

施肥与修枝对闽楠幼林生长及叶养分含量的影响

黄宇¹, 林智勇¹, 张娟¹, 张天宇², 范辉华¹, 廖鹏辉^{3*}

(1.福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012; 2. 顺昌县林业科学技术中心, 福建 顺昌 353200; 3.福建省林业科学技术推广总站, 福建 福州 350003)

摘要: 【目的】分析探讨养分和树体控制对其幼林生长和叶营养元素含量的影响。【方法】采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计, 对 3 年生闽楠幼林开展不同肥料种类、肥料用量和修枝强度试验。【结果】施肥与修枝管理对闽楠幼林有明显的促进作用, 7 年生林分平均地径、胸径、树高分别比对照提高 33.12%、23.03% 和 23.53%。且不同肥种、肥料用量以及修枝强度对幼林生长的影响效应存在显著或极显著的差异水平, 以施用复合肥芭田高塔 100~125g·株⁻¹, 修剪全树高 1/4 的模式促进效应最好, 实施后, 7 年生幼林平均地径、胸径、树高分别达 4.67cm、3.87cm 和 4.66m, 比对照提高了 40.91%、68.12% 和 36.91%; 不同施肥与修枝对闽楠幼林叶片氮、钾、钙、镁养分含量的影响达显著或极显著, 而对磷含量的影响差异不显著; 影响闽楠幼林生长的主要营养元素为 N、K、Ca, 且 N-Ca、P-K、K-C 存在正相关效应。【结论】通过人工合理施肥、修枝可以补充或改善树体营养结构, 从而提高林分产量和质量。

关键词: 闽楠; 施肥; 修枝; 生长性状; 修枝; 叶片养分;

Effects of Fertilization and Pruning on Sapling Growth and Leaf nutrition of *Phoebe bournei* (Hemsl.)Yang

HUANG Yu¹, LIN Zhi-yong¹, ZHANG Juan¹, ZHANG Tian-yu², TANG Xing-hao¹, WU JUN-Jie¹, FAN Hui-hua¹
(1.Fujian Academy of Forestry, Fuzhou Fujian 350012, China;
2. Shunchang County Forestry Science and Technology Center, Shunchang, Fujian 353200, China;
3.China Popularization Station of Forestry Science & Technology of Fujian Province, Fuzhou Fujian 350003, China)

Abstract: 【Objective】To study the effects of its growth and leaf nutrient content. 【Method】 $L_9(3^4)$ orthogonal test of different fertilizer types, fertilizer dosage and pruning intensities was conducted in a 3-year-old stand of *Phoebe bournei*. 【Result】Fertilization and pruning management have obvious promoting effect on *Phoebe bournei* young plantation, ground diameter, breast diameter and tree height of 7-year-old respectively were 33.12%, 23.03% and 23.53% higher than the control. The effects of different fertilizer types, fertilizer amount and pruning intensity on the growth of young forest were significantly or extremely significantly differences. 【Conclusion】The growth promoting effect of pruning 1/4 height of young trees with compound fertilizer Batian Gaota of 100~125g·tree⁻¹ was the best, whose average ground diameter, breast diameter and tree height of *P. bournei* were reaching 4.67cm, 3.87cm and 4.66m respectively after implementation, they were 40.91%, 68.12% and 36.91% higher than the average. The effects of different fertilization and pruning on the nutrient contents of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in the leaves of young *Phoebe bournei* were significant or extremely significant, but the effects on the content of phosphorus were not significant. The main nutrient elements affecting the growth of *Phoebe bournei* young forest were N, K and Ca, and N-Ca, P-K and K-C had positive correlation effects. Through artificial fertilization and pruning, the tree nutrition structure can be supplemented or improved, so as to improve the yield and quality of the stand.

