doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 06. 002

杉木与不同阔叶树混交对林分生长及土壤肥力的影响

黄志松
(福建省华安金山国有林场,福建 华安 363803)

摘要:为探讨在闽南杉木边缘产区不同阔叶树种与杉木混交对林分生长及土壤肥力的影响,选择桉树、红锥、火力楠 3 种本地主要阔叶用材树种与杉木营建混交比例为 70%杉木∶30%阔叶树的混交林,以杉木纯林为对照,对比不同林分生长量及土壤肥力状况。结果表明,不同处理林木保存率均达到 86. 54%以上,4 个参试树种生长量均较高,整体生长表现良好;杉木胸径、树高和材积最高的均为处理 3,处理 3 和处理 4 杉木胸径、树高和材积均显著高于对照;参试的 3 个混交林处理中,林地土壤肥力状况表现最优的是处理 3,其次是处理 4,再次是处理 2,相比杉木纯林,3 个混交林处理的林地土壤养分含量得到不同程度提高,土壤肥力得到改善。综上所述,以红锥、火力楠作为混交树种与杉木营造混交林,均可以有效提升杉木生长量并改善土壤肥力状况。

关键词:杉木;阔叶树;混交林;生长量;土壤肥力

中图分类号:S758. 52;S714. 8;S725. 2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)06-0010-05

引文格式:黄志松. 杉木与不同阔叶树混交对林分生长及土壤肥力的影响[J]. 林业调查规划,2025,50(6):10-14. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 06. 002

HUANG Zhisong. Effects of Mixed Plantations of *Cunninghamin lanceolata* with Different Broad-leaved Species on Stand Growth and Soil Fertility [J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(6): 10-14. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 06. 002

Effects of Mixed Plantations of *Cunninghamin lanceolata* with Different Broad-leaved Species on Stand Growth and Soil Fertility

HUANG Zhisong
(Hua′an Jinshan State-owned Forest Farm, Hua′an, Fujian 363803, China)

Abstract: To investigate the effects of mixed plantations of *Cunninghamin lanceolata* with different broad-leaved tree species on stand growth and soil fertility in the edge production area of southern Fujian, mixed forests of 70% *C. lanceolata* and 30% broad-leaved tree was constructed by selecting three main local afforestation tree species, *Eucalyptus*, *Castanopsis hystrix*, and *Michelia macclurei*. The pure *C. lanceolata* forest was used as a control to compare the growth and soil nutrient content of different forest stands. The results showed that the preservation rate of trees under different treatments reached over 86. 54%, and the four tested tree species grew well. Treatment 3 yielded the highest values for diameter at breast height (DBH), tree height, and timber volume of *C. lanceolata*. Both Treatment 3 and Treatment 4 exhibited significantly greater DBH, tree height, and timber volume of *C. lanceolata* compared to the control. A-

收稿日期:2024-09-11;**修回日期**:2024-09-27

第一作者:黄志松(1985-),男,工程师. 主要从事森林培育技术研究. Email:hzsqwe@ 163. com

mong the three mixed plantation treatments, Treatment 3 demonstrated the best soil fertility conditions, followed by Treatment 4 and then Treatment 2. Compared to the pure *C. lanceolata* plantation, all three mixed treatments resulted in varying degrees of improvement in soil nutrient content and soil fertility. In conclusion, using mixed tree species such as *C. hystrix* and *M. macclurei* to create mixed forests with *C. lanceolata* could effectively increase the growth of *C. lanceolata* and improve soil fertility.

Key words: *Cunninghamin lanceolata*; broad-leaved tree; mixed forest; growth; soil fertility

