf index	光合器官比例 Proportion of photosynthetic organs
	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer			
修枝 Pruning	2.38±0.19Aa	1.04±0.18Ba	0.95±0.16Ba	6.35±1.43Ba	11.24±0.77Aa	11.58±1.05Aa	6.74±1.84a	0.14±0.02a	1.78±0.24b
不修枝 Non-pruning	2.70±0.20Aa	2.29±0.24ABb	1.52±0.35Ba	4.83±1.03Ba	9.81±1.68ABa	16.22±3.68Aa	4.59±1.52a	0.16±0.05a	2.92±0.18a

注：数据后不同大写字母表示同一处理不同冠层的差异达显著水平, 不同小写字母表示修枝与不修枝之间的差异达显著水平 (P<0.05), 生物量单位为 (t·hm⁻²), 光合器官比例单位为 (%). Note :Different capital letters indicate that the difference between different canopy layers in the same treatment is significant. Different lowercase letters indicate that the difference between pruning and Non-pruning is significant (P<0.05).The biomass unit is (t·hm⁻²). The Proportion of photosynthetic organs unit is (%).

图 5 看出，中龄林修枝对杉木不同冠层生物量特征指标具有显著影响 ($P < 0.05$)。经独立样本 T 检验，中龄林修枝 20 年后显著降低了林冠层中层的光合器官比例，修枝对杉木光合器官的影响主要集中在中下层，显著降低了不同冠层之间的差异。



注：图中不同小写字母表示修枝与不修枝之间的差异达显著水平 ($P < 0.05$)。Note : Different lowercase letters indicate that the difference between pruning and Non-pruning is significant. ($P < 0.05$).

图 5 中龄林修枝对杉木不同冠层生物量特征指标的影响

Fig. 5 Effects of pruning on different canopy biomass characteristic indexes of Chinese fir in middle-aged plantation

3.3 中龄林修枝对杉木人工林材种结构的影响

表 6 看出，中龄林修枝对杉木林材种结构有显著影响，修枝显著提高了杉木林大径材出材率，减少杉木林中径材出材率 ($P < 0.05$)。修枝 20 年后修枝林分中已没有小条木、小径材和中径材，大径材出材率 100%，而不修枝林分中无小条木和小径材，有少量中径材，大径材出材率为 95.81%，可见，中龄林修枝有利于杉木大径材的培育。

表 6 中龄林修枝对 37 年生杉木林材种结构的影响

Tab. 6 Effect of pruning on wood species structure of 37-year-old in middle-aged plantation

处理 (Treatment)	原条材积量 (Tree-length volume)	大径材 (Large-diameter timber)		中径材 (Middle-diameter timber)	
		出材量 (Output volume)	出材率 (Yield)	出材量 (Output volume)	出材率 (Yield)
修枝 (Pruning)	571.33±47.57a	571.33±47.55a	100.00±0.00a	0.00±0.00b	0.00±0.00b
不修枝 (Non-pruning)	504.99±105.13a	485.02±109.23a	95.81±1.69b	19.98±4.13a	3.43±1.38a

注：数据后不同小写字母表示修枝与不修枝之间的差异达显著水平 ($P < 0.05$)。原条材积量、出材量单位为 ($m^3 \cdot hm^{-2}$)，出材率单位为 (%)。Note : Different lowercase letters indicate that the difference between pruning and Non-pruning is not significant. ($P < 0.05$). The tree-length volume unit is ($m^3 \cdot hm^{-2}$), The yield unit is (%).

