

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.01.002

利用珍贵树种改造尾巨桉纯林的混交模式研究

周芳萍¹, 徐建民^{1*}, 陆海飞¹, 李光友¹, 范春节¹, 梁保智¹, 张磊²

(1. 中国林业科学研究院热带林业科学研究所, 热带林业研究国家林业和草原局重点实验室, 广东广州 510520;

2. 广西国有东门林场, 广西扶绥 532108)

摘要: [目的] 探讨尾巨桉纯林不同采伐强度下套种珍贵树种的混交林模式, 分析套种后林分生长及林下植被多样性的变化趋势, 旨在为尾巨桉纯林转型为桉-珍复层混交林的营林实践提供科学依据。[方法] 采用裂区试验设计, 应用珍贵树种对广西国有东门林场 9 年生尾巨桉人工纯林进行改造试验, 以桉树(主区)和套种珍贵树种(副区, 套种 6 个珍贵树种分别为: I、红锥, II、格木, III、球果木莲, IV、交趾黄檀, V、黑木相思, VI、土沉香)为小区, 设置 4 个采伐处理: A、隔 1 行采伐 1 行套种(1 桉 1 珍); B、隔 2 行采伐 2 行套种(2 桉 2 珍); C、隔 3 行采伐 2 行套种(3 桉 2 珍); D、隔 2 行采伐 3 行套种(2 桉 3 珍); 对照(CK)林分不做任何处理。于套种后 3.5 年生时对试验区内林木进行每木检尺, 并按常规方法调查林下植被。[结果] 不同混交模式的尾巨桉平均树高、胸径、单株材积显著增加, 最高分别为 27.63 m、21.89 cm 和 0.38 m³, 较对照分别提高了 16.98%、19.75%、80.95%。6 个套种树种中, 球果木莲的各项生长指标均表现最佳, 其次为黑木相思和红锥。3 桉 2 珍套种黑木相思的林分蓄积量最优, 达 244.87 m³·hm⁻², 较对照高出 3.65%。此外, 2 桉 2 珍套种红锥的林分草本层 Simpson 指数和 3 桉 2 珍套种红锥的林分草本层 Shannon-winner 指数分别为 0.84、1.71, 较对照分别高出 25.40%、30.50%; 而 2 桉 2 珍套种交趾黄檀的林分灌木层 Simpson、Shannon-winner 指数分别为 0.80、1.61, 比对照分别高出 42.9%、71.27%。[结论] 本研究应用珍贵树种改造尾巨桉纯林, 形成桉-珍复层混交林, 显著提高了尾巨桉的平均树高、胸径、单株材积, 优化了林分结构, 丰富了林分的物种多样性, 改变了尾巨桉单一林相的景观, 有助于提高尾巨桉人工林的生态效益和经济效益。研究结果为桉树中大径材培育、国家储备林经营等提供了科技支撑。

关键词: 尾巨桉; 珍贵树种; 复层混交林; 林分生长; 林下植被

中图分类号: S756; S792.39

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)01-0010-10

桉树是桃金娘科(Myrtaceae)桉属(*Eucalyptus* L'H. erit.)、杯果木属(*Angophora* Cav.)和伞房属(*Corymbia* K.D.Hill & L.A. Johnson)植物的总称^[1], 在 18 世纪 90 年代引入我国, 桉树种类多、生长快、耐贫瘠、抗逆性强、适应性广, 是我国三大速生树种之一, 亦是世界最重要的纸浆原材料树种之一, 具有良好的经济效益、生态效益和社会效益^[2-4]。广西地处亚热带季风气候区, 水、光、热

资源丰富, 适合发展桉树工业原料林^[5]。迄今为止, 广西已成为我国重要的桉树速生丰产林基地, 人工林面积达 256 万 hm², 单位面积生长量及立木蓄积量均居全国第一, 年产木材超过 3 000 万 m³, 占全国商品林产材四分之一^[6-7]。

然而, 桉树人工林多次萌芽更新的经营方式易造成地力衰退、群落结构单一、生物多样性降低等一系列生态问题, 导致林地生产力下降^[8]。因此, 研

收稿日期: 2021-04-13 修回日期: 2021-08-05

基金项目:“十三五”国家重点研发计划“桉树高纤维纸浆材定向培育技术研究”项目(2016YFD0600503)。

* 通讯作者: 徐建民, 博士, 研究员。主要研究方向: 林木遗传改良与森林培育。Email: jianmxu@163.com

究不同营林措施下的桉树人工林及林下植物群落的生长与变化, 对桉树可持续经营具有重要意义^[9]。抚育间伐可以促进林木生长^[10-12]及林下植被发育^[13-15], 改善林分结构, 增加物种多样性, 提高森林生态效益; 而林下套种对人工林林分的树高、胸径等生长指标的生长有一定的促进作用^[16-18]。目前, 桉树人工林高产栽培技术及措施已有一系列的报道^[19-21], 一些学者通过桉树同龄混交试验发现, 桉树与马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)^[22]、金合欢树 (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.)^[23]、团花 (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser)^[24]、马占相思 (*Acacia mangium* Willd.)^[25]及部分乡土树种^[26]混交有利增加林分树种组成, 优化林分结构, 改善林地土壤结构和养分组成, 有益桉树人工林生态环境恢复^[27], 但桉树纯林经不同强度采伐后套种珍贵树种的混交试验研究尚鲜见报道。

桉林经不同强度采伐后, 套种珍贵树种转变为异龄复层混交林的营林模式, 对优化桉树人工林树种组成和林分结构, 改变桉纯林林相景观单一、稳定性差的生态系统, 进而提升林分质量和生态效益十分有益。目前, 华南地区社会和经济快速发展, 人们对美好生活的追求日趋增强, 桉树人工林经营面临一个现实问题, 即饮用水源的集水区、江河流域沿岸和已划定为生态公益林范围的桉纯林如何改造营林是亟待解决的重大问题。鉴于此, 本研究以位于桂中南丘陵山地的国有东门林场尾巨桉 (*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*) 人工林为对象, 开展采伐桉树后套种珍贵树种的混交模式试验, 探讨不同采伐强度下套种珍贵树种形成的复层混交林, 其生长及林下植物多样性的差异, 为桉树纯林改造的营林实践提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区中南部的国有东门林场 (22°34' N, 107°7' E), 海拔 150~200 m, 并以低丘地貌为主, 地势低平, 林地坡度较小。属于亚热带季风气候, 水热条件资源丰富, 年平均日照 1 634~1 719 h, 年均温 21℃ 左右, 极端高温 41℃, 极端低温 -4℃; 年降水量 1 300 mm 左右, 相对湿度 80%; 土壤母岩为页岩, 土壤为赤红壤, 土层深厚, 普遍在 80 cm 以上, 质地多为壤土至轻黏土, 土壤 pH 值为 4.5~6.0, 有机质含量 2%~6.58%^[28]。

