

张丽霞, 曹光球, 林开敏, 等. 5 种杉木幼林不同龄期生长特性比较 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (7): 904-911.

ZHANG L X, CAO G Q, LIN K M, et al. Growth of Young Chinese Fir Forests in Years of Cultivation [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (7): 904-911.

5 种杉木幼林不同龄期生长特性比较

张丽霞^{1,2}, 曹光球^{1,2}, 林开敏^{1,2}, 马祥庆^{1,2}, 帅 鹏^{1,2*}

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 国家林业和草原局杉木
工程技术研究中心, 福建 福州 350002)

摘 要:【目的】研究 5 种杉木幼林不同龄期生长特性, 为杉木人工林高效培育技术体系的构建提供理论依据。

【方法】采用随机区组试验设计, 共设置 5 种处理 (洋 020、洋 061、广西二代、福建埔上三代营造纯林、洋 020 和洋 061 株间混交造林), 比较其生长过程的平均胸径、树高、东西冠幅、南北冠幅、单株立木材积、径阶分布等的变化情况。【结果】各杉木良种的胸径、树高、冠幅和单株材积生长的良种效应差异多数达到显著性水平; 洋 061 与洋 061 (混交) 良种的平均胸径、树高、冠幅生长量变异都很小, 洋 061 良种造林时林分分布更整齐; 福建三代标准地径阶分布图形明显呈正态分布, 具有良好的空间结构, 洋 061 (混交) 与洋 061 良种在 8~12 cm 径阶林木株树占总株数的百分比最多, 分别为 60.45%、41.81%。【结论】洋 061 良种林木各项生长指标表现最好, 拥有大量的大径阶林木, 在造林初期杉木洋 061 良种效应相较于其他良种更有优势, 具有高效培育杉木人工林的优质潜力。

关键词: 杉木; 幼龄林; 遗传控制; 材积; 径阶

中图分类号: S 791.27

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 07-0904-08

Growth of Young Chinese Fir Forests in Years of Cultivation

ZHANG Lixia^{1,2}, CAO Guangqiu^{1,2}, LIN Kaimin^{1,2}, MA Xiangqing^{1,2}, SHUAI Peng^{1,2*}

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Chinese Fir Engineering
Technology Research Center of National Forestry and Grassland Administration, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: 【Objective】 Growth of young Chinese fir trees under 5 cultivation models were studied for the forest building.

【Method】 In a span of several years, 5 forest building models were implemented for the experimentation on *Cunninghamia lanceolata*. Young plants were cultivated according to a randomized block design of 5 existing models, i.e., Yang 020, Yang 061, Guangxi 2G, Fujian Pushang 3G, and the mixed Yang 020/061. The average diameter at breast height (DBH), tree height, east-west crown width, north-south crown width, individual standing timber volume, and trunk girth classification of the plants were continuously measured throughout the growth period. 【Results】 Significant deviations in DBH, height, crown width, and timber volume were found among most of the trees under different cultivation methods. The differences in DBH, height, and canopy growth were not significant between Yang 061 and Yang 020/061. The stand structure was uniformly distributed under Yang 061. Under Fujian Pushang 3G, a normal distribution on the trunk girth classifications with a solid spatial structure of the fir was observed. Yang 020/061 and Yang 061 had the greatest proportions of trees in the 8-12 cm diameter classes at 60.45% and 41.81%, respectively. 【Conclusion】 The growth of the Chinese fir trees under the cultivation model of Yang 061 showed the highest indices and abundant large-diameter trunks among 5 models. It provided the young forest with desirable development environment and was consider a high-efficiency approach to building forests of Chinese fir in the wild.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; young forest; genetic control; timber volume; trunk diameter classification

0 引言

【研究意义】杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是

人工林种植的主要针叶用材和重要速生用材造林树种, 分布于我国南方的 16 个省 (区), 在我国森林蓄积量和木材生产中占有重要的地位^[1]。福建森林面

收稿日期: 2022-03-15 初稿; 2022-04-19 修改稿

作者简介: 张丽霞 (1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事人工林定向培育和林木逆境响应研究 (E-mail: 1696310917@qq.com)

* 通信作者: 帅鹏 (1988-), 男, 讲师, 主要从事人工林定向培育和林木逆境响应研究 (E-mail: shuai@fafu.edu.cn)

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD2201302、2016YFD0600301); 福建农林大学科技创新专项 (CXZX2020034A)