Key words: *Phoebe bournei*; fertilization; pruning; growth traits; pruning; leaf nutrition

闽楠 (*Phoebe bournei*) 为樟科常绿高大乔木, 珍贵用材树种, 国家二级保护植物 (范辉华等, 2020; 肖建华等, 2021; 郑雨盼等, 2020; 陈来贺等, 2020; 刘新亮, 2020), 该树种树冠雄伟、树形高大端庄、枝叶繁茂、四季常青, 在我国南方城市园林绿化中可作为行道树、庭荫树、风景树, 在丘陵山区也可作为

基金项目: 福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项 (杉松林下闽楠高效培育关键技术研究, 2022R1010003、闽楠不同规格容器苗造林效果研究, 2016R1010-2); 福建省林业科学推广项目 (闽楠高效培育技术推广示范, 2022TG12); 国家重点研发计划重点专项课题 (2017YFD0601102)子课题 (闽楠等珍贵树种定向培育技术集成与示范); 南方山地用材林培育国家林业和草原局重点实验室资助

第一作者: 黄宇(1984-), 女, 福建福州人, 福建省林业科学研究院工程师, 博士, 从事森林培育、中药材 GAP 与林木种苗研究。E-mail: huangyu_198404@163.com。

*廖鹏辉为通讯作者

理想的珍贵材用造林树种。闽楠的木材归类为金丝楠木，为名贵建筑用材。近年来，随着对闽楠用材认识的不断深入，人工造林已引起人们的极大兴趣与关注，闽楠育苗数量不断增加。目前有关闽楠的研究主要集中在苗木繁育、造林和生理等方面，而对其树体管理和养分的研究甚少（黄宇等，2020；陆欣远等，2022；郭朦朦等，2018；周新华等，2021；YANG Z J 等，2022），未能实现林分质量精准提升和缩短优质干材培育周期等关键技术瓶颈。研究施肥与树体管理对闽楠生长及养分的影响效应，筛选出适宜的配种、施肥量以及修枝强度，为闽楠人工林营建及高效经营管理提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省顺昌县岚下乡钱墩村钱墩工区（经度 117°96'，纬度 26°93'，69 林班 05 大班 4、5 小班），该区属亚热带海洋性季风气候，境内气候温暖湿润，雨量充沛，光照充足，冬无严寒，夏无酷暑，年平均气温 19℃，年平均降水量 1600~1800mm，无霜期 285d，相对湿度 81%，水热条件优越，适宜闽楠人工林的发展。试验林地属低山丘陵，土壤为山地红壤，土层较深厚，腐殖质含量丰富，土壤理化性质见表 1。2014 年 2 月种植 1 年生轻基质闽楠苗，面积 20 hm²，种植密度闽楠 1124 株·hm⁻²、保留杉木萌芽林 480 株·hm⁻²。

表 1 试验区林地土壤理化性质
Table1 Soil physical and chemical properties of experimental area woodland

pH	有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Rapidly available potassium/ (mg·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/ %	全磷 Total phosphorus/ %	全钾 Total potassium/ %
4.60	34.20	106.90	2.93	62.33	0.13	0.03	1.63

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计与实施

按照 L₉ (3⁴) 正交试验设计，以肥料种类、肥料用量、修枝为 3 个因素，分别设置 3 个不同水平（见表 2），试验设置 3 个重复，每个重复共 9 个处理小区，另设不施肥、不修剪为对照，对照设置 3 个小区，所有试验每小区共 50 株闽楠。2017 年 5 月进行施肥，按试验设计处理施肥量一次性施入。2018 年 2 月按方案进行修枝 1 次。试验前的林分管理基本情况为造林第一、二年 4~5 月扩穴培土、全面锄草，10-11 月全面锄草 1 次。

表 2 闽楠幼林施肥与修枝试验设计
Table2 Experimental design of young forest fertilization and pruning

水平 Level	肥料种类 Fertilizer type	厂家 Manufacturer	肥料用量 Fertilizer dosage	修剪强度 Pruning intensity	空列 Empty column
1	芭田黄金鼎 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O =16-16-16, 总养分≥48%)	徐州市芭田生态有限公司	75g·株 ⁻¹	幼树全高 1/4	
2	芭田黄金颂 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O =18-10-18, 总养分≥46%)	深圳市芭田生态工程股份有限公司	100g·株 ⁻¹	幼树全高 1/3	
3	芭田高塔 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O =20-8-15, 总养分≥43%)	深圳市芭田生态工程股份有限公司	125g·株 ⁻¹	幼树全高 1/2	