2 研究方法

2.1 试验设计与铺设

试验地位于国有东门林场华侨分场 24 林班, 林分为 2008 年种植的尾巨桉 DH32-28 无性系, 株行距 2 m × 4 m, 面积 9.53 hm²。试验采用裂区试验设计, 以采伐方式 (主区) 和套种珍贵树种 (副区, 套种 6 个珍优树种分别为: I、红锥 (*Castanopsis hystrix* Miq.); II、格木 (*Erythrophleum fordii* Oliv.); III、球果木莲 (*Manglietia conifera* Dandy.); IV、交趾黄檀 (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre.); V、黑木相思 (*Acacia melanoxylon* R.Br.); VI、土沉香 (*Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng.) 为小区, 每个区组内有 24 个小区。设置 4 个采伐套种处理, 分别为: A、隔 1 行采伐 1 行套种 (1 桉 1 珍), 每小区桉树、珍贵树种各 20 株; B、隔 2 行采伐 2 行套种 (2 桉 2 珍), 每小区桉树、珍贵树种各 20 株; C、隔 3 行采伐 2 行套种 (3 桉 2 珍), 每小区桉树 30 株, 珍贵树种 20 株; D、隔 2 行采伐 3 行套种 (2 桉 3 珍), 每小区桉树 20 株, 珍贵树种 30 株。各小区每行均 10 株, 试验设 3 次重复, 对照林分不做任何处理 (CK)。

2017 年 10 月选择立地条件和林木生长基本一致的地段, 将其分为试验地块与对照地块, 对试验地块实施强度 40%~60% 的行间采伐, 人工清理采伐剩余物后按原行向, 在伐桩间人工挖穴, 穴规格为 50 cm × 40 cm × 35 cm, 挖穴后施基肥并回土填满, 每穴施配方肥 (N、P、K 比例为 6:12:7) 250 g。造林时珍贵树种苗龄为 1 年生, 苗高 40~60 cm, 地径 0.3~0.6 cm。造林后连续 2 a 对套种幼苗进行抚育追肥, 即每年 2 次砍杂及追肥 1 次。追肥方法为在距离树基 50 cm 处挖掘 15~20 cm 见方的小穴, 施复合肥 (N:P:K = 15:6:9) 750 g·株⁻¹, 施肥后再盖土。

2.2 调查方法

采伐前对试区进行每木检尺, 树高采用红外线测高仪 (精确到 0.01 m) 测量, 胸径采用测树围尺 (精确到 0.01 cm) 测量。统计试验地与对照样地林分的树高、胸径和蓄积量, 并进行林下植被多样性本底调查。

2020 年 12 月对改造后的林分进行生长和植被调查。测定各小区内每株树的胸径、树高, 并计算单株材积和林分蓄积量等。在每个小区内沿对

角线设置3个2 m × 2 m的灌木样方,再在每个灌木样方内设置1个1 m × 1 m的草本样方,分别调查记录灌木和草本的种类、株数(丛数)、盖度、高度等,并计算Margalef物种丰富度指数(R)、Shannon-Wiener多样性指数(X)、Simpson多样性指数(Y)以及Pielou群落均匀度指数(J_{sw})等物种多样性指标。计算公式如下:

$$R = \frac{S-1}{\ln N}; X = -\sum_i^s Ni \times \ln Ni; Y = 1 - \sum_{i=1}^s Ni^2; J_{sw} = \frac{H}{\ln S}$$

式中: S 为样方内物种总数, N 为样方内所有植物总个体数, N_i 表示第*i*种植物个体数。

2.3 统计分析

采用Excel 2010进行数据整理与初步计算,应用R语言对树高、胸径和单株材积以及生物多样性指标进行方差分析。若不满足方差齐性和正态分布,则经过lg(x)转化后进行分析。对差异显著的指标进一步进行Duncan多重比较($\alpha = 0.05$)。按树单株材积(V, m^3)计算公式^[29]如下:

$$V = \pi \times (DBH/2)^2 \times H/30\,000$$

式中: DBH 为单株胸径, H 为单株树高。

南方阔叶树立木材积计算(V, m^3)公式如下:

$$V = (D/200)^2 \times 3.14 \times (H+3) \times 0.408$$

式中: D 表示单株胸径, H 表示单株树高^[30]。

蓄积量的计算:以样地平均单株材积乘以株数,再由样地面积换算为每公顷蓄积量。

裂区试验设计的数学模型为:

$$X_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

式中: i 个区组, j 个主因素单元, k 个副因素单元, μ 为总体平均, ρ_i 为区组效应, α_j 为A因素效应、 β_k 为B因素效应、 $(\alpha\beta)_{jk}$ 为A因素和B因素交互效应, ε_{ij} 为主区误差, ε_{ijk} 为副区误差。

3 结果分析

3.1 不同混交模式间林木生长差异

3.1.1 树高生长 混交营林3.5 a时,尾巨桉树高生长在不同采伐强度、套种不同珍贵树种及交互作用下均无显著差异;而珍贵树种树高在不同树种及交互作用下差异显著($P < 0.05$,表1)。

表1 不同复层混交林模式林木种树高生长方差分析

Table 1 Analysis table of variance of tree height growth in different multi-layer mixed forest

| 变异来源 Source | 尾巨桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> | | | | | 珍贵树种 Precious trees | | | | |
|-------------------------|--|-----------|----------|------|--------------|------------------------|-----------|----------|-------|--------------|
| | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS | F值 | P值 (0.05) | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS | F值 | P值 (0.05) |
| 区组 Block | 2 | 147.90 | 73.97 | | | 2 | 188.60 | 94.30 | | |
| 主区 Main | | | | | | | | | | |
| 采伐强度 Cutting intensity | 3 | 135.80 | 45.28 | 0.99 | 0.46 | 3 | 4.40 | 1.47 | 0.26 | 0.85 |
| 主区误差 Main Error | 6 | 275.60 | 45.93 | | | 6 | 34.34 | 5.72 | | |
| 副区 Sub | | | | | | | | | | |
| 套种树种 Species | 5 | 128.00 | 25.63 | 1.19 | 0.31 | 5 | 302.80 | 60.57 | 8.91* | <0.000 1 |
| 采伐强度 × 套种树种 Interaction | 15 | 449.00 | 29.96 | 1.39 | 0.14 | 15 | 155.70 | 10.38 | 6.67* | <0.000 1 |
| 副区误差 Sub Error | 1052 | 22 627.00 | 21.51 | | | 742 | 1 154.90 | 1.56 | | |

注: *表示不同混交林模式下差异显著($P < 0.05$),下同。

Notes: *means that there are extremely significant differences in different multi-layer mixed forest($P < 0.05$), the same as below.