积 811.58 万 hm^2 , 其中杉木林 135.67 万 hm^2 , 占全省森林的 16.72%^[2], 是福建省的重要森林类型之一, 其具有生长迅速、产量高、材质好、分布广、经济价值高等特性^[3-4]。随着社会的发展, 人们对杉木的需求日益高端化和生态化, 培育杉木人工林不仅能够从根本上缓解我国木材资源的短缺^[5], 而且对我国木材安全、绿色发展也尤为重要^[6-7]。近年来, 由于培育模式不合理、经营管理措施不当等原因导致杉木人工林地力衰退、林分生产力下降^[8-9]。杉木良种品种是影响杉木生长状况的重要因素^[10], 是促进林业生产发展的基础和前提, 研究不同杉木良种生长, 可为杉木良种的推广使用提供依据, 对建立杉木高效培育试验示范林, 促进区域杉木人工林资源培育与可持续经营具有一定意义。【前人研究进展】长期以来, 杉木遗传改良研究始终走在我国造林的前列, 前人在种子园、良种选育、繁育技术、子代测定及家系选择等方面开展了大量的工作^[11-13]。有研究发现嫁接后及时截顶控高的杉木种子园可培育杉木理想的结实树形, 明显提高种子园种子产量^[14], 杉木第3代种子园良种幼林生长明显比杉木第2代种子园良种具有优势^[15]。吴炜^[16]发现杉木树高、胸径和单株立木材积等生长指标之间具有较高的遗传增益, 而这些生长性状与木材基本密度却具有明显的负向遗传相关性, 在进行优良家系和单株的选择时需要兼顾两者均具有正向遗传增益才更合理。优良无性系选择、生长性状遗传评价等方面也取得一些研究进展^[17-18], 如李晓燕等^[19]以良种和初植密度为变量因素对比分析了两交交互控制对幼龄期杉木各项生长指标的影响, 发现在初植密度相同时第1代种子园良种和第3代种子园良种之间无显著差异。【本研究切入点】杉木无性系品种是通过在杉木种内有性杂交, 经无性系测定后选择优良个体培育而成的^[20], 无性繁殖具有遗传增益较高、优良性状稳定、木材规格均一等优点, 实生繁殖则具有较丰富的遗传基础, 群体的可塑性大、适应性广等优点^[21]。目前福建已经开展4代种子园的育种研究, 但不同区域杉木种质资源评价工作进度仍有差异, 特别关于闽北低山丘陵区不同杉木良种幼龄期生长性状对比方面的研究报道较少。【拟解决的关键问题】本研究选取杉木不同世代实生苗与不同无性系为种质材料, 通过观测和比较不同杉木良种幼龄林时期的胸径、树高、东西冠幅、南北冠幅、单株立木材积和径阶分布等的差异, 探讨不同杉木优良种质材料造林前期人工林动态生长规律和杉木人工林培育中的良种效应, 为构建杉木人工林高效培育技术体系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于福建省南平市顺昌县埔上镇埔上国有林场 (26°56'N, 117°47'E), 地处顺昌县西北部, 闽江上游富屯溪畔, 群山环抱, 属亚热带海洋性季风气候。该场林地多属低山丘陵地带, 海拔 200~400 m, 最高海拔 1050 m, 最低海拔 150 m, 相对高差 100~200 m, 坡度 20°~30°, 多年平均降水量 1880 mm, 无霜期 310 d, 多年平均气温 18.5 °C, 年平均日照时数大于 1600 h, 日照充足, 降雨适中, 山区生态资源保护好, 具有温和的山区气候和丰富的水资源。土壤以红壤为主, 土层深厚, 理化性能良好, 腐殖质多为中层; 植被为天然杉木和毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 及人工杉木、马尾松 (*Pinus massoniana*) 林和针阔混交林, 极适宜杉木等常绿阔叶树的生长, 属闽北杉木中心产区; 森林覆盖率 75.6%, 是福建省重点林区。

1.2 试验设计

种苗选择: 选择一年生优良杉木无性系洋 020、洋 061、广西二代、福建埔上三代 4 种杉木种苗, 其中无性系种苗均来自洋口林场扦插培育, 无性系洋 061 (国 R-SC-CL-003-2018) 和洋 020 (国 R-SC-CL-002-2018) 于 2019 年通过国家林业和草原局林木良种认定。实生苗均来自埔上国有林场, 广西二代是样地所在区域常用杉木造林种苗。

试验设置: 4 个种苗纯林、洋 020 和洋 061 株间混交林 [下文以洋 061 (混交) 与洋 020 (混交) 表示], 共 5 个处理, 5 种造林样地各重复 3 次, 每个重复不同良种造林立地基本一致, 共计 15 块标准样地, 样地面积为 400 m^2 (20 m×20 m), 每个样地 4 个角点埋设水泥桩作为标志, 造林密度为 2500 株· hm^{-2} 。

整地: 采用块状整地, 挖栽植穴横×纵×深为 60 cm×40 cm×40 cm, 栽植穴内低外高, 每穴施 250 g 钙镁磷肥作基肥, 回填表土。

造林: 试验苗木按品种进行编号, 于 2017 年 2 月在同一样地进随机混合造林, 行株距为 2 m×2 m。造林后 2018 年、2019 年 6 月对造林地进行除萌蘖、除藤蔓等抚育措施。

1.3 试验观测

2018—2020 年, 每年在标准样地内测量每株杉木的胸径、树高、东西冠幅、南北冠幅等生长量指标, 记载标准样地的坡形、坡位、坡度、坡向等数值。

1.4 数据处理

统计每年各小区所有测树指标的平均值数据，用 Microsoft Excel 2010 制作图和表格，表格内胸径、树高、东西冠幅、南北冠幅、单株立木材积等均值数据均以平均值±标准差表示。SPSS20.0 进行数据整理和处理分析，多重比较采用 Duncan 检验。