4 讨论

大量研究表明,修枝对人工林生长的影响因树种、林龄、修枝强度等不同而存在差异。对南方红豆杉(*Taxus chinensis var. mairei*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、红锥(*Castanopsis hystrix* Miq.)等树种进行合理修枝后均可以促进林木生长(刘新亮等,2020; 欧建德等,2017; 徐放等,2022)。对杨树(*Populus*L.)修枝研究表明 1/2 冠层高强度修枝显著抑制杨树生长(KAIDONG, H *et al.*, 2023)。本研究发现,中龄林修枝后前两年显著促进杉木胸径年生长量,但修枝 20 年后对杉木胸径、树高和蓄积量生长均无显著影响,这与前人研究结果类似(LI, R L R *et al.*, 2020)。这与修枝修除了杉木林林冠下部光合效率低下枝条、释放更多林分生长空间有关。

修枝对人工林生物量及其分配的影响受林分密度、温度、光照环境条件等控制(FERHAT, K, 2022; ZAREEN, G G *et al.*, 2022),修枝对人工林光合作用的影响主要集中在树冠下部(JIMENEZ-CASAS *et al.*, 2013),修枝显著降低总叶面积,导致枝叶指数、光合器官比例的减小,降低上下冠层之间的差异性(王保平等,2007)。对红锥、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)的研究发现修枝显著抑制了红锥和马尾松林分叶生物量分配(罗创福等,2021)。本研究表明,中龄林 20 年后显著降低了杉木光合器官叶生物量的分配比例,显著提高了树干生物量的分配比例,这与前人的研究结果类似(NÓBREGA, C C D *et al.*, 2019)。这与修枝后为杉木生长提供更多生长空间及修枝枝叶掉落林地增加养分归还有关。

培育大径级无节材是当前人工林定向培育的重要方向(宋重升等,2022),目前有关修枝对人工林材种结构的影响研究较少(ZHENWEI, S, 2021)。本研究表明,中龄林修枝修除杉木树干下部侧枝,显著提高了杉木大径材出材率和出材量,有利于杉木大径材的培育,是培育杉木大径级无节柱材的关键技术。

5 结论

中龄林修枝 20 年后对杉木林胸径、树高、蓄积量没有显著影响,但修枝后 1a-2a 显著促进了杉木胸径年生长量,对树高、蓄积量年生长量影响不显著,随修枝时间的延长,修枝对杉木生长的影响逐渐降低。

中龄林修枝 20 年后对杉木林分总生物量没有显著影响,但显著影响不同器官生物量分配。修枝显著增加林分树干生物量分配比例,树干生物量占比比不修枝提高 14.28%,显著减小了叶的生物量分配比例,降低上下冠层之间的差异,提高林冠层稳定性。