杉木(*Cunninghamin lanceolata*)为我国南方重要乡土用材树种,同时也是福建省栽种面积最大的用材树种[1-2]。据第九次全国森林资源清查结果,我国杉木栽培面积已达 990 万hm^2, 蓄积量达 7.55 亿m^3,在全国乔木人工林中面积排名第一[3-4]。近年来,部分地区由于长期大面积经营杉木纯林,已出现土壤退化或杉木人工林产量下降的问题[5-6],尤其在闽南地区,大部分县市属杉木边缘产区[7],林地土壤条件相比杉木中心产区、一般产区较差,杉木人工林产量下降问题更加凸显。已有研究表明,将杉木与红锥、木荷、枫香等阔叶树种混交可以有效改善林地土壤肥力[8-11],提升杉木生长量,提高林地生产力。但目前多数相关研究主要集中在探讨杉木与某一树种采用不同混交比例或混交方式所产生的效果,而对于杉木与不同树种混交效果横向比较的研究较少。因此结合试验地造林生产实际,分别选择桉树、红锥、火力楠 3 种本地主要阔叶用材树种与杉木营建混交比例为 70%杉木∶30%阔叶树的混交林,以杉木纯林为对照,对比不同林分生长量及土壤养分状况,以期为闽南区杉木人工林培育提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省华安金山国有林场利水工区 05-020(117°35′32.5″E,24°48′55.9″N)。试验所在地年均温 21℃,年极端高温达 39℃,极端低温达 1℃,年均降水量 1 850 mm,年均蒸发量 1 588 mm,年日照时数 2 000 h,无霜期约 357 d。试验林所在坡面平均坡度 15°,平均海拔 200 m。坡面土壤土层深度约 80 cm,排水性良好,土壤类型为红壤,立地质量Ⅲ级。

1.2 试验林营造

2018 年 11 月对桉树采伐迹地采用炼山清杂方式进行林地清理,穴状整地,挖明穴(规格为 60 cm×30 cm×30 cm),株行距 2 m×2 m(2 500 穴/hm^2)。造林前 20 d 左右每穴施氮磷钾复合肥 150 g 作基肥,并回表土,回表土时清除树根杂质等,且至高于土面 10 cm。2019 年 3 月中旬营造试验林,不同处理试验林概况见表 1。

表 1　不同处理试验林概况

Tab. 1　General situation of the tested stands under different treatments

处理	林分类型	混交比例	混交方式	面积/hm^2
1	杉木纯林	100%杉木	—	0.67
2	杉木桉树混交林	70%杉木∶30%桉树	株间混交	2.00
3	杉木红锥混交林	70%杉木∶30%红锥	株间混交	2.00
4	杉木火力楠混交林	70%杉木∶30%火力楠	株间混交	2.00

造林苗木:杉木使用 1 年生裸根苗造林(H>45 cm,$D_{地}$>0.5 cm),桉树采用 1 年生轻基质组培容器苗造林(H>25 cm,$D_{地}$>0.2 cm),红锥和火力楠均采用 1 年生无纺布容器苗造林(红锥 H>30 cm,$D_{地}$>0.3 cm;火力楠 H>40 cm,$D_{地}$>0.45 cm)。造林后,5 月中旬抚育锄草 1 次,10 月上旬结合追肥抚育锄草 1 次(施复合肥 100 g/株);2020 年 5 月及 10 月各抚育锄草 1 次,每次施复合肥 100 g/株;2021 年 5 月及 10 月各抚育锄草 1 次,每次施复合肥 200 g/株。

1.3 数据调查

2024 年 3 月下旬,在每种处理试验林中分别选择 3 个林木长势中等地段设置调查样地(20 m×20 m)。全面调查样地中林木保存株数、树高、胸径,采用立木材积公式[12]计算杉木、桉树、红锥及火力楠的立木材积。在每个样地左下至右上对角线的上、中和下部分别挖掘土壤剖面并采集 0~40 cm 土层混合样品,将样地内的 3 个样品充分混合,12 个样地获得 12 份土样,将土样带回室内依照行业标准[13]中的方法测定土壤全氮、水解氮、全磷、有效磷、速效钾和有机质含量及 pH。

1.4 数据分析

使用 SPSS 20.0 软件对各项数据进行方差分析和 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 杉木与不同树种混交对林分生长的影响

4 个处理林分中杉木的胸径、树高和材积 3 项指标差异均达显著水平($P<0.05$),说明杉木与其他树种混交造林会对杉木的生长造成一定影响(表 2)。

表 2 不同处理杉木生长量方差分析

Tab. 2 Variance analysis of *Cunninghamin lanceolata* growth under different treatments

指标	变异来源	SS	df	MS	*F*	*P*
保存率	处理间	46.232	3	15.411	0.391	0.763
	处理内	315.656	8	39.457		
	总计	361.888	11			
胸径	处理间	7.517	3	2.506	10.973	0.003
	处理内	1.827	8	0.228		
	总计	9.343	11			
树高	处理间	3.604	3	1.201	6.655	0.014
	处理内	1.444	8	0.181		
	总计	5.049	11			
材积	处理间	0.001	3	0.000	8.870	0.006
	处理内	0.000	8	0.000		
	总计	0.001	11			

