

华南丘陵地区杉木人工林天然更新研究*

勾 啸¹ 孟诗原¹ 李炜桢¹ 何仲坚¹
黄久香² 李 威³ 赵志刚¹

(1. 广州市林业和园林科学研究院/广州市景观重点实验室, 广东 广州 510405; 2. 华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510640; 3. 广州市白水山森林公园, 广东 广州 511300)

摘要 以广州市北部生态屏障区杉木 *Cunninghamia lanceolata* 近熟林为研究对象, 通过分析其各层次天然更新植物组成和多样性, 探究人工林近自然改造提升技术。结果显示, 该杉木林地带性树种天然更新良好, 累计有 57 种植物, 其中乔木层 24 种、灌木层 35 种、草本层 11 种; 灌木层植物多样性最高, 乔木层略低于草本层。乔木层中, 杉木的占比和重要值分别为 29.55%、0.2136, 平均树高和胸径在林分中处于中等水平, 从优势度和生长指标分析其处于竞争劣势; 杉木主要处于林冠层和亚林冠层, 林冠上层无杉木, 以地带性先锋树种和顶级树种为主, 而且主林冠下均无杉木和先锋树种更新, 以早期耐荫性强的顶级树种为主, 其中锥 *Castanopsis chinensis*、浙江润楠 *Machilus chekiangensis*、罗浮栲 *Diospyros morrisiana* 等在林分占比和优势度高; 林分已由杉木人工纯林自然演替为针阔混交林, 并有进一步向地带性常绿阔叶林演替的趋势。研究结果反映出该林分具备较强的天然更新能力和进展演替趋势, 并与常见典型杉木天然更新存在一定差异, 这种差异可能与立地质量和树种适应性有关。

关键词 杉木人工林; 天然更新; 植物多样性; 近自然改造

中图分类号: S754.1 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 05-0070-07

Natural Regeneration of Chinese Fir Plantations in Hilly Areas of South China

GOU Xiao¹ MENG Shiyuan¹ LI Weizhen¹ HE Zhongjian¹
HUANG Jiuxiang² LI Wei³ ZHAO Zhigang¹

(1. Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture/Guangzhou Key Laboratory of Landscape, Guangzhou, Guangdong 510405, China; 2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 3. Baishuishan Forest Park of Guangzhou, Guangzhou, Guangdong 511300, China)

Abstract The plant composition and diversity among layers of near mature Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation were explored in the northern ecological barrier area of Guangzhou city, which for exploring near natural transformation and improving technology of plantations. The results showed that natural regeneration of the zonal tree species were vigorously in this plantation, there are 57 species in the stand, including 24 species in the arbor layer, 35 species in the shrub layer, and 11 species in the herb layer. The diversity of shrub layer was the highest, and the arbor layer was slightly lower than the herb layer. In the arbor layer, the proportion and importance value of Chinese fir were 29.55% and 0.213 6 respectively, and its average tree height and DBH were at the medium level in the stand. Therefore, which were at a competitive disadvantage according

* 基金项目: 广东省林业局生态公益林修复项目 (2021-173)。

第一作者: 勾啸 (1978—), 女, 工程师, 主要从事森林资源调查、林业规划等相关工作, E-mail:105138167@qq.com。

通信作者: 赵志刚 (1979—), 男, 副研究员, 主要从事森林培育研究, E-mail:zhaozhigang1979@126.com。

to the analysis of both dominance and growth indicators; *C. lanceolata* was mainly distributed in the main canopy layer and sub-canopy layer, but not in the outer layer of the canopy, there were mainly zonal pioneer trees and top trees species in this layer; while there were no *C. lanceolata* and pioneer trees under the canopy, which were mainly top trees species with strong early shade tolerance; Among them, *Castanopsis chinensis*, *Machilus chekiangensis*, *Diospyros morrisiana*, etc. had higher proportion and dominance in the stand. Therefore it were inferred that the stand had changed from artificial pure Chinese fir plantation to mixed coniferous and broad-leaved forest, and which would be in trend of succession to zonal evergreen broad-leaved forest further. The results showed that the plantation had strong natural regeneration potentiality and progressive succession trend, which was different from the natural regeneration of typical Chinese fir timber plantation, which may be related to site quality and adaptability of tree species. These findings would provide a reference for the close-to-nature management mode and technology selection of plantation in hilly areas in South China.

Key words Chinese fir plantation; natural regeneration; plant diversity; close-to-nature management

我国南方分布大面积的人工纯林，组成和结构单一，稳定性差^[1]，而随着我国双碳目标提出以及对生物多样性保护的重视，将人工林进行多目标改造，提升森林质量和稳定性成为林学领域的研究热点^[2-3]。在大面积造林过程中，立地差异经常被忽视，尤其是在立地复杂的华南丘陵山地区域，可能导致人工种植树种生长不良^[1-3]。随着人为经营活动的停止、森林发育时间增加，人工林天然更新一般有向地带性植被演替的趋势^[4-5]，这种生态系统自然演替对于林分管理、森林质量提升、近自然经营、生态修复等均具有重要意义^[6-9]。