计算杉木林分平均单株材积，单株立木材积采用公式 $V=0.000\ 058\ 777\ 042\ D^{1.9699831}H^{0.89646157}$ 计算（式中 V 为单株材积， D 为胸径， H 为树高）^[22]。将四年生的各杉木良种胸径以 2 cm 为一个范围划分径阶（ $D < 3\text{ cm}$ 为 2 cm 径阶， $3\text{ cm} \leq D < 5\text{ cm}$ 为 4 cm 径阶， $5\text{ cm} \leq D < 7\text{ cm}$ 为 6 cm 径阶，以此类推划分径阶，其中 D 为胸径），计算每个小区内各径阶林木保存株数占总株树的百分比，绘制径阶分布图。

2 结果与分析

2.1 杉木良种幼龄林地径/胸径生长差异

不同杉木良种在幼龄林时地径/胸径生长情况见表 1。2 年生时，洋 061（混交）良种地径最大，其均值为 1.90 cm，变异系数为 23.78%。其次是洋 061 良种，其地径均值为 1.85 cm。洋 020（混交）与洋 020 良种地径均值分别为 1.12 cm 和 1.02 cm，二者生

长表现较差。最大与最小地径差值为 0.88 cm。2 年生洋 061 良种地径与洋 061（混交）间无显著差异，但都显著高于其他良种。3 年生时，洋 061 良种胸径均值是 4.13 cm，为最大胸径。其次是三代良种，其胸径均值为 3.99 cm。洋 020（混交）与洋 020 良种胸径均值分别为 2.51 cm 和 2.43 cm，二者生长表现较差。最大与最小胸径差值为 1.70 cm。洋 061（混交）胸径变异系数为 28.89%。3 年生洋 061 良种胸径显著大于洋 020 与洋 020（混交）。4 年生时，胸径最大的是洋 061（混交）良种，其均值为 7.26 cm；其次是洋 061 良种，其胸径均值为 6.56 cm，变异系数为 25.15%。洋 020 与洋 020（混交）胸径均值分别为 5.58 cm 和 5.47 cm，二者生长表现较差。其中最大最小胸径差值为 1.79 cm。4 年生洋 061（混交）良种胸径显著大于其他良种。

在 2 年生、4 年生时，洋 061（混交）良种平均地径或胸径都最大，3 年生时，洋 061 良种平均胸径最大，洋 020 良种与洋 020（混交）平均胸径较差。洋 061（混交）良种的变异系数最小。3 年生的胸径生长相较于 2 年生地径，福建三代杉木良种胸径生长速度最快，4 年生的胸径生长相较于 3 年生时，洋 061（混交）杉木良种胸径生长速度加快了很多。

表 1 不同良种幼龄林地径/胸径生长
Table 1 Growth differentiations on average diameter at ground-level/DBH ratio of young Chinese fir

处理 Treatment	2年生 2a		3年生 3a		4年生 4a	
	地径均值	变异系数	胸径均值	变异系数	胸径均值	变异系数
	Ground diameter/cm	Coefficient of variation/%	DBH/cm	Coefficient of variation/%	DBH/cm	Coefficient of variation/%
广西二代 Guangxi second generation	1.71±0.46 b	26.90	3.87±1.96 a	50.65	5.68±1.60 c	28.17
福建埔上三代 Fujian Pushang third generation	1.67±0.45 b	26.95	3.99±1.32 a	33.08	5.67±1.98 c	34.92
洋061 Yang061	1.85±0.44 a	23.78	4.13±1.36 a	32.93	6.56±1.65 b	25.15
洋020 Yang020	1.02±0.45 d	44.12	2.43±1.10 b	45.27	5.58±1.53 c	27.42
洋061（混交） Yang061 (mixed)	1.90±0.52 a	27.37	3.98±1.15 a	28.89	7.26±2.32 a	31.96
洋020（混交） Yang020 (mixed)	1.12±0.51 c	45.54	2.51±1.04 b	41.43	5.47±1.78 c	32.54

同列数据后不同小写字母表示组间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。
The data with different lowercase letters in column mean significant differences ($P<0.05$). The same below.

2.2 杉木良种幼龄林树高生长差异

由表 2 知，2 年生时，洋 061 与洋 061（混交）良种树高最大，其均值均为 1.26 m，洋 061 良种变异系数为 21.43%。洋 020（混交）与洋 020 良种树高均

值分别为 0.82 m 和 0.79 m，二者生长表现较差，其中最大、最小树高差值为 0.47 m。经多重比较知：2 年生洋 061 良种树高与洋 061（混交）间无显著差异，但都显著高于其他良种。3 年生时，洋 061 良种

树高最大，其均值为 3.18 m，其次是洋 061（混交）良种为 3.00 m。洋 020（混交）与洋 020 良种树高均值分别为 2.51 m 和 2.45 m，二者生长表现较差。其中最大、最小树高差值为 0.73 m。洋 061（混交）良种树高变异系数为 15.33%；3 年生洋 061 良种树高显著大于其他良种。4 年生时，洋 020（混交）良种树

高最大，其均值为 5.23 m，其次是洋 061（混交）与洋 061 良种，其树高均值分别为 5.02 m、4.98 m；三代良种树高均值为 4.59 m，其生长表现较差；其中最大、最小树高差值为 0.64 m。洋 061 良种树高变异系数为 13.25%。4 年生洋 020 良种树高显著大于其他良种，洋 061 树高与洋 061（混交）差异不显著。