1.2.2 调查测定与采样分析

2021 年 3 月，对各试验小区闽楠的树高、胸径进行调查，每个试验小区随机调查 30 株。根据生长量调查结果，每小区选取平均木 3 株，分别采集平均木树干上半部 4 个方向的枝条上离枝条末端 10cm 处 1 年生完整叶片混合样 150g。按森林植物国标分析方法（LY/T1269、1270--1999），测定全氮、全磷、全钾、全钙、全镁养分指标（鲁如坤，2000）。

1.3 数据处理分析

采用 SPSS (V18.0) 软件对数据进行统计分析，利用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 幼林施肥与修枝对闽楠幼林生长的影响

表 3 可见，幼林经施肥与修枝的整体林分平均地径、胸径、树高为 4.11cm、3.18cm 和 4.20m，分别比对照提高 33.12%、23.03% 和 23.53%。其中处理 8 即施用复合肥芭田高塔 100g·株⁻¹+修枝全高 1/4 的模式生长效应最好，其平均地径、胸径、树高分别达 4.67cm、3.87cm 和 4.66m，分别比对照提高 40.91%、68.12% 和 36.91%。正交试验设计方差分析表明，幼林不同施肥与修枝管理对闽楠幼林地径、胸径、树高的影响均达到差异极显著水平（ $F_{地径}=12.344^{**}$ ， $F_{胸径}=15.861^{**}$ ， $F_{树高}=13.150^{**}$ ）。

表 3 施肥与修枝对闽楠幼树林分生长的影响
Table3 The effect of fertilization and pruning on growth of *P. bournei* young stands

处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer type	肥料用量 Fertilizer dosage	修剪强度 Pruning intensity	空列 Empty column	地径 Ground diameter/mm	胸径 Breast diameter/mm	树高 Tree height/cm
1	1	1	1	1	34.71±4.49 ^b	24.23±4.05 ^{Bb}	371.50±49.87C
2	1	2	2	2	40.19±5.55 ^{AB}	30.70±3.99 ^B	421.00±60.69 ^{BC}
3	1	3	3	3	39.94±5.95 ^{AB}	30.85±5.66 ^B	389.00±59.02 ^{BC}
4	2	1	2	3	40.64±6.15 ^{AB}	30.91±6.84 ^B	386.50±56.96 ^{BbC}
5	2	2	3	1	37.02±6.43 ^{ABb}	27.44±5.76 ^{Bb}	395.50±56.89 ^{BC}
6	2	3	1	2	42.60±7.78 ^{AB}	33.19±6.79 ^{AaB}	462.50±68.51 ^A
7	3	1	3	2	45.95±4.57 ^{AB}	36.55±6.85 ^A	471.50±48.80 ^A
8	3	2	1	3	46.66±6.59 ^A	38.71±4.00 ^A	465.50±66.92 ^A
9	3	3	2	1	42.58±3.53 ^{AaB}	33.38±7.20 ^{Aa}	417.00±42.84 ^B
平均					41.14	31.77	420.00
CK					33.12±3.93 ^b	23.03±1.05 ^b	340±40 ^C

①同一列中不同大写字母分析表示 0.01 水平极显著差异，小写字母为显著差异。数值为平均值±标准差。
Different capital letters in the same column mean significant difference at 0.01 level. Data= Mean ± Standard deviation.