参试的杉木、桉树、红锥和火力楠 4 个树种保存情况均较好,不同处理杉木保存率均达到 86.54%以上,3 种阔叶树保存率均达到 90%以上。从生长量来看,杉木及 3 种阔叶树的生长量均较高,均达到对应的丰产标准[7,14-16]。对比不同处理杉木的生长情况,处理 2、3、4 中杉木的保存率均略高于处理 1(对照),但 4 个处理的保存率差异未达显著水平($P>0.05$)。4 个处理中杉木胸径、树高和材积最高的均为处理 3,处理 3 杉木的胸径和材积均显著高于其他处理,2 项指标分别比其他处理高 9.58%~22.43%和 19.69%~63.00%;处理 3 杉木的树高显著高于处理 1 和处理 2,比处理 1 和处理 2 分别提高 15.83%和 13.23%。处理 4 杉木的胸径、树高和材积均显著高于处理 1 和处理 2,其杉木的胸径、树高和材积分别比处理 1 高 10.25%、14.11%和 36.01%,比处理 2 高 11.73%、11.55%和 36.19%。处理 1 和处理 2 杉木的 3 项生长量指标差异均未达到显著水平(表 3)。

表 3 不同处理林分生长量

Tab. 3 Stand growth under different treatments

处理	树种	保存率/%	胸径/cm	树高/m	材积/m^3
1	杉木	86.54± 5.11a	8.87± 0.61c	7.85± 0.55b	0.0283± 0.0004c
	—	—	—	—	—
2	杉木	89.67± 4.84a	8.75± 0.25c	8.03± 0.54b	0.0282± 0.0004c
	桉树	90.91± 5.44	13.42± 0.98	12.53± 0.80	0.0878± 0.0108
3	杉木	90.91± 6.45a	10.71± 0.39a	9.09± 0.35a	0.0460± 0.0007a
	红锥	92.96± 4.21	8.25± 0.47	7.46± 0.43	0.0232± 0.0032
4	杉木	91.69± 6.88a	9.77± 0.35b	8.96± 0.56a	0.0384± 0.0005b
	火力楠	93.33± 4.65	6.22± 0.39	5.87± 0.31	0.0109± 0.0019

注:同列数值后附不同小写字母者表示差异达 0.05 显著水平(下同)。

2.2 杉木与不同树种混交对林地土壤肥力的影响

4 个处理林分林地土壤全氮、水解氮、全磷、有效磷、速效钾和有机质含量差异均达显著水平($P<0.05$),而土壤 pH 未达显著水平($P>0.05$),说明杉木与其他树种混交会对土壤肥力产生影响(表 4)。

土壤全氮、水解氮、全磷、有效磷、有机质含量最高的处理均为处理 3,其土壤有效磷和有机质含量均显著高于其他处理,2 个指标分别比其他处理高 12.58%~25.91%和 44.34%~57.12%;处理 3 的土壤水解氮和全磷含量均显著高于处理 1 和处理 2,其水解氮含量比处理 1 和处理 2 分别高 31.03%和 11.36%,全磷含量比处理 1 和处理 2 分别高 28.13%和 17.14%;处理 3 的土壤全氮含量显著高于处理 1,比处理 1 提高 28.16%。处理 4 土壤的速效钾含量显著高于处理 1 和处理 3,比处理 1 和处理 3 分别高 35.91%和 11.08%;处理 4 土壤的全磷和有效磷含量均显著高于处理 1 和 2,其全磷含量比处理 1 和处理 2 分别高 18.75%和 8.57%,有效磷含量比处理 1 和处理 2 分别高 11.84%和 10.80%;处理 4 土壤的全氮、水解氮和有机质含量均显著高于处理 1,3 项指标分别比处理 1 高 22.33%、21.52%和 8.85%。处理 2 土壤的全氮、水解氮、全磷和速效钾含量均显

表 4　不同处理土壤养分指标方差分析

Tab. 4　Variance analysis of soil nutrient indicators under different treatments

指标	变异来源	SS	df	MS	*F*	*P*
全氮含量	处理间	0. 141	3	0. 047	6. 539	0. 015
	处理内	0. 057	8	0. 007		
	总计	0. 198	11			
水解氮含量	处理间	1541. 971	3	513. 990	7. 399	0. 011
	处理内	555. 772	8	69. 472		
	总计	2097. 743	11			
全磷含量	处理间	0. 013	3	0. 004	6. 836	0. 013
	处理内	0. 005	8	0. 001		
	总计	0. 019	11			
有效磷含量	处理间	9. 564	3	3. 188	7. 367	0. 011
	处理内	3. 462	8	0. 433		
	总计	13. 026	11			
速效钾含量	处理间	591. 556	3	197. 185	9. 686	0. 005
	处理内	162. 860	8	20. 357		
	总计	754. 416	11			
有机质含量	处理间	219. 522	3	73. 174	29. 408	0. 000
	处理内	19. 906	8	2. 488		
	总计	239. 428	11			
pH 值	处理间	0. 118	3	0. 039	0. 429	0. 738
	处理内	0. 736	8	0. 092		
	总计	0. 855	11			