表 2 不同良种幼龄林树高生长差异
Table 2 Growth differentiations on average tree height of young Chinese fir

处理 Treatment	2年生 2a		3 年生 3a		4年生 4a	
	均值 Mean/m	变异系数 Coefficient of variation/%	均值 Mean/m	变异系数 Coefficient of variation/%	均值 Mean/m	变异系数 Coefficient of variation/%
广西二代 Guangxi second generation	1.17±0.30 b	25.64	2.54±0.56 d	22.05	4.80±0.91 c	18.96
福建埔上三代 Fujian Pushang third generation	1.02±0.31 c	30.39	2.87±0.86 c	29.97	4.59±1.10 d	23.97
洋061 Yang061	1.26±0.27 a	21.43	3.18±0.80 a	25.16	4.98±0.66 b	13.25
洋020 Yang020	0.79±0.30 d	37.97	2.45±0.56 d	22.86	5.23±0.83 a	15.87
洋061（混交） Yang061 (mixed)	1.26±0.31 a	24.60	3.00±0.46 b	15.33	5.02±0.82 b	16.33
洋020（混交） Yang020 (mixed)	0.82±0.30 d	36.59	2.51±0.57 d	22.71	4.88±1.01 bc	20.70

2 年生时，洋 061 良种平均树高最大，且其变异系数最小。3 年生时，洋 061 良种平均树高最大，洋 061（混交）良种变异系数最小。4 年生时，洋 020（混交）良种平均树高达到最大，洋 061 良种变异系数最小。3 年生的树高生长相较于 2 年生时，洋 061 杉木良种树高生长速度最快，4 年生的树高生长相较于 3 年生时，洋 020 杉木良种树高生长速度最快。

2.3 杉木良种幼龄林冠幅生长差异

由表 3 可知，2 年生时，洋 061 良种东西冠幅和南北冠幅生长最大，其均值分别为 0.94 m 和 0.96 m，其次是福建三代和洋 061（混交）良种；洋 020（混交）与洋 020 良种东西和南北冠幅生长表现较差，均值为 0.61、0.61 和 0.54、0.55 m。3 年生时，福建三代良种东西冠幅和南北冠幅生长最大，其均值分别为 1.72 m 和 1.66 m，其次是洋 061 和洋 061（混交）良种，洋 020 与洋 020（混交）良种东西和南北冠幅生长表现较差，均值为 1.31、1.24 和 1.22、1.21 m。经多重比较知：3 年生与 2 年生洋 061 良种冠幅与洋 061（混交）、福建三代之间差异性不显著，但三者均显著高于其他良种。4 年生时，洋 061（混交）良种东西冠幅和南北冠幅生长最大，其均值分别为 2.67 m 和 2.63 m，其次是福建三代良种，其东西和南

北冠幅均值分别为 2.52、2.42 m；洋 020（混交）良种东西和南北冠幅生长表现最差，均值均为 2.10 m。经多重比较知：4 年生洋 061（混交）良种冠幅显著大于其他良种。

2 年生时，洋 061 良种冠幅生长最大，且其变异系数最小。3 年生时，福建三代良种冠幅生长最大，变异系数最小，其次是洋 061 良种。4 年生时，洋 061（混交）良种冠幅生长最大，洋 061 良种变异系数最小。3 年生的冠幅生长相较于 2 年生时，福建三代杉木良种冠幅生长速度较快，4 年生的冠幅生长相较于 3 年生时，洋 020 杉木良种冠幅生长速度最快。

2.4 杉木良种幼龄林材积生长差异

由表 4 知，3 年生时，洋 061 与洋 061（混交）良种材积较大，其均值分别为 3335.76、2713.50 cm³。洋 020（混交）与洋 020 良种材积生长表现较差，其均值分别为 1160.04、1053.69 cm³。不同杉木良种材积均值排序为：洋 061>洋 061（混交）>福建埔上三代>广西二代>洋 020（混交）>洋 020。3 年生洋 061 良种材积显著大于其他良种。4 年生时，洋 061（混交）与洋 061 良种材积较大，其均值分别为 14417.44、11173.48 cm³。广西二代与洋 020（混交）良种材积生长表现较差，其均值分别

表 3 不同良种幼龄林冠幅生长差异
Table 3 Growth differentiations on average tree crown of young Chinese fir