2.2 幼树林分生长影响的极差分析

从因子要素看，由极差分析结果看出（表 4），肥料种类对闽楠幼树生长效应最大， $R_{地径}$ 、 $R_{胸径}$ 、 $R_{树高}$ 值分别达到 6.78、7.62、57.50；从单因子均值角度分析，施用芭田高塔复合肥对闽楠植株生长的地径、胸径、树高影响最大，均值分别达 45.06、36.21、451.33。从各因子的水平看，A（肥种）以 2 水平最好即施用芭田高塔复合肥的生长效果最好，因素 B（施肥量）以 2 或 3 水平最好且两者相当，因素 C（修枝强度）以 1 水平最优。从生长效应看，最优组合为：施用芭田高塔复合肥 100g·株⁻¹~125g·株⁻¹、修枝强度为全高 1/4 的模式。

2.3 幼林施肥与修枝对叶养分的影响

闽楠幼林经幼林施肥与修枝管理，林分叶片主要常量营养元素平均含量为氮 1.420~1.560%、磷 0.099~0.139%、钾 0.711~1.160%、钙 0.290~0.533%、镁 0.090~0.134%（见表 5）。处理 1 的叶片氮和钙含量最高，达 1.56%、0.533%；处理 3 的镁含量最高，达 0.134%；处理 5 和 9 的磷含量最高，达 0.139%；处理 6 的钾含量最高，达 1.160%。经方差分析和多重比较结果表明，不同施肥与修枝对闽楠幼林叶片氮、钾、钙、镁养分含量的影响达显著或极显著（ $F_{氮}=3.975^{**}$ ， $F_{钾}=54.341^{**}$ ， $F_{钙}=20.065^{**}$ ， $F_{镁}=3.692^{**}$ ），而对磷含量的影响差异不显著，说明施肥和修枝对树体营养结构会产生影响，通过人工合理施肥、修枝可以补充或改善树体营养结构，从而提高林分产量和质量。

表 4 施肥与修枝对闽楠幼树林分生长影响的极差分析
Table4 Range analysis of the effect of fertilization and pruning on growth of *P. bournei* young stands

处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer type	肥料用量 Fertilizer dosage	修剪强度 Pruning intensity	空列
k1 地径	38.28	40.43	41.32	38.10
k2 地径	40.09	41.29	41.14	42.91
k3 地径	45.06	41.71	40.97	42.41
R 地径	6.78	1.27	0.35	4.81
地径最优组合 Optimal combination of ground diameter	A3	B3	C1	D2
k1 胸径	28.59	30.56	32.04	28.35
k2 胸径	30.51	32.28	31.66	33.48

k3 胸径	36.21	32.47	31.61	33.49
R 胸径	7.62	1.91	0.43	5.13
胸径最优组合 Optimal combination of DBH	A3	B3	C1	D3
k1 树高	393.83	409.83	433.17	394.67
k2 树高	414.83	427.33	408.17	451.67
k3 树高	451.33	422.83	418.67	413.67
R 树高	57.50	13.00	14.50	57.00
树高最优组合 Optimal combination of tree height	A3	B2	C1	D2

表 5 施肥与修枝对闽楠叶养分的影响
Table5 The effect of fertilization and pruning on leaf plant nutrition of *P. bournei*

处理 Treatment	全氮 Total nitrogen/%	全磷 Total phosphorus/%	全钾 Total potassium/%	钙 Calcium/%	镁 Magnesium/%
1	1.560±0.026 ^A	0.099±0.009 ^{Aa}	0.711±0.017 ^C	0.533±0.036 ^A	0.134±0.013 ^A
2	1.510±0.053 ^A	0.120±0.018 ^A	0.861±0.029 ^B	0.512±0.040 ^A	0.090±0.014 ^B
3	1.460±0.026 ^{AB}	0.112±0.017 ^A	0.865±0.031 ^B	0.425±0.037 ^B	0.145±0.013 ^A
4	1.540±0.065 ^A	0.129±0.009 ^A	0.931±0.028 ^{Bb}	0.516±0.038 ^A	0.133±0.022 ^A
5	1.500±0.026 ^A	0.139±0.026 ^A	0.974±0.026 ^{AaB}	0.445±0.026 ^B	0.140±0.023 ^A
6	1.450±0.027 ^{AB}	0.124±0.009 ^A	1.160±0.035 ^A	0.290±0.030 ^C	0.136±0.011 ^A
7	1.420±0.053 ^{AB}	0.137±0.026 ^A	1.090±0.036 ^{Aa}	0.314±0.026 ^C	0.115±0.012 ^{AB}
8	1.460±0.046 ^{AB}	0.131±0.038 ^A	1.010±0.035 ^{Aa}	0.421±0.029 ^B	0.116±0.012 ^{AB}
9	1.540±0.031 ^A	0.139±0.013 ^A	1.000±0.039 ^{Aa}	0.415±0.030 ^B	0.117±0.014 ^{Aa}
平均	1.490	0.126	0.956	0.430	0.125
CK	1.500	0.129	0.972	0.292	0.099