著高于处理 1,分别高了 17. 48%、17. 66%、9. 37%和 27. 68%。4 个处理中,林地土壤肥力状况表现最优的是处理 3,其次是处理 4,再次是处理 2。相比杉木纯林,3 个混交林处理的林地土壤养分指标均得到不同程度的改善,说明杉木与桉树、红锥和火力楠混交均可以提高土壤养分元素含量,改善土壤肥力状况(表 5)。

3 结　论

试验中不同处理杉木保存率均达到 86. 54%以上,3 种阔叶树保存率均达到 90%以上,4 个参试树种的生长量均达到了对应的丰产标准,整体生长表现良好。杉木胸径、树高和材积最高的均为处理 3,其胸径、树高和材积均显著高于处理 1 和处理 2,其 3 项指标分别比处理 1 提高 20. 81%、15. 83%和 62. 78%,比处理 2 提高 22. 43%、13. 23%和 63. 00%。处理 4 的胸径、树高和材积均显著大于处理 1 和处理 2,其 3 项指标分别比处理 1 提高 10. 25%、14. 11%和 36. 01%,比处理 2 提高 11. 73%、11. 55%和 36. 19%。处理 1 和处理 2 杉木的 3 项生长量指标差异均未达到显著水平,说明杉木与红锥或火力楠混交均可以有效提升杉木生长量,而杉木与桉树混交对杉木生长的影响较小。

不同处理林分林地土壤养分分析结果显示,4 个处理中土壤全氮、水解氮、全磷、有效磷、有机质含量最高的处理均为处理 3,土壤速效钾含量最高的是处理 4。处理 3 和处理 4 林地土壤的全氮、水解氮、全磷、有效磷、速效钾、有机质含量均显著大于处理 1,处理 2 林地土壤的全氮、水解氮、全磷、速效钾含量均显著大于处理 1。3 个混交林处理中,林地土壤肥力状况表现最优的是处理 3,其次是处理 4,再次是处理 2,但相比杉木纯林,3 个混交林处理的林地土壤养分状况均得到显著改善,说明杉木与桉树、红锥和火力楠混交均可以提高土壤养分元素含量,改善土壤肥力状况。

表 5　不同处理林地土壤养分指标

Tab. 5　Soil nutrient indicators under different treatments

处理	全氮含量 /(g · kg^{-1})	水解氮含量 /(mg · kg^{-1})	全磷含量 /(g · kg^{-1})	有效磷含量 /(mg · kg^{-1})	速效钾含量 /(mg · kg^{-1})	有机质含量 /(g · kg^{-1})	pH
1	1. 03 ± 0. 06b	100. 83 ± 4. 13c	0. 32 ± 0. 02c	8. 53 ± 0. 39c	52. 74 ± 3. 69c	18. 75 ± 1. 03c	4. 21 ± 0. 32a
2	1. 21 ± 0. 04a	118. 64 ± 7. 95b	0. 35 ± 0. 02b	8. 61 ± 0. 37c	67. 34 ± 5. 39ab	19. 88 ± 1. 47bc	4. 26 ± 0. 32a
3	1. 32 ± 0. 10a	132. 12 ± 8. 06a	0. 41 ± 0. 02a	10. 74 ± 0. 50a	64. 53 ± 2. 90b	29. 46 ± 2. 12a	4. 44 ± 0. 26a
4	1. 26 ± 0. 09a	122. 53 ± 7. 60ab	0. 38 ± 0. 03a	9. 54 ± 0. 69b	71. 68 ± 3. 44a	20. 41 ± 1. 61b	4. 42 ± 0. 19a

综上所述,以红锥、火力楠作为混交树种与杉木营造混交林,均可以有效提升杉木生长量并改善土壤肥力状况。但本试验中,相比杉木纯林,杉木与桉树混交虽然能提升林地土壤肥力,但对杉木生长并未起到显著的正面影响,因此后期还有待于继续对试验林跟踪调查,并对该现象的原因及桉树杉木混交的可行性进行分析和探讨。

参考文献:

[1] 林同龙. 杉木人工林近自然经营技术的应用效果研究[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(3):11-16.