处理 Treatment	冠幅 Crown width	2年生 2a		3年生 3a		4年生 4a	
		均值 Mean/m	变异系数 Coefficient of variation/%	均值 Mean/m	变异系数 Coefficient of variation/%	均值 Mean/m	变异系数 Coefficient of variation/%
广西二代 Guangxi second generation	东西 East-west	0.88±0.28 b	31.82	1.55±0.37 b	23.87	2.22±0.57 d	25.68
	南北 South-north	0.87±0.26 b	29.89	1.50±0.38 b	25.33	2.22±0.54 d	24.32
福建埔上三代 Fujian Pushang third generation	东西 East-west	0.92±0.24 ab	26.09	1.72±0.40 a	23.26	2.52±0.52 b	20.63
	南北 South-north	0.93±0.24 a	25.81	1.66±0.38 a	22.89	2.42±0.50 b	20.66
洋061 Yang061	东西 East-west	0.94±0.22 a	23.40	1.68±0.41 a	24.40	2.34±0.44 c	18.80
	南北 South-north	0.96±0.23 a	23.96	1.65±0.41 a	24.85	2.34±0.41 bc	17.52
洋020 Yang020	东西 East-west	0.54±0.24 d	44.44	1.31±0.39 c	29.77	2.35±0.50 c	21.28
	南北 South-north	0.55±0.24 d	43.64	1.24±0.34 c	27.42	2.28±0.50 cd	21.93
洋061（混交） Yang061 (mixed)	东西 East-west	0.91±0.27 ab	29.67	1.68±0.41 a	24.40	2.67±0.63 a	23.60
	南北 South-north	0.92±0.25 a	27.17	1.64±0.41 a	25.00	2.63±0.63 a	23.95
洋020（混交） Yang020 (mixed)	东西 East-west	0.61±0.27 c	44.26	1.22±0.33 d	27.05	2.10±0.54 e	25.71
	南北 South-north	0.61±0.27 c	44.26	1.21±0.31 c	25.62	2.10±0.55 e	26.19

表 4 不同良种幼龄林材积生长差异
Table 4 Growth differentiations on average timber volume of young Chinese fir

处理 Treatment	3年生 3a	4年生 4a
	均值 Mean/cm ³	均值 Mean/cm ³
广西二代 Guangxi second generation	2 523.54±1815.07 b	8 435.03±4776.17 c
福建埔上三代 Fujian Pushang third generation	2 602.99±1575.64 b	8 705.84±5407.89 c
洋061 Yang061	3 335.76±2021.01 a	11 173.48±4632.82 b
洋020 Yang020	1 053.69±820.63 c	8 554.66±4367.99 c
洋061（混交） Yang061 (mixed)	2 713.50±1375.58 b	14 417.44±6732.91 a
洋020（混交） Yang020 (mixed)	1 160.04±802.55 c	8 193.85±4275.91 c

为 8435.03、8193.85 cm³。不同杉木良种材积均值排序为：洋 061（混交）>洋 061 >福建埔上三代>洋

020 >广西二代>洋 020（混交）。4 年生洋 061（混交）良种材积显著大于其他良种。

在 3 年生、4 年生时，洋 061 与洋 061（混交）良种材积都达到最大，洋 020 与洋 020（混交）良种材积都较小。

2.5 杉木良种幼龄林径阶分布差异

林分直径株数分布规律是林分结构的基本特征之一^[23]，不同杉木良种在 4 年生时径阶分布情况见图 1。由图 1 可知：洋 061 与洋 061（混交）良种标准地的径阶分布区域为 2~12 cm，其他良种的径阶分布区间均为 2~10 cm。洋 061（混交）良种标准地图形呈非正态分布，径阶分布图右偏，标准地杉木株树在 8~10 cm 径阶分布更多，其他良种基本上呈正态分布，标准地杉木株树均在 6 cm 径阶分布最多。福建三代良种明显呈正态分布，说明其径阶分布较为分散，林分空间结构较为复杂，空间结构表现较为良好。洋 061 与洋 061（混交）良种标准地在 2~4 cm 径阶较 8~10 cm 径阶株树分布少，洋 061 与洋 061

(混交)林地 在 2~4 cm、8~12 cm 径阶林木株树占总株数的百分比分别为 18.90%、41.81% 和 21.36%、60.45%；而洋 020 与洋 020 (混交) 良种标准地在 2~4 cm 径阶较 8~10 cm 径阶株树分布多，其 2~4 cm、8~10 cm 径阶林木株树占总株数的百分比分别为 39.36%、18.09% 和 36.08%、21.13%。说明洋 061 良种在幼龄林拥有大量的大径阶林木，而洋 020 良种却拥有更多小径阶林木，缺乏较大径阶的上层个体。