由表2可知:混交营林3.5 a时,不同采伐强度下,尾巨桉树高均显著高于对照,其中,1桉1珍的尾巨桉树高为27.63 m,较对照高16.98%;而珍贵树种中,2桉2珍的黑木相思、球果木莲及3桉2珍的球果木莲、红锥的树高生长较优。2桉2珍的黑木相思和球果木莲树高分别为5.25 m、

5.22 m, 3桉2珍的球果木莲和红锥树高分别为5.19、5.17 m, 2桉3珍的土沉香树高生长最差,为2.92 m; 2桉2珍的黑木相思、球果木莲和3桉2珍的球果木莲、红锥树高生长分别较2桉3珍的土沉香高79.79%、77.74%、78.77%和77.05%。

表2 不同复层混交林模式林木树高差异显著性分析

Table 2 Analysis on the significant difference of tree height in different multi-layer mixed forest

m

| 采伐方式 Cutting | 尾巨桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> | | 珍贵树种 Precious trees | | | | | |
|-----------------|--|---------|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | 采伐前 Origin | 采伐后 Now | 红锥 I | 格木 II | 球果木莲 III | 交趾黄檀 IV | 黑木相思 V | 土沉香 VI |
| 1桉1珍 | | 27.63 a | 4.23 cd | 4.43 bc | 5.18 abc | 3.66 def | 4.52 bc | 4.33 bc |
| 2桉2珍 | | 26.97 a | 4.91 ab | 3.29 def | 5.22 a | 3.14 fgh | 5.25 a | 3.07 gh |
| 3桉2珍 | 23.35 a | 26.66 a | 5.17 a | 3.85 de | 5.19 a | 2.94 gh | 4.63 abc | 2.55 h |
| 2桉3珍 | | 27.18 a | 4.26 cd | 5.12 a | 4.29 cd | 3.02 fgh | 4.99 ab | 2.92 gh |
| 对照 CK | 23.26 a | 23.62 b | — | — | — | — | — | — |

注: 小写字母表示不同混交林模式下差异显著 ($P < 0.05$), 珍贵树种中的多重比较是所有树种进行的比较, 下同。

Notes: lower-case letter means that there are significant differences in different multi-layer mixed forest ($P < 0.05$), Multiple comparisons in precious species are comparisons of all species, the same as below.

3.1.2 胸径生长 混交营林 3.5 a 时, 尾巨桉的胸径生长在不同采伐强度下差异显著, 而在套种不同珍贵树种及交互作用下差异不显著。不同采伐强度

对珍贵树种的胸径生长影响差异不显著, 而套种树种和采伐强度 × 套种树种交互作用对珍贵树种的胸径生长影响差异显著 ($P < 0.05$, 表3)。

表3 不同复层混交林模式林木胸径生长方差分析

Table 3 Analysis table of tree DBH growth variance in different multi-layer mixed forest

| 变异来源 Source | | 尾巨桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> | | | | | 珍贵树种 Precious trees | | | | |
|----------------|-------------------------|--|-----------|----------|-------|--------------|------------------------|-----------|----------|--------|--------------|
| | | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS | F值 | P值 (0.05) | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS | F值 | P值 (0.05) |
| 主区 Main | 区组 Block | 2 | 27.50 | 13.75 | | | 2 | 66.67 | 33.33 | | |
| | 采伐强度 Cutting intensity | 3 | 413.10 | 137.70 | 7.86* | 0.017 | 3 | 44.80 | 14.93 | 1.91 | 0.23 |
| | 主区误差 Main Error | 6 | 105.10 | 17.52 | | | 6 | 46.84 | 7.81 | | |
| 副区 Sub | 套种树种 Species | 5 | 32.00 | 6.41 | 0.30 | 0.91 | 5 | 246.10 | 49.21 | 20.19* | <0.0001 |
| | 采伐强度 × 套种树种 Interaction | 15 | 301.00 | 20.07 | 0.94 | 0.52 | 15 | 172.00 | 11.47 | 4.71* | <0.0001 |
| | 副区误差 Sub Error | 1053 | 22 470.00 | 21.34 | | | 742 | 1 808.30 | 2.44 | | |

由表4可知: 不同采伐强度的尾巨桉胸径均显著高于对照, 1桉1珍的尾巨桉胸径显著高于3桉2珍、2桉2珍的。1桉1珍的尾巨桉胸径达21.89 cm, 胸径等级较对照纯林提升2个等级; 而3桉2珍、2桉2珍的胸径等级较对照纯林提升

1个等级, 提升了尾巨桉中、大径材的比例。而珍贵树种中, 2桉2珍和3桉2珍的球果木莲胸径生长表现最优(分别为5.03、5.22 cm), 其次是2桉3珍的格木和黑木相思(分别为5.17、4.88 cm), 而3桉2珍的交趾黄檀胸径生长表现最差, 仅2.51 cm。

表4 不同复层混交林模式林木胸径差异显著性分析

Table 4 Analysis on the significance of DBH difference in different multi-layer mixed forest

cm

| 采伐方式 Cutting | 尾巨桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> | | 珍贵树种 Precious trees | | | | | |
|-----------------|--|----------|------------------------|------------|------------|----------|-----------|------------|
| | 采伐前 Origin | 采伐后 Now | 红锥 I | 格木 II | 球果木莲 III | 交趾黄檀 IV | 黑木相思 V | 土沉香 VI |
| 1桉1珍 | | 21.89 a | 3.97 fghi | 4.11 efgh | 4.12 defgh | 3.29 jkl | 3.84 ghi | 4.36 cdefg |
| 2桉2珍 | | 20.59 b | 4.57 bcde | 3.56 ijk | 5.03 ab | 2.68 mn | 4.54 bcde | 3.11 klm |
| 3桉2珍 | 16.97 a | 20.30 b | 4.64 bcde | 4.05 efghi | 5.22 a | 2.51 n | 3.78 hij | 4.23 defgh |
| 2桉3珍 | | 21.04 ab | 4.41 cdef | 5.17 a | 4.57 bcde | 2.77 lmn | 4.88 abc | 3.06 klm |
| 对照 CK | 16.85 a | 18.28 c | — | — | — | — | — | — |