[2] 钱越,李铁华,游美,等. 杉木保留密度对杉阔异龄复层林生长量及土壤理化性质的影响[J]. 湖南林业科技,2024,51(3):36-43.

[3] 周柏屹,孙麟均,吴鹏飞,等. 杉木大径材培育研究进展[J]. 世界林业研究,2024,37(1):54-58.

[4] 李光强. 杉木樟树混交比例对林分生长及土壤养分含量的影响[J]. 湖南林业科技,2023,50(6):25-29.

[5] 张大兴. 不同林分林下套种草珊瑚的生长对比分析[J]. 福建林业,2022(4):36-39.

[6] 张冰冰,万晓华,杨军钱,等. 不同凋落物质量对杉木人工林土壤微生物群落结构的影响[J]. 土壤学报,2021,58(4):1040-1049.

[7] 福建农林大学森林与资源系,福建林业学校. 杉木速生丰产林栽培技术规程:DB35/T 518—2003[S]. 福州:福建省质量技术监督局,2003.

[8] 农辉林,陈秋芬,宁大玮. 杉木与红锥混交林生长量及混交比例的研究[J]. 中国林副特产,2022(1):32-34.

[9] 张超. 杉木皆伐更新杉木木荷混交林生长效益分析[J]. 福建林业科技,2023,50(4):44-47.

[10] 孙沉沉,王自强,潘畅,等. 杉木木荷混交对土壤养分和酶活性的影响[J]. 江西农业大学学报,2023,45(3):517-525.

[11] 钟祥顺. 杉木和枫香混交对杉木生长及土壤肥力的影响[J]. 福建林业,2022(4):40-43.

[12] 福建省林业调查规划院,福建省森林资源管理总站,福建农林大学. 主要树种二元立木材积表:DB35/T 1823—2019[S]. 福州:福建省市场监督管理局,2019.

[13] 国家林业局. 森林土壤分析方法:LY/T 1210~1275—1999[S]. 北京:中国标准出版社,1999.

[14] 国家林业局. 桉树丰产林经营技术规程:LY/T 2456—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.

[15] 国家林业局. 火力楠培育技术规程:LY/T 2461—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.

[16] 国家林业局. 红锥丰产栽培技术规程:LY/T 1946—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

责任编辑:杨竣焓

(上接第 9 页)

[9] 贾鹏刚. 基于无人机影像的单木参数提取与胸径反演研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2019.

[10] 李珀任,潘懋,杜世宏. 一种基于标记分水岭的高分辨率遥感影像分割方法[J]. 地理与地理信息科学,2012,28(5):10-15.

[11] KALLIOVIRTA J,TOKOLA T. Functions for estimating stem diameter and tree age using tree height,crown width and existing stand database information[J]. Silva Fennica,2005,39(2):227-248.

[12] CHEN B W, LI, et al. Forest height estimation based on uav lidar simulated waveform[J]. Int Geosci Remote Se,2017(474):2859-2862.

[13] 娄明华,张会儒,雷相东,等. 天然栎类阔叶混交林林分平均高与平均胸径关系模型[J]. 北京林业大学学报,2020,42(9):37-50.

[14] 夏洪涛,郭晓斌,张珍,等. 基于不同立地质量评价指标的杉木大径材林分树高—胸径模型[J]. 中南林业科技大学学报,2023,43(10):80-88.

[15] 何游云,张玉波,李俊清,等. 利用无人机遥感测定岷江冷杉单木树干生物量[J]. 北京林业大学学报,2016,38(5):42-49.

[16] MEYER F, BEUCHER S. Morphological segmentation[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,1990,1(1):21-46.

[17] BEUCHER S,LANTUEJOUL C. Algorithms for watersheds in contour detection[C]//Workshop Image Processing Real-Time Edge and Motion Detetction,1979:391-396.

[18] 金忠明,曹姗姗,王蕾,等. 基于 U-Net 和分水岭算法的无人机单木树冠提取方法[J]. 西北林学院学报,2020,35(6):194-204.

[19] 周润恺. 基于多参数的林分胸径估测研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2019.

[20] 严刚. 基于 pleiades 影像的川西南山地常绿阔林林分胸径、树高和冠幅的估测研究[D]. 成都:四川农业大学,2015.

责任编辑:许易琦