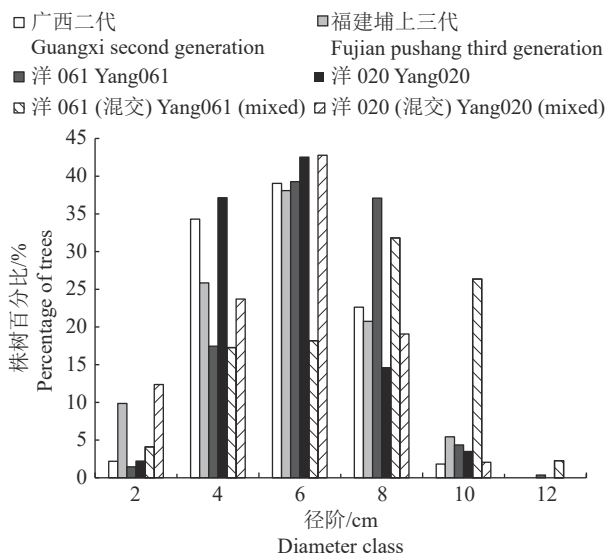


图1 不同良种幼龄林径阶分布差异

Fig.1 Distribution of trunk diameter classifications of young Chinese fir

3 讨论与结论

研究表明，5种杉木幼林的胸径、树高、冠幅和单株材积生长的良种效应差异多数达到显著性水平，这种差异主要是由于遗传控制所引起的，这与吴振明等^[24]研究所得出的结论一致，即杉木不同类型不同世代良种间的生长量存在显著差异。廖明新等^[25]的研究也表明了不同良种的改良程度差异引起了良种的生长差异，良种间存在真实的差异；伍汉斌等^[26]的研究分析了在不同林龄不同杉木种源主要生长性状的遗传变异规律，结果表明了调查的5个不同生长时期杉木种源的胸径、树高和材积在种源间的差异均达到极显著水平。而李晓燕^[27]等的研究则认为与不同造林密度相比，由良种因素所导致的生长差异相对较小，其试验研究的是2~8年生的3代和1代种子园良种与密度的交互试验，可能是由于参试良种较少且不同处理在不同林分年龄效应可能不同导致了良种之间差异不显著。

三代和二代实生苗是广泛种植的品种，而无性系优良造林品种是否会显著好于实生苗是本研究的重要问题。本研究结果显示，在4年生时，树高生

长结果显示无性系良种较好，胸径和材积结果显示洋 061 会显著高于实生苗，而洋 020 不明显。同时，无性系混交造林是否比营造纯林能使良种之间相互促进各自的生长，提高生长量也是需要验证的一个问题。4年生时，洋 061 (混交) 的胸径、冠幅、材积均显著高于洋 061，树高差异不明显；洋 020 的树高、冠幅均显著高于洋 020 (混交)，但胸径和材积差异不明显。说明在造林前期洋 061 与洋 020 混交造林促进了洋 061 各项生长指标的生长量，但并没有促进洋 020 的生长。

2~4年生时，洋 061 与洋 061 (混交) 良种相较于其他良种的平均胸径、树高、冠幅生长量等的变异都很小，说明利用杉木洋 061 良种造林，无论是营造纯林或是混交林，其林分的生长分布都会比较整齐，同时也减少了人工林的抚育管理成本，有利于提高其经济效益。在林木的各项生长指标中，对材积影响最大的是胸径，在调查期间良种洋 061 与洋 061 (混交) 地径、胸径高于其他良种，其直径具有持续生长的优势，材积也达到最大，说明选用洋 061 造林可获得较高增益。孙云等^[28]的研究也表明了无性系 061 在幼龄期的树高、胸径均表现出生长优势。通过径阶分布对比发现福建三代具有良好的空间结构，洋 061 (混交) 径阶分布图右偏，分析认为可能是混交林中洋 020 胸径、冠幅等生长量和林分结构比洋 061 良种较差，促使洋 061 (混交) 良种林分空间扩大，林内竞争减少，有利于其胸径生长，从而林分直径集中在较高径阶范围，洋 061 相较于其他良种在幼龄林拥有大量的大径阶林木，更适合培育大径材，表现出了高效培育人工林的优质潜力。本试验中还发现了洋 020 良种在造林前期苗高、地径的变异系数较高，2年生、3年生时的平均树高在所有良种中最低，却在3~4年生时树高生长迅速，4年生时的平均树高达到最大，分析认为可能是洋 020 无性系造林前期从根部长出很多萌芽条，与主干的生长进行养分竞争，影响其树高生长，导致林分2年生时树高、地径与3年生时胸径的变异系数较大，2年生时，洋 020 萌芽数量占其总株树的百分比为 25.47%，洋 020 (混交) 为 33.56%，洋 061、洋 061 (混交)、广西二代、福建三代各为 10.26%、11.29%、9.64%、12.62%。在萌芽去除之后，洋 020 无性系开始发挥树高的生长潜力，树高生长速度加快了很多，林分第3年和第4年的树高变异系数有所降低，第4年的胸径变异系数降低很多。洋 061 与洋 020 无性系在生长量上存在较大的差异，可能是不同无性系基因型不同导致的。

杉木苗木质量除了受遗传因素影响之外,还会受到培育技术、抚育管理和外界环境等因素的影响^[29],在其他条件相同的情况下,显然洋 061 良种比其他良种更优质。但是本试验所设计人工林林龄较小,还处于幼龄期,有待于进一步验证各杉木良种的遗传特性。赵承开^[30]的研究表明有的无性系幼树期生长表现不突出,但随着林龄的增长会加快生长,并趋于稳定。赵林峰^[31]等的研究通过聚类分析发现无性系(79172、79173)前期生长缓慢,中后期生长快速,其遗传生长潜力在造林前期未充分发挥出来。本研究中洋 020 良种在整个调查期间生长缓慢,各生长指标表现都较差,却在萌蘖去除后 4 年时平均树高达到最大,生长速度加快很多,其后生长状况是否会有所改变需要对试验林继续跟踪调查,对试验林不同龄期进行生长对比分析。

综上所述,洋 020 有明显的高生长优势,可能会更适合培育中小径材,在造林过程可以适当增大造林密度。而洋 061 良种在 2~4 年生期间林木各项生长指标综合最优,良种效应相较于其他良种更具优势,林分的生长分布也比较整齐,在幼龄期表现出了高效培育人工林的优质潜力,可在与试验地立地条件相似的林地推广。

参考文献:

- [1] 田甜,余树全,张旭东,等. 萌芽杉木幼龄林植物群落特征[J]. *浙江农林大学学报*, 2020, 37(1): 36-42.
TIAN T, YU S Q, ZHANG X D, et al. Plant community characteristics of young *Cunninghamia lanceolata* sprout forest[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2020, 37(1): 36-42. (in Chinese)
- [2] 郑开基. 福建省杉木地径材积表研制[J]. *林业勘察设计*, 2019, 39(3): 35-39.
ZHENG K J. Development of ground diameter tree volume tables of *Cunninghamia lanceolata* in Fujian[J]. *Forestry Prospect and Design*, 2019, 39(3): 35-39. (in Chinese)
- [3] 黄金华. 袋控施肥对杉木生长及土壤养分的影响[J]. *森林与环境学报*, 2017, 37(2): 163-168.
HUANG J H. Effects of bagging fertilization on plant growth and soil nutrient in *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2017, 37(2): 163-168. (in Chinese)
- [4] 宋政凯,李惠通,赖慧捷,等. 二代杉木良种苗木的施肥配方研究[J]. *森林与环境学报*, 2020, 40(4): 420-427.
SONG Z K, LI H T, LAI H J, et al. Study on fertilization formula of second-generation improved variety of Chinese fir seedlings[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2020, 40(4): 420-427. (in Chinese)
- [5] 卢妮妮,王新杰,张鹏,等. 不同林龄杉木胸径树高与冠幅的通径分析[J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(4): 12-16.
LU N N, WANG X J, ZHANG P, et al. Path analysis between diameter at breast height, height and crown width of *Cunninghamia lanceolata* in different age[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, 43(4): 12-16. (in Chinese)
- [6] 晏姝,王润辉,邓厚银,等. 南岭山区杉木大径材成材影响因子研究[J]. *华南农业大学学报*, 2021, 42(2): 80-89.
YAN S, WANG R H, DENG H Y, et al. Study on impact factors of large-diameter wood formation of *Cunninghamia lanceolata* in Nanling Mountains[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2021, 42(2): 80-89. (in Chinese)
- [7] 王硕. 加快建设国家储备林 维护生态和木材安全[J]. *中国林业产业*, 2017(4): 25-27.
WANG S. Speeding up the construction of national reserve forest to maintain ecological and timber safety[J]. *China Forestry Industry*, 2017(4): 25-27. (in Chinese)
- [8] 巢林,洪滔,李健,等. 中亚热带不同林龄杉木人工林径级结构与林下物种多样性分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(2): 88-96.
CHAO L, HONG T, LI J, et al. Analyses on diameter class structure and species diversity of understory of artificial forest of *Cunninghamia lanceolata* with different forest ages in mid-subtropical region[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2015, 24(2): 88-96. (in Chinese)
- [9] 吴建强,王懿祥,杨一,等. 干扰树间伐对杉木人工林林分生长和林分结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(2): 340-348.
WU J Q, WANG Y X, YANG Y, et al. Effects of crop tree release on stand growth and stand structure of *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(2): 340-348. (in Chinese)
- [10] 黄建超. 同乐林场第二、三代杉木种子园良种早期生长探析[J]. *南方农业*, 2017, 11(3): 50-51.
HUANG J C. Analysis on the early growth of the second and third generation Chinese fir seed orchard in Tongle forest farm[J]. *South China Agriculture*, 2017, 11(3): 50-51. (in Chinese)
- [11] 丘进清. 杉木种子园技术综述[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2006, 30(5): 103-106.
QIU J Q. Advance on seed orchard technique of Chinese fir[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2006, 30(5): 103-106. (in Chinese)
- [12] 王润辉,胡德活,郑会全,等. 杉木2.5代种子园开花物候遗传变异分析[J]. *西南林业大学学报*, 2013, 33(4): 25-29, 43.
WANG R H, HU D H, ZHENG H Q, et al. Genetic variation analysis of flowering phenology in the 2.5 generation seed orchard of *Cunninghamia lanceolata*[J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2013, 33(4): 25-29, 43. (in Chinese)
- [13] 方乐金,施季森. 杉木种子园无性系结实稳定性的遗传变异[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2004, 28(1): 17-20.
FANG L J, SHI J S. A study on the heredity and variation of seed yielding stability[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2004, 28(1): 17-20. (in Chinese)
- [14] 郑仁华,施季森,苏顺德,等. 杉木第3代种子园营建技术及应用[J].