3.1.3 单株材积生长 混交营林 3.5 a 时, 尾巨桉单株材积在不同采伐强度下差异显著, 而在不同套种树种及交互作用下差异不显著。不同采伐强度对

珍贵树种的单株材积影响差异不显著, 而不同套种树种及交互作用对其单株材积影响差异显著 ($P < 0.05$, 表 5)。

表 5 不同复层混交林模式林木单株材积生长方差分析

Table 5 Analysis table of variance of individual tree volume growth in different multi-layer mixed forest

| 变异来源 Source | 尾巨桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> | | | | | 珍贵树种 Precious trees | | | | | |
|----------------|--|-----------|----------|------|--------------|------------------------|-----------|----------|-------|--------------|----------|
| | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS | F值 | P值 (0.05) | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS | F值 | P值 (0.05) | |
| 主区 Main | 区组 Block | 2 | 0.04 | 0.02 | | | 2 | 6.64 | 3.32 | | |
| | 采伐强度 Cutting intensity | 3 | 0.55 | 0.18 | 6.42* | 0.03 | 3 | 5.90 | 1.97 | 3.43 | 0.09 |
| | 主区误差 Main Error | 6 | 0.17 | 0.03 | | | 6 | 3.44 | 0.57 | | |
| 副区 Sub | 套种树种 Species | 5 | 0.07 | 0.01 | 0.42 | 0.84 | 5 | 19.80 | 3.96 | 6.07* | <0.000 1 |
| | 采伐强度 × 套种树种 Interaction | 15 | 0.48 | 0.03 | 0.98 | 0.47 | 15 | 22.50 | 1.50 | 2.30* | <0.000 1 |
| | 副区误差 Sub Error | 1 053 | 34.71 | 0.03 | | | 742 | 483.00 | 0.652 | | |

混交营林极大地提高了尾巨桉的单株材积生长量, 不同采伐强度的尾巨桉单株材积均显著高于对照, 其中, 1 桉 1 珍的尾巨桉单株材积为 0.38 m^3 , 较对照纯林高 80.95%; 此外, 1 桉 1 珍的尾巨桉单株材积也显著高于 2 桉 2 珍和 3 桉 2 珍。而复层混

交林中的珍贵树种中, 2 桉 3 珍的球果木莲单株材积生长最优, 达 $1.39 \times 10^{-2} \text{ m}^3$, 而 3 桉 2 珍的交趾黄檀单株材积生长最差, 仅为 $0.13 \times 10^{-2} \text{ m}^3$, 2 桉 3 珍的球果木莲单株材积是 3 桉 2 珍交趾黄檀的 10.69 倍 (表 6)。

表 6 不同复层混交林模式林木单株材积差异显著性分析

Table 6 Analysis on the significant difference of individual tree volume in different multi-layer mixed forest m^3

| 采伐方式 Cutting | 尾巨桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i> | | 珍贵树种 Precious trees | | | | | |
|-----------------|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | 采伐前 Origin | 采伐后 Now | 红锥 I | 格木 II | 球果木莲 III | 交趾黄檀 IV | 黑木相思 V | 土沉香 VI |
| 1 桉 1 珍 | 0.38 a | 0.71 × 10 ⁻² cd | 0.46 × 10 ⁻² fgh | 0.44 × 10 ⁻² ghi | 0.36 × 10 ⁻² hi | 0.34 × 10 ⁻² ij | 0.52 × 10 ⁻² fg | |
| 2 桉 2 珍 | 0.18 a | 0.33 b | 0.56 × 10 ⁻² ef | 0.34 × 10 ⁻² ij | 0.65 × 10 ⁻² de | 0.16 × 10 ⁻² kl | 0.74 × 10 ⁻² cd | 0.24 × 10 ⁻² jk |
| 3 桉 2 珍 | | 0.32 b | 0.69 × 10 ⁻² d | 0.46 × 10 ⁻² fgh | 0.80 × 10 ⁻² bc | 0.13 × 10 ⁻² l | 0.44 × 10 ⁻² ghi | 0.23 × 10 ⁻² kl |
| 2 桉 3 珍 | | 0.35 ab | 0.53 × 10 ⁻² fg | 0.87 × 10 ⁻² b | 1.39 × 10 ⁻² a | 0.16 × 10 ⁻² kl | 0.69 × 10 ⁻² d | 0.25 × 10 ⁻² jk |
| 对照 CK | 0.17 a | 0.21 c | — | — | — | — | — | — |

3.1.4 林分蓄积量 混交营林 3.5 a 时, 3 桉 2 珍套种黑木相思的尾巨桉蓄积量 ($243.00 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 显著高于其他套种模式 ($P < 0.05$), 较对照纯林高 $6.75 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; 而 3 桉 2 珍套种红锥、格木以及 1 桉 1 珍套种红锥、黑木相思的尾巨桉蓄积量与对照纯林的差异不显著。不同复层混交林的珍贵树种中, 2 桉 3 珍的球果木莲蓄积量最大 ($8.86 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), 显著高于其他珍贵树种, 而 3 桉 2 珍的交趾黄檀蓄积量最小 ($0.55 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), 2 桉 3 珍的球果木莲蓄

积量是 3 桉 2 珍交趾黄檀的 16.11 倍 (表 7)。

3 桉 2 珍套种红锥、格木、球果木莲、黑木相思的复层混交人工林总蓄积量较优, 以 3 桉 2 珍套种黑木相思最佳, 蓄积量达 $244.87 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 较对照纯林高 $8.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。因此, 混交林模式虽然采伐了部分尾巨桉, 但并没有影响人工林蓄积量的增长, 还对部分套种模式的人工林蓄积量有一定促进作用, 以 3 桉 2 珍套种黑木相思最适宜, 其次为套种红锥、格木、球果木莲 (表 7)。