①同一列中不同大写字母分析表示 0.01 水平极显著差异，小写字母为显著差异。数值为平均值±标准差。
Different capital letters in the same column mean significant difference at 0.01 level. Data= Mean ± Standard deviation.

2.4 闽楠幼林生长与养分指标相关分析

将生长量和叶养分指标进行 Spearman 相关分析，表 6 可见，地径与胸径的相关性最大，相关系数达 0.9953；全钾与钙的相关性次之，相关系数达 0.8735；胸径与树高呈显著正相关，相关系数达 0.8582 (P<0.01)。树高是反应地力、土壤养分最敏感的指标，从树高与养分指标相关性看，树高与 N、K、Ca 呈显著或极显著相关，相关系数分别为 0.7623、0.8095、0.7810，说明影响林木生长的主要营养元素为 N、K、Ca。从营养元素间的相关性看，N-Ca、P-K、K-Ca 呈显著或极显著正相关。因此，注重 N、K、Ca 养分的补充和比例调控对闽楠质量和产量的提升可能会收到很好效果，这为闽楠幼树精准施肥提供参考。

表 6 闽楠幼林生长与养分指标相关分析
Table6 The correlation analysis of young forest growth and nutrient index of *P. bournei*

处理 Treatment	地径 Ground diameter	胸径 Breast diameter	树高 Tree height	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	钙 Calcium	镁 Magnesium
地径 Ground diameter	1	0.9953**	0.8721**	0.6647	0.5707	0.7328*	0.6354	0.3925
胸径 Breast diameter		1	0.8582**	0.6663	0.5689	0.7152*	0.6136	0.3783
树高 Tree height			1	0.7623*	0.4844	0.8095**	0.7810*	0.4132
全氮 Total nitrogen				1	0.2857	0.6666	0.8101*	0.0010
全磷 Total phosphorus					1	0.7301*	0.4324	0.2020
全钾 Total potassium						1	0.8735*	0.0307
钙 Calcium							1	0.1116
镁 Magnesium								1

①*表示显著相关 (P<0.05)，**表示极显著相关 (P<0.01)。
*indicates significant correlation (P<0.05), **indicates extremely significant correlation (P<0.01).

3 讨论

林木施肥目的就是需要将亏损的养分归还土壤, 从而增加生物量的积累速度, 缩短成材年限。而土壤中的常量营养元素氮、磷、钾通常不能满足作物生长的需求, 需要施用含氮、磷、钾的化肥来补足。钾能促进植株茎秆健壮, 氮是构成蛋白质的主要成分, 对茎叶的生长和果实的发育有重要作用(赵永志, 2016)。在不同施肥种类对闽楠苗木套种效果的影响研究中发现, 以施复合肥效果最佳(郑惠成, 2019)。本研究针对3种复合肥设置3种不同施肥量, 比较其植株生长差异发现, 不同肥种、肥料用量以及修枝强度对幼林生长的影响效应存在显著或极显著的差异水平, 以施用复合肥芭田高塔 100~125g·株⁻¹, 修剪全树高 1/4 的模式促生效应最好, 实施后, 7年生幼林平均胸径、树高分别达 4.67cm 和 4.66m, 比对照提高 68.12% 和 36.91%; 经幼林施肥与修枝的闽楠幼林植株平均全氮 1.49%、全磷 0.126%、全钾 0.956%、钙 0.430%、镁 0.125%, 最大值分别比对照提高 4%、7.75%、19.34%、82.53%、46.46%。不同施肥与修枝对闽楠幼林叶片氮、钾、钙、镁养分含量的影响达显著或极显著, 而对磷含量的影响差异不显著; 影响闽楠幼林生长的主要营养元素为 N、K、Ca, 且 N-Ca、P-K、K-C 存在正相关效应。