- 森林与环境学报, 2018, 38 (4): 406–413.
- ZHENG R H, SHI J S, SU S D, et al. The establishment technique and application of the third generation seed orchard of Chinese fir [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2018, 38 (4): 406–413. (in Chinese)
- [15] 赖宝富. 杉木第3代与第2代种子园良种幼林期生长对比分析 [J]. *福建林业*, 2020 (5): 39–42.
- LAI B F. Comparison study on growth of cultivars form 2th and 3th generation *Cunninghamia lanceolata* seed orchard at juvenile stage [J]. *Fujian Forestry*, 2020 (5): 39–42. (in Chinese)
- [16] 吴炜. 杉木第3代种子园自由授粉子代测定及选择 [J]. *福建林业科技*, 2021, 48 (3): 1–9.
- WU W. Open-pollinated progeny test and selection of 3rd generation seed orchard in *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2021, 48 (3): 1–9. (in Chinese)
- [17] 许忠坤. 杉木无性系选择与生长潜力分析 [J]. *林业科学研究*, 2014, 27 (5): 598–603.
- XU Z K. Selection and growth potential analysis of Chinese fir clones [J]. *Forest Research*, 2014, 27 (5): 598–603. (in Chinese)
- [18] 段爱国, 张雄清, 张建国, 等. 21年生杉木无性系生长与遗传评价 [J]. *林业科学研究*, 2014, 27 (5): 672–676.
- DUAN A G, ZHANG X Q, ZHANG J G, et al. Growth and genetic evaluation of 21-year-old Chinese fir clonal plantation [J]. *Forest Research*, 2014, 27 (5): 672–676. (in Chinese)
- [19] 李晓燕, 段爱国, 张建国, 等. 不同良种与初植密度杉木林分密度指标动态特征 [J]. *林业科学研究*, 2021, 34 (2): 72–80.
- LI X Y, DUAN A G, ZHANG J G, et al. Dynamic characteristics of stand density measure of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations with different improved varieties and initial planting densities [J]. *Forest Research*, 2021, 34 (2): 72–80. (in Chinese)
- [20] 洪菊生, 陈伯望. 试论杉木无性选育策略 [J]. *世界林业研究*, 1993, 6 (3): 86–91.
- HONG J S, CHEN B W. A preliminary discussion on the selection strategy of *Cunninghamia lanceolata* [J]. *World Forestry Research*, 1993, 6 (3): 86–91. (in Chinese)
- [21] 施季森, 何祯祥. 林木无性繁殖及其在遗传改良中的地位 [J]. *世界林业研究*, 1994, 7 (1): 25–30.
- SHI J S, HE Z X. Vegetative reproduction of forest trees and the role it plays in the genetical improvement [J]. *World Forestry Research*, 1994, 7 (1): 25–30. (in Chinese)
- [22] LIU L, LI Y, ZHANG J G, et al. Impact of initial planting density on the optimal economic rotation of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) in an experimental forest plantation [J]. *Forests*, 2019, 10 (9): 713.
- [23] 杨秀丽. 大连岩质海岸黑松林林木径阶空间分布及多样性研究 [J]. *防护林科技*, 2016 (1): 17–19, 49.
- YANG X L. Spatial distribution of forest of *Pinus thunbergii* plantation in Dalian rocky coast and its diversity [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2016 (1): 17–19, 49. (in Chinese)
- [24] 吴振明, 张颢, 徐清乾, 等. 杉木不同类型不同世代良种早期评价 [J]. *湖南林业科技*, 2018, 45 (4): 12–16.
- WU Z M, ZHANG X, XU Q Q, et al. Early evaluation of different types and different generations of improved variety of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2018, 45 (4): 12–16. (in Chinese)
- [25] 廖明新, 胡德活, 刘伟新, 等. 不同代次杉木种子园良种早期生长分析 [J]. *现代农业科技*, 2016 (4): 162, 167.
- LIAO M X, HU D H, LIU W X, et al. Early seedling growth analysis of different generation seed orchard of Chinese fir [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016 (4): 162, 167. (in Chinese)
- [26] 伍汉斌, 段爱国, 张建国. 杉木地理种源不同林龄生长变异及选择 [J]. *林业科学*, 2019, 55 (10): 181–192.
- WU H B, DUAN A G, ZHANG J G. Growth variation and selection effect of *Cunninghamia lanceolata* provenances at different stand ages [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2019, 55 (10): 181–192. (in Chinese)
- [27] 李晓燕, 段爱国, 张建国, 等. 杉木幼龄期良种与密度控制的生长动态效应 [J]. *江西农业大学学报*, 2020, 42 (4): 778–787.
- LI X Y, DUAN A G, ZHANG J G, et al. Effects of improved varieties and densities on the dynamic growth of young Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2020, 42 (4): 778–787. (in Chinese)
- [28] 孙云, 李鑫, 李勇, 等. 幼树阶段杉木不同无性系生长与形态性状分析 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2019, 39 (3): 34–39.
- SUN Y, LI X, LI Y, et al. Analysis of growth traits and morphological characters among different clones of *Cunninghamia lanceolata* in young tree stage [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2019, 39 (3): 34–39. (in Chinese)
- [29] 邹军. 杉木第2代和第3代良种幼龄期林分生长对比分析 [J]. *福建林业*, 2015 (3): 29–31.
- ZOU J. The comparative analysis on the juvenile trees from the second- and third-generation improved *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Fujian Forestry*, 2015 (3): 29–31. (in Chinese)
- [30] 赵承开. 杉木优良无性系早期选择年龄和增益 [J]. *林业科学*, 2002, 38 (4): 53–60.
- ZHAO C K. A study on optimum age and gain for early selection of superior clone in *Cunninghamia lanceolata* hook [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38 (4): 53–60. (in Chinese)
- [31] 赵林峰, 高建亮, 李有清. 聚类分析与杉木优良无性系选择 [J]. *分子植物育种*, 2017, 15 (9): 3616–3622.
- ZHAO L F, GAO J L, LI Y Q. Cluster analysis and selection of excellent clones of *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15 (9): 3616–3622. (in Chinese)

(责任编辑: 黄爱萍)