表7 复层混交林 3.5 a 林木蓄积量生长差异显著性分析

Table 7 Analysis on the significant difference of tree volume growth in multi-layer mixed forest in 3.5 years

m³·hm⁻²

| 采伐方式 Cutting | 采伐前 Origin | 复层混交林中尾巨桉蓄积量 Volume of <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> in multi-layer mixed forest | | | | | |
|-----------------|---------------|---|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | I 红锥 | II 格木 | III 球果木莲 | IV 交趾黄檀 | V 黑木相思 | VI 土沉香 |
| 1桉1珍 | 199.25 a | 219.38 bc | 202.50 def | 213.75 bcd | 215.00 bcd | 225.00 bc | 196.88 efg |
| 2桉2珍 | | 168.75 hi | 180.00 gh | 180.00 gh | 174.38 h | 185.63 gh | 202.50 def |
| 3桉2珍 | | 226.00 bc | 226.00 bc | 202.50 def | 208.25 cde | 243.00 a | 209.25 cde |
| 2桉3珍 | | 166.50 hij | 175.50 h | 148.50 jk | 144.00 k | 153.00 ijk | 153.00 ijk |
| 对照 CK | 191.25 a | 236.25 ab | | | | | |
| 采伐方式 Cutting | | 珍贵树种蓄积量 Volume of precious trees | | | | | |
| | | I 红锥 | II 格木 | III 球果木莲 | IV 交趾黄檀 | V 黑木相思 | VI 土沉香 |
| 1桉1珍 | | 3.77 de | 2.44 ghi | 2.34 hij | 1.91 ijk | 1.81 jkl | 2.76 gh |
| 2桉2珍 | | 2.98 fg | 1.81 jkl | 3.45 def | 0.85 mn | 3.93 cd | 1.28 lm |
| 3桉2珍 | | 2.93 fg | 1.96 ijk | 3.40 def | 0.55 n | 1.87 jk | 0.98 mn |
| 2桉3珍 | | 3.38 ef | 5.55 b | 8.86 a | 1.02 mn | 4.40 c | 1.59 kl |
| 采伐方式 Cutting | 采伐前 Origin | 复层混交林总蓄积量 Total volume of multi-layer mixed forest | | | | | |
| | | 桉树 + I 红锥 | 桉树 + II 格木 | 桉树 + III 球果木莲 | 桉树 + IV 交趾黄檀 | 桉树 + V 黑木相思 | 桉树 + VI 土沉香 |
| 1桉1珍 | 199.25 a | 223.15 bc | 204.94 efg | 216.09 cde | 216.91 cde | 226.81 bc | 199.64 fg |
| 2桉2珍 | | 171.73 jkl | 181.81 hi | 183.45 hi | 175.23 hij | 189.56 gh | 203.78 efg |
| 3桉2珍 | | 228.93 ab | 227.96 ab | 225.90 ab | 208.80 cde | 244.87 a | 210.23 def |
| 2桉3珍 | | 169.88 ijk | 181.05 hi | 157.36 m | 145.02 lm | 157.40 klm | 154.59 klm |
| 对照 CK | 191.25 a | 236.25 ab | | | | | |

3.2 不同混交模式林下植被多样性分析

不同混交营林模式中, 以鬼针草 (*Bidens pilosa* L.) 和马唐 (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) 在草本层植被中居重要地位; 五指毛桃 (*Ficus hirta* Vahl.) 和白背枫 (*Buddleja asiatica* Lour.) 在灌木层植被中居优势地位。混交营林模式大幅增加了尾巨桉人工林草本层与灌木层的 Margalef 指数, 增加了林下植被的物种丰富度, 其中, 草本层植被中, 以 2 桉 2 珍套种红锥的林下植被 Simpson 指数和 3 桉 2 珍套种红锥的林下植被 Shannon-winner 指数较高, 分别为 0.84 和 1.71, 比对照高 25.4% 和 30.5%。在灌木层植被中, 2 桉 2 珍套种交趾黄檀的林下植被 simpson、shannon-winner 指数较高, 分别为 0.80 和 1.61, 较对照高 42.9% 和 71.27% (图 1、2)。