中龄林修枝 20 年后显著提高了杉木林大径材出材率,增加了杉木林大径材出材量,有利于杉木大径材培育。

参考文献

- FERHAT K. 2022. Effects of Light Transmittance On Growth and Biomass of Understory Seedlings in Mixed Pine-Beech Forests. *European Journal of Forest Research*, 141(6).
- JIMENEZ-CASAS, MARCOS, ZWIAZEK, *et al.* 2013. Effects of Branch Pruning and Seedling Size On Total Transpiration and Tissue Na and Cl Accumulation in *Pinus Leiophylla* Seedlings Exposed to Salinity. *Forest Science*, 59(4).
- KAIDONG H, CHENG X, ZHUANGZHUANG Q, *et al.* 2023. Effects of Pruning On Vegetation Growth and Soil Properties in Poplar Plantations. *Forests*, 14(3).
- KAI-LI L, CHUN-SHENG W, BO-YAO C, *et al.* 2023. Branch Development in Monoculture and Mixed-Species Plantations of *Betula Alnoides*, *Erythrophleum Fordii* and *Pinus Kesiya* Var. *Langbianensis* in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 528.
- LARS S, LARS R, GUNNAR J. 2017. Effects of Pruning On Wood Properties of Planted Silver Birch in Southern Sweden. *Silva Fennica*, 51(2).
- LI R L R, HAN J H J, GUAN X G X, *et al.* 2020. Crown Pruning and Understory Removal Did Not Change the Tree Growth Rate in a Chinese Fir (*Cunninghamia Lanceolata*) Plantation. *Forest Ecology & Management*(No.0): 118056.
- MISSANJO E, KAMANGA-THOLE G. 2015. Effect of First Thinning and Pruning On the Individual Growth of *Pinus Patula* Tree Species. *Journal of Forestry Research*, 26(4): 827-831.
- NÓBREGA C C D, de ARAÚJO L H B, SILVA G G C D, *et al.* 2019. Artificial Pruning of Forest Tree Species in Response to Cultivation Method. *BIOFIX Scientific Journal*(No.2): 124-129.
- QQ Z, ZZ Z, GH H, *et al.* 2022. Effects of Pruning Intensity and Season On Wound Occlusion and Stem Form of Teak (*Tectona Grandis*) in China. *Journal of Tropical Forest Science*, 34(4).
- TINGFA D, BAOLI D, HELENA K, *et al.* 2019. Asymmetric Pruning Reveals How Organ Connectivity Alters the Functional Balance Between Leaves and Roots of Chinese Fir. *Journal of Experimental Botany*, 70(6).
- YANG Q, LIU L, ZHANG W, *et al.* 2015. Different Responses of Stem and Soil Co₂ Efflux to Pruning in a Chinese Fir (*Cunninghamia Lanceolata*) Plantation. *Trees*, 29(4).
- ZAREEN G G, FAIZA S, HAQ K A U, *et al.* 2022. Effect of Climate Warming On Seedling Growth and Biomass Accumulation of *Acacia Modesta*; and *Olea Ferruginea*; in a Subtropical Scrub Forest of Pakistan. *Écoscience*, 29(2).
- ZHENWEI S. 2021. Effects of Thinning On Growth and Regeneration of *Cyclobalanopsis Glauca* Secondary Forest. *Journal of Physics: Conference Series*, 1732(1).
- 何善情. 2020. 修枝对杉木生长、林下光照及植被的影响. *湖南林业科技*, 47(01): 18-23.
- 黄丽娜, 江宇, 范福金, 等. 2022. 杉木侧枝发育特征及其与内源激素的相关性. *森林与环境学报*, 42(06): 561-568.
- 刘新亮, 刘蕾, 何小三, 等. 2020. 施肥和修枝对材用樟树幼林生长的影响. *中南林业科技大学学报*, 40(12): 54-59.
- 罗创福, 李万年, 邓冬莲, 等. 2021. 不同修枝强度对红锥马尾松混交林幼林生长及光环境的影响. *北华大学学报(自然科学版)*, 22(05): 665-671.
- 马祥庆, 范少辉, 陈绍栓, 等. 2003. 杉木人工林连作生物生产力的研究. *林业科学*(02): 78-83.
- 马永春, 余诚棋, 方升佐. 2021. 不同修枝方法对杨树人工林生长、光合叶面积和主干饱满度的影响. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 45(04): 137-142.
- 欧建德, 吴志庄. 2017. 南方红豆杉修枝经营措施优化及评价. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 41(01): 117-122.
- 沙子舟, 范少辉, 冯随起, 等. 2022. 不同强度修枝对杉木人工林生长的影响. *西北林学院学报*, 37(01): 131-136.
- 宋重升, 王有良, 张利荣, 等. 2022. 基于大径材培育下杉木人工林间伐初始期的确定. *北京林业大学学报*, 44(03): 45-54.
- 王保平, 李吉跃, 乔杰, 等. 2007. 修枝促接干对泡桐光合特性影响的研究. *林业科学研究*(01): 119-124.
- 肖祥希. 2005. 修枝对福建柏林分生长及无节材形成的影响. *林业科学研究*(01): 22-26.
- 徐放, 杨晓慧, 潘文, 等. 2022. 红锥树干节疤分布及修枝对生长的影响. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 46(05): 121-126.
- 赵铭臻, 刘静, 邹显花, 等. 2023. 间伐施肥对杉木中龄林生长和材种结构的影响. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 47(02): 70-78.