南方山地普遍缺磷, 施用磷肥通常对杉木等树种会产生明显的效果, 而本研究结果是施用含氮量高而含磷量最低的复合肥的效果最好, 且叶片中磷素与生长量不相关。发现(谢亚斌, 2019)氮、钾复合肥能够促进树高的生长, 氮因子对树高和胸径生长量的影响最大, 氮、磷、钾各不同水平下对树高生长量的影响均有不同, 分别为 N3 (200 g·株⁻¹) > N2 (100 g·株⁻¹) > N1 (0), P1 (0) > P2 (100 g·株⁻¹) > P3 (200 g·株⁻¹), K3 (200 g·株⁻¹) > K1 (0) > K2 (100 g·株⁻¹)。氮磷钾各不同水平下对胸径生长量的影响均有不同, 分别为 N3 (200 g·株⁻¹) > N2 (100 g·株⁻¹) > N1 (0), 这与本研究结果大致相同, 也许这是闽楠这树种的特有现象, 有待于我们进一步研究。通过修枝、除干等抚育手段进行修正, 可以有效控制木荷分叉情况, 提升枝下高, 提高养分利用和增加光照强度, 形成顶端优势, 促进木荷生长(黄秋良等, 2019)。因此, 建议在闽楠造林时, 采用容器苗在适宜的立地条件林地造林, 结合幼林抚育时应尽早开展1~2次除干、修剪处理, 能够使干材生长与优质干形培育相对协调发展, 提高木材材积、等级和利用价值。

4 结论

施肥与修枝管理对闽楠幼林有明显的促进作用, 7年生林分平均地径、胸径、树高分别比对照提高 33.12%、23.03% 和 23.53%。且不同肥种、肥料用量以及修枝强度对幼林生长的影响效应存在显著或极显著的差异水平, 以施用复合肥芭田高塔 100~125g·株⁻¹, 修剪全树高 1/4 的模式促生效应最好, 实施后, 7年生幼林平均地径、胸径、树高分别达 4.67cm、3.87cm 和 4.66m, 比对照提高了 40.91%、68.12% 和 36.91%; 不同施肥与修枝对闽楠幼林叶片氮、钾、钙、镁养分含量的影响达显著或极显著, 而对磷含量的影响差异不显著; 影响闽楠幼林生长的主要营养元素为 N、K、Ca, 且 N-Ca、P-K、K-C 存在正相关效应。

参 考 文 献

- 范辉华, 李莹, 汤行昊, 等. 2020. 不同密度杉木林分下套种闽楠的生长分析. 森林与环境学报, 40(2): 184-189.
(FAN H H, LI Y, TANG X H, et al. 2020. Analysis of forest growth of *Cunninghamia lanceolata* interplanted with *Phoebe bournei* in different densities. *Journal of Forest and Environment*, 40(2): 184-189. [in Chinese])
- 肖建华, 丁鑫, 蔡超男, 等. 2021. 闽楠(*Phoebe bournei*, Lauraceae)地理分布及随气候变化的分布格局模拟. 生态学报, 41(14): 5703-5712.
(XIAO J H, DING X, CAI C N, et al. 2021. Simulation of the potential distribution of *Phoebe bournei* with climate changes using the maximum-entropy (MaxEnt) model. *Acta Ecologica Sinica*, 41(14): 5703-5712. [in Chinese])
- 郑雨盼, 杨锦昌, 邹文涛, 等. 2020. 常用促根生长调节剂对闽楠高空压条生根的影响. 热带作物学报, 41(9): 1803-1807.
(ZHENG Y P, YANG J C, ZOU W T, et al. 2020. Effects of rooting plant growth regulators on rooting of air-layers of *Phoebe bournei*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 41(9): 1803-1807. [in Chinese])
- 陈来贺, 王妍, 杨志坚, 等. 2020. 不同植物生长调节剂对闽楠扦插的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 48(11): 54-61.
(CHEN L H, WANG Y, YANG Z J, et al. 2020. Effects of plant growth regulators on *Phoebe bournei* cutting propagation. *Journal of Northwest A&F University(Nat. Sci. Ed.)*, 48(11): 54-61. [in Chinese])
- 刘新亮, 何小三, 刘蕾, 等. 2020. 施肥和修枝对闽楠幼林生长的影响. 南方林业科技, 48(5): 24-26.