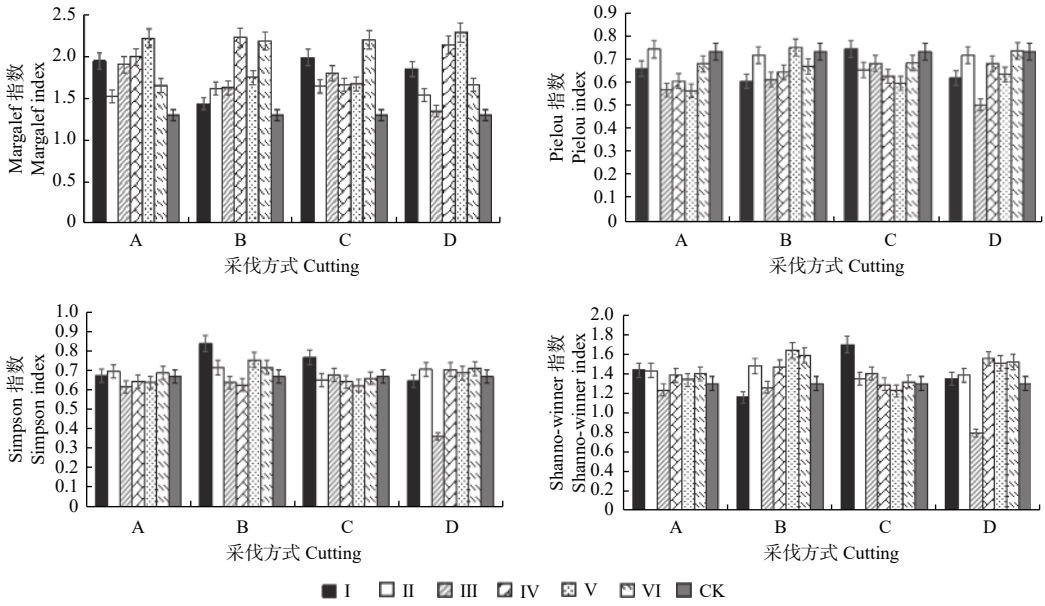
4 讨论

4.1 混交模式对林分生长的影响

本试验研究表明, 尾巨桉纯林采伐后套种珍贵

树种的复层混交营林方式, 显著提高了尾巨桉树高、胸径和单株材积。3.5 a 生混交林的尾巨桉树高、胸径和单株材积显著高于对照 ($P < 0.05$), 这可能是因采伐措施降低了林分郁闭度, 改善了林分光照环境, 利于林木生长, 这与前人研究结果一致^[10-15]。颜忠鹏^[5]认为, 强度间伐 (40%) 最利于桉树人工林单株材积生长。有研究认为, 行状混交更利于林木生长^[31]。本研究发现, 以行状套种的复层混交林中以 1 珍 1 桉的采伐强度对尾巨桉的树高、胸径和单株材积促进效果最佳, 能显著提高林分中、大径级规格材所占比例, 若培育中、大径材以此类套种模式最适宜; 此外, 套种不同珍贵树种对尾巨桉的生长无显著影响, 这与 David^[32] 和 Bouillet 等^[33] 的研究结果一致。但有学者提出, 林下套种楠木 (*Phoebe zhennan* S. Lee) 对杉木生长产生较好的促进作用^[17], 可能是树种不同导致的。

曾冀等^[34]认为, 珍贵树种树高、胸径等生长指标随间伐强度的增强有不同变化。本研究发现, 不同采伐强度对珍贵树种树高和胸径生长无显著差



注：A、B、C、D 分别为 1 桉 1 珍、2 桉 2 珍、3 桉 2 珍、2 桉 3 珍的套种方式；I 红锥，II 格木，III 球果木莲，IV 交趾黄檀，V 黑木相思，VI 土沉香性。下同。

Notes: A, B, C and D are the cutting methods of 1 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* 1 precious tree, 2 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* 2 precious trees, 3 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* 2 precious trees and 2 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* 3 precious trees respectively; I is *Castanopsis hystrix*, II is *Erythrophleum fordii*, III is *Manglietia conifera*, IV is *Dalbergia odorifera*, V is *Acacia nigra*, and VI is *Aquilaria sinensis*. The same below.

图 1 复层混交林 3.5 a 时，尾巨桉人工林下草本层植被的多样

Fig. 1 The diversity of herbaceous layer under *E. urophylla* × *E. grandis* plantation in 3.5 years of multi-layer mixed forest

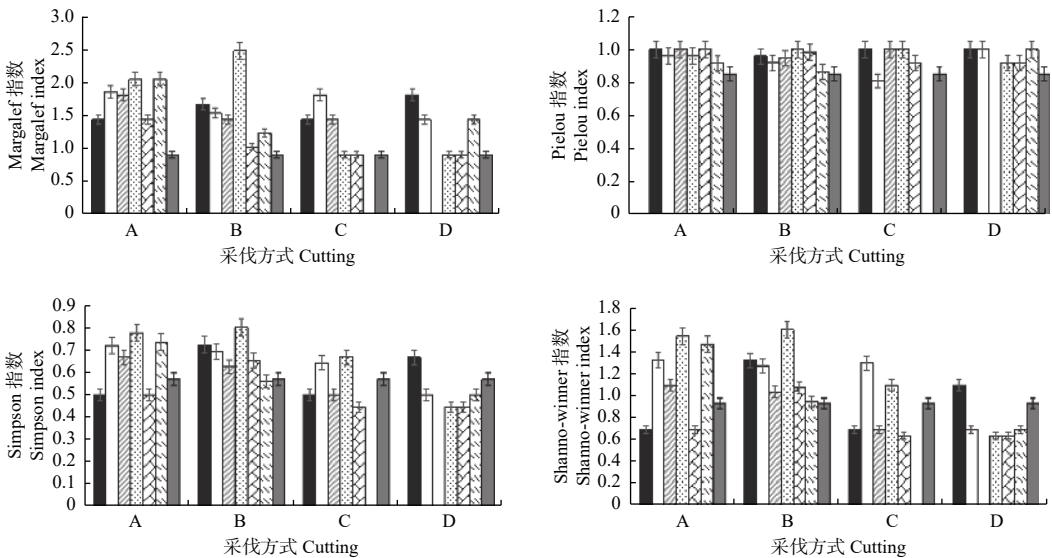


图 2 复层混交林 3.5 a 时，尾巨桉人工林下灌木层植被的多样性

Fig. 2 The diversity of shrub layer vegetation under *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantation in 3.5 years of multi-layer mixed forest

异；而对其单株材积生长影响差异显著，这可能是由于本研究的套种树种与其它研究的套种树种不同所致。此外，本研究 3.5 a 混交林中，球果木莲、红锥和黑木相思各生长指标较优于其他珍贵树种，更适宜与尾巨桉套种混交，是桂中地区值得推荐的

林下套种树种，以 3 桉 2 珍套种黑木相思最适宜，其次为套种红锥、格木、球果木莲。

研究表明，适当抚育间伐利于提高人工林林分蓄积量^[10-11,18]。本研究认为，不同采伐强度的复层混交营林模式对尾巨桉人工林蓄积量增长的影响差

异显著,能显著提高林分质量和材种构成,使林分中、大径级规格材所占比例显著提高,从而提高经济效益。本研究是采伐后桉-珍复层混交营林的中期时段,3桉2珍套种黑木相思、红锥、格木、球果木莲的尾巨桉人工林蓄积量较优,其中,3桉2珍套种黑木相思还对人工林蓄积量有一定促进作用,较对照高3.65%。黑木相思具有速生丰产、材质优良、根瘤发达、改土性能好、适应性强和抗逆性强等特点^[35],低温敏感区为-4℃^[36],适宜种植范围广,是桉-珍复层混交林值得推广的套种树种。有研究发现,混交林中的固氮树种—相思可通过短期地下氮转移来提供幼桉对氮的大量需求,相思在低肥力土壤林分中向桉树提供地下氮的转移能力优于在养分供应充足的林分^[37]。本研究中,套种黑木相思营林模式的长期互利效应及其影响机制还有待进一步探究。

4.2 混交模式对林下植被多样性的影响

林下植被在人工林养分循环中充当一个库源角色,起着重要作用^[9]。对人工林进行采伐后,极大改变了环境异质性,使林分空间和阳光得到了显著改善,林下植物群落的种类及其多样性得到了显著地提升,已有研究证明了这一观点^[9-17]。有研究认为,林下植物物种的丰富度和灌草盖度随间伐强度增大而增加^[38-40];也有研究认为,适度间伐更有利于提高林下灌草的生物多样性指数^[11]。本研究发现,不同混交营林模式下,以2桉2珍、3桉2珍套种红锥的尾巨桉人工林林下草本层植被多样性水平最优,以2桉2珍套种交趾黄檀的林分林下灌木层植被的多样性水平最优。

混交林的初始期因林分郁闭度降低,林内光照、温度、水分等环境因子得到改善,促进了林下植被种类和种群数量的增加,显著改善了尾巨桉人工林生态系统的多样性,提高了生态效益;但抚育间伐对林下植被的影响不具备长期性,随着时间的推移和林分郁闭度的恢复,林地环境可能发生新变化,林下不同生活型植物对变化的林地环境会作出新的响应,林下植被的物种多样性也将发生变化^[10,14]。本试验研究时间较短,有一定局限性,且尾巨桉纯林转型为桉-珍复层混交林的生态综合效益评价,还需长期、系统的观测,进而探究桉-珍异龄复层混交林生态营林更科学的机制。

4.3 应用珍贵树种改造桉树纯林的营林思考

尾巨桉纯林转变复层混交林可实现可持续经营

效果。在桉树人工林近熟林期进行改造转型,采出的桉树木材可用于工业原料,留下的桉树林木树高、胸径和单株材积得到显著提高,且林分质量和材种构成,特别是中、大径级规格材所占比例提高,如1桉1珍营林模式的尾巨桉胸径径级较对照提升2个径级;同时,3桉2珍套种黑木相思的营林模式在采出部分桉木出材量后,其林分单位面积蓄积量与对照相比还有所提升,极大增加了经济效益,也改善了生态效益。随着珍贵树种逐渐生长,后期可成为珍贵的家具用材,实现普通用材向珍优用林的平稳过度,使经济收益最大化。此外,套种珍贵树种优化了林分结构,改善了纯林林相景观单一性,林下植被物种和种群数量大幅增加,增强生物多样性及改善了生态环境,为桉树人工林可持续经营提供了新途径。

5 结论

桉纯林转型为桉-珍复层混交林的模式显著增加了尾巨桉树高、胸径和单株材积的生长量,优化了尾巨桉纯林的树种组成与林分结构,增加了林下植被的多样性,提高了尾巨桉人工林的生态效益和经济效益。研究表明,3桉2珍套种黑木相思促进林分单位面积蓄积量的提升;1桉1珍套种营林模式有利于尾巨桉中、大径级规格用材的培育;其次,3桉2珍套种黑木相思、红锥、格木和球果木莲的营林模式,是桂中地区值得推荐的尾巨桉采伐后套种珍贵树种的复层混交林模式。

参考文献:

- [1] 徐建民,白嘉雨,陆钊华.华南地区桉树可持续遗传改良与育种策略[J].林业科学研究,2001,14(6):587-594.
- [2] 杨钙仁.桉树人工林对林区地表水的影响[D].南宁:广西大学,2012.
- [3] 温远光,陈放,刘世荣,等.广西桉树人工林物种多样性与生物量关系[J].林业科学,2008,44(4):14-19.
- [4] 项东云,陈健波,叶露,等.广西桉树人工林发展现状、问题与对策[J].广西林业科学,2006,35(4):195-201.
- [5] 颜忠鹏.不同抚育间伐强度对桉树人工林林分及土壤性质的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2019.
- [6] 叶承东.广西桉树人工林可持续发展存在的问题及对策分析[J].农业开发与装备,2020(4):221,237.
- [7] 谢彩文.桉树:在争议中发展为林产主力——访广西林科院桉树研究所所长陈健波教授[J].广西林业,2019(10):39-41.
- [8] 时忠杰,张宇南,何常清,等.桉树人工林冠层、凋落物及土壤水文

- 生态效应[J]. 生态学报, 2010, 30 (7): 1932-1939.
- [9] 于洋洋, 廖博一, 程 飞, 等. 不同抚育措施对尾巨桉人工林生长动态及其林下植被多样性的影响[J]. 西南林业大学学报:自然科学, 2018, 38 (5): 58-64.
- [10] 赵苏亚, 王瑞辉, 刘凯利, 等. 抚育间伐对不同年龄杉木人工林生长及林下植被多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40 (12): 34-43, 82.
- [11] 龚固堂, 牛 牧, 慕长龙, 等. 间伐强度对柏木人工林生长及林下植物的影响[J]. 林业科学, 2015, 51 (4): 8-15.
- [12] 汤景明, 孙拥康, 冯 骏, 等. 不同强度间伐对日本落叶松人工林生长及林下植物多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38 (6): 90-93, 122.
- [13] 徐雪蕾, 孙玉军, 周 华, 等. 间伐强度对杉木人工林林下植被和土壤性质的影响[J]. 林业科学, 2019, 55 (3): 1-12.
- [14] 鲍 斌, 丁贵杰. 抚育间伐对马尾松林分生长与植物多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33 (3): 30-33, 46.
- [15] 成向荣, 徐金良, 刘 佳, 等. 间伐对杉木人工林林下植被多样性及其营养元素现存量影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23 (1): 30-34.
- [16] 孙冬婧. 间伐和套种阔叶树对杉木人工林生物量、物种多样性及地力的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
- [17] 王俊男. 林下套种楠木对杉木人工林生态系统的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [18] 徐金良, 毛玉明, 郑成忠, 等. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响[J]. 林业科学研究, 2014, 27 (1): 99-107.
- [19] 肖耕耘, 刘 银. 不同抚育方式对幼林桉树生长影响研究[J]. 南方农业, 2017, 11 (4): 74-76.
- [20] 张顺恒. 闽东南桉树人工林生态培育机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [21] 徐明华. 不同营林技术措施对马尾松人工林生长的影响[J]. 绿色科技, 2016 (11): 33-34.
- [22] 郭祥泉. 尾巨桉与马尾松不同混交处理3年生造林研究[J]. 福建林业学院学报, 2003, 23 (4): 338-342.
- [23] Bristow M, Vanclay J K, Brooks L, *et al.* Growth and species interactions of *Eucalyptus pellita* in a mixed and monoculture plantation in the humid tropics of north Queensland[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 233(2): 285-294.
- [24] 邓海燕, 莫晓勇, 梅嘉仪, 等. 桉树人工混交林分生长与土壤养分研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2020, 48 (1): 95-102.
- [25] Santos F M, Chaer G M, Diniz A R, *et al.* Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil[J]. *Forest Ecology and Management*, 2017, 384(2): 110-121.
- [26] 张 培, 庞圣江, 杨保国, 等. 不同混交模式对桉树林分生长、凋落物量和土壤养分的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2021, 49 (2): 31-37.
- [27] 朱育锋, 肖智华, 彭晚霞, 等. 广西不同龄级桉树人工林植物多样性和群落结构动态变化特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38 (12): 38-44.
- [28] 覃林波. 10年生杂交桉无性系生长性状与木材纤维特征变异研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [29] Shi T, Arnold R J, Kang W, *et al.* Genetic variation and gains for two generations of *Eucalyptus dunnii* in China[J]. *Australian Forestry*, 2016, 79(1): 15-24.
- [30] 邓荔生, 李 琳, 李荣丽, 等. 6种阔叶树种对相同造林密度的生长响应[J]. 广西林业科学, 2019, 48 (4): 505-508.
- [31] 沈国舫, 翟明普. 混交林研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997: 182.
- [32] David I Forrester. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in *Eucalyptus* plantations: A review of their production ecology and interactions[J]. *Forest Ecology and Management*, 2013, 310 (2): 336-247.
- [33] Bouillet J P, Laclau J P, Gonçalves J L M, *et al.* Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 255(12): 3918-3930.
- [34] 曾 冀, 朱雪萍, 唐继新, 等. 杉木人工林间伐后套种阔叶树种的生长动态[J]. 西北林学院学报, 2020, 35 (5): 97-103.
- [35] 黄 猛, 宁昭然, 黄玉梅, 等. 黑木相思无性系开花物候及结实规律[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47 (7): 1-5.
- [36] 李纪元, 高传璧, 郑学为, 等. 两个温带相思属树种的耐寒性评估[J]. 林业科学研究, 1999, 12 (1): 87-91.
- [37] Oliveira I R, Bordron B, Laclau J P, *et al.* Nutrient deficiency enhances the rate of short-term belowground transfer of nitrogen from *Acacia mangium* to *Eucalyptus* trees in mixed-species plantations[J]. *Forest Ecology and Management*, 2021: 491. doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119192.
- [38] Ares A, Neill A R, Puettmann K J. Understory abundance species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands[J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260(7): 1104-1113.
- [39] Heinrichs S, Schmidt W. Short-term effects of selection and clear cutting on the shrub and herb layer vegetation during the conversion of even-aged Norway spruce stands into mixed stands[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(5): 667-678.
- [40] 王 凯, 马履一, 贾忠奎, 等. 不同年龄油松人工林林下植物对不同间伐强度的短期响应[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41 (10): 1-9.