- (LIU X L, HE X S, LIU L, *et al.* 2020. Effects of pruning and fertilization on the growth of *Phoebe bournei* plantations. *South China Forestry Science*, 48(5): 24-26.[in Chinese])
- 黄宇, 林智勇, 张娟, 等. 2020. 闽楠不同规格容器苗造林效果分析. *福建林业科技*, 47(1): 38-44, 91.
- (HUANG Y, LIN Z Y, ZHANG J, *et al.* 2020. *Study on afforestation effect of different specifications container seedlings in Phoebe bournei*(Hemsl.)Yang. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 47(1):38-44, 91. [in Chinese])
- 陆欣远, 韦小丽, 田鸿, 等. 2022. 施肥对珍贵树种榉树和闽楠幼树生长及生理的影响. *分子植物育种*, 20(1): 310-319.
- (LU X Y, WEI X L, TIAN H, *et al.* 2022. *Effects of fertilization on growth and physiology of precious tree species of zelkova and Phoebe bournei. Molecular Plant Breeding*, 20(1): 310-319.[in Chinese])
- 郭滕滕, 陈全助, 冯丽贞, 等. 2018. 闽楠溃疡病病原鉴定及其生物学特性研究. *热带作物学报*, 39(8): 1601-1610.
- (GUO M M, CHEN Q Z, FENG L Z, *et al.* 2018. *Pathogen identification of Phoebe bournei stem canker and determination of its biological characteristics.Chinese Journal of Tropical Crops*, 39(8): 1601-1610. [in Chinese])
- 周新华, 武晓玉, 何平, 等. 2021. 3种育苗因素对闽楠容器苗生长和根系发育的影响. *中国林业科技大学学报*, 41(3): 45-53.
- (ZHOU X H, WU X Y, HE P, *et al.* 2021. Effects of three factors on seedling growth and root development of *Phoebe bournei* container. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 41(3): 45-53. [in Chinese])
- YANG Z J, WU X H, Steven C. Grossnickle, *et al.* 2020. Formula Fertilization Promotes *Phoebe bournei* Robust Seedling Cultivation. *Forests*, 11(7): 781.
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社.
- (LU R K. 2000. Soil agricultural chemical analysis method. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. [in Chinese])
- 赵永志. 2016. 生态施肥理论与实践. 北京:中国农业科学技术出版社.
- (ZHAO Y Z. 2016.Theory and practice of ecological fertilization. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. [in Chinese])
- 郑惠成. 2019. 杉木大径材林下套种闽楠的早期生长效应研究. *林业勘察设计*, (3): 31-34.
- (ZHENG H C. 2019. *Study on the young growth of Phoebe bournei inter plantation in large-diameter forestry of Cunninghamia lanceolata. Forestry Prospect and Design*, (3): 31-34.[in Chinese])
- 谢亚斌. 2019. 不同配方施肥对闽楠幼林影响的研究. 长沙: 中南林业科技大学.
- (XIE Y B.2019.The study on the effect of different formula fertilization on the young forest of *Phoebe bournei*. Changsha: Central south University of Forestry &Technology.[in Chinese])
- 黄秋良, 范辉华, 罗佳佳, 等. 2019. 修剪对木荷生长的影响及途径分析. *防护林科技*, (12): 1-4, 13.
- (HUANG Q L, FAN H H, LUO J J, *et al.* 2019. *Effect of pruning on growth of Schima superba and its path analysis. Protection Forest Science and Technology*, (12):1-4, 13.[in Chinese])