Transformation of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* Clone Plantation into Mixed-species Forest Using Precious Tree Species

ZHOU Fang-ping¹, XU Jian-min¹, LU Hai-fei¹, LI Guang-you¹, FAN Chun-jie¹,
LIANG Bao-zhi¹, ZHANG Lei²

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tropical Forestry, National Forestry and Grassland Administration, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 2. Dongmen State-owned Forest Farm, Fusui 532108, Guangxi, China)

Abstract: [Objective] To discuss the mixed forest model of interplanting precious tree species under *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* clone plantation with different cutting intensity and analyze the change trend of stand growth and understory vegetation diversity of mixed forest after interplanting, in order to provide a theoretical basis for the transformation of *E. urophylla* × *E. grandis* clone plantation into mixed forest of *Eucalyptus* and precious tree species. [Method] According to the split plot experimental design, the transformation experiment of 9-year-old *E. urophylla* × *E. grandis* clone plantation in State-owned Dongmen Forest Farm was carried out with precious tree species. Four cutting treatments were set in the main area: A: cutting 1 row every other row (1 *E. urophylla* × *E. grandis* + 1 precious species trees); B: cutting 2 rows every other 2 rows (2 *E. urophylla* × *E. grandis* + 2 precious species trees); C: cutting 2 rows every other 3 rows (3 *E. urophylla* × *E. grandis* + 2 precious species trees); D: cutting 3 rows every other 2 rows (2 *E. urophylla* × *E. grandis* + 3 precious species trees); six tree species were used for interplanting, i.e. *Castanopsis hystrix* Hook. f. & Thomson ex A. DC., *Erythrophleum fordii* Oliv., *Manglietia conifera* Dandy, *Acacia melanoxylon* R. Br., *Dalbergia cochinchinensis* Pierre ex Laness, and *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng., and the control plot without transformation was set up. Each tree in the test area was measured, and the understory vegetation was investigated according to the conventional method at the age of 3.5 years after interplanting. [Result] The average tree height, DBH and individual volume of *E. urophylla* × *E. grandis* increased significantly under different mixed forest models, with the highest values of 27.63 m, 21.89 cm and 0.38 m³ respectively, which increased by 16.98%, 19.75% and 80.96% compared with the CK. The growth indexes of *C. hystrix* were the best among the interplanting species, followed by *Manglietia conifera* and *Acacia melanoxylon*. The volume of *E. urophylla* × *E. grandis* plantation interplanting *Acacia melanoxylon* in 3 *Eucalyptus* + 2 precious species trees was the best, reaching 244.87 m³·hm⁻², which was 3.65% higher than CK. In addition, the Simpson indexes of herb layer of 2 *Eucalyptus* and 2 precious trees and the Shannon-Winner index of herb layer of 3 *Eucalyptus* and 2 precious species trees interplanting *C. hystrix* were 0.84 and 1.71 respectively, which were 25.40% and 30.50% higher than that of the CK; while the Simpson index and Shannon-Winner index of shrub layer in the stand with interplanting of *D. cochinchinensis* were 0.80 and 1.61, respectively, which were 42.9% and 71.27% higher than that of the CK. [Conclusion] In this study, the precious tree species were used to transform *E. urophylla* × *E. grandis* clone plantation to form a *Eucalyptus* and precious trees multi-layer mixed forest, which significantly improved the average tree height, DBH and single tree volume, optimized the stand structure, enriched the species diversity of the stand, changed the landscape of a single forest phase of *E. urophylla* × *E. grandis* and helped to improve the ecological and economic benefits of *E. urophylla* × *E. grandis* clone plantation. The results may provide scientific and technological support for the cultivation of medium- and large-diameter *Eucalyptus* and the management of national reserve forest. **Keywords:** *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*; precious trees; compound management; stand growth; understory vegetation