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国南方重要速生用材树种之一，传统的杉木纯林模式容易产生生物多样性下降、地力衰退等生态问题^[1-3]。杉木人工纯林近自然化改造是当前南方人工林区森林质量提升的重要研究方向之一，旨在通过优化林分组成和结构，提升林分的植物多样性、稳定性和土壤肥力等^[6-9]。当前关于杉木人工林生物多样性差异研究较多，如密度、林龄、树种与冠层特征等的影响^[6-15]，自然更新成地带性群落方面的研究较少，尤其是杉木林自然演替为常绿阔叶林的速度和周期等^[4-5]，而这对于制定改造目标、技术措施、管理制度等具有重要指导意义^[1-3]。本研究以广州市北部生态功能区近 20 年生杉木人工林为对象，通过分析其自然更新的群落组成和结构等，探讨其人工林天然更新潜力及其质量提升途径。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

广州市东北部林区是广州市乃至大湾区北部重要的生态屏障区和水源涵养林区。研究对象林分位于广州市白水山森林公园，所在区域属于亚热带季风气候，气温高、雨量充沛、霜日少、光照充足，年平均气温为 22.2℃，极端最高气温为 38.6℃，极端最低气温 0℃。地形以低山、丘陵为主，土壤类型主要是黄壤、红壤、赤红壤，缺磷、少氮等较贫瘠的立地多。

1.2 调查方法

样地设置区域为丘陵地带，海拔在 410~450 m，坡度 25°，土壤以赤红壤为主，厚度约 60 cm。研究对象杉木人工林于 2003 年造林，造林密度为 1 111 株/hm²，造林后 3 年 5 次抚育管理。于 2021 年 11 月在中坡杉木林内设置 4 个 20 m × 20 m 的样地，再分别分解为 4 个 10 m × 10 m 的样方，调查胸径 2.5 cm 以上的乔木种名、胸径、树高、枝下高、水平坡向冠幅、垂直坡向冠幅、生长状况及样地内的相对坐标位置信息；在每个样方内分别设置 5 个 2 m × 2 m 的灌木层样方，调查灌木、未满足乔木层测量标准 (< 2.5 cm) 的幼苗幼树、木质藤本的株数 / 丛数、平均高度、盖度；在其中设置 5 个 1 m × 1 m 的草本层小样方，调查全部植物的株数 / 丛数、平均高度、盖度^[7-9]。

1.3 数据分析

根据调查数据分别计算乔木层、灌木层、草本层的物种重要值和植物多样性，植物多样性指

数采用 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数^[7-9]。其中，

重要值 (IV): $IV = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对显著度}) / 3$;

$$\text{Simpson 指数 (D): } D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2;$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数 (H): } H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i;$$

Pielou 均匀度指数 (J_{sw}):

$$J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S; (i = 1, 2, \dots, S)$$

式中, S 为样方出现的物种总数, P_i 为某个种的个体数占群落中总个体数的比例。

2 结果与分析

2.1 植物多样性

研究林分中, 样地内乔木层累计树种达 24 种, 涉及 16 科 19 属; 样地内灌木层植物累计达到 35 种, 涉及 22 科 32 属; 样地内草本层植物,

累计达到 11 种, 涉及 9 科 11 属; 样地植物累计有 57 种, 涉及 35 科 51 属 (图 1)。

乔木层的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数与草本层近似, 灌木层明显高于二者, 分别高约 45% 和 10%, 主要是因为灌木层中不但包括灌木、藤本, 也包含乔木树种的幼苗幼树。Pielou 均匀度指数从上层向下逐渐升高, 灌木层和草本层近似, 乔木层最低, 平均低约 24% (图 1)。

2.2 种类组成

2.2.1 乔木层组成与结构 该杉木人工林天然更新较好, 乔木层共包括 24 个种 (表 1), 平均密度约 1818 (± 436) 株 / hm^2 。

现存杉木的占比仅约 30%, 其中健康活立木的占比为 75%, 累计自然淘汰率达 20% 以上。从重要值来看, 杉木虽然仍最高, 但在林分中的地位与纯林相差极大, 锥、浙江润楠、罗浮柿、山乌桕等 4 个树种在林分中的重要值较高, 而且任意两个树种累计重要值超过杉木 (表 1)。

杉木虽然在该林分中的占比和重要值虽然相

表 1 杉木人工林乔木层植物组成与重要值

Table 1 Plant composition and important value of arbor layer in *Cunninghamia lanceolata* plantation

种名 Species	科名 Families	属名 Genera	比例 %/Percentage	重要值 IV
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	杉科	杉木属	29.55	0.213 6
锥 <i>Castanopsis chinensis</i>	壳斗科	锥属	7.86	0.135 1
浙江润楠 <i>Machilus chekiangensis</i>	樟科	润楠属	18.90	0.124 4
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	柿科	柿属	15.83	0.121 3
山乌桕 <i>Sapium discolor</i>	大戟科	美洲柏属	6.19	0.110 4
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissima</i>	安息香科	安息香属	6.19	0.045 8
鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	五加科	南鹅掌柴属	4.47	0.043 1
椴叶吴茱萸 <i>Tetradium glabrifolium</i>	芸香科	吴茱萸属	2.06	0.042 9
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	樟科	润楠属	1.72	0.023 1
白楸 <i>Mallotus paniculatus</i>	大戟科	野桐属	1.03	0.019 1
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i> var. <i>axillaris</i>	漆树科	南酸枣属	0.70	0.016 5
亮叶猴耳环 <i>Pithecellobium lucidum</i>	豆科	猴耳环属	1.04	0.016 4
猴耳环 <i>Pithecellobium clypearia</i>	豆科	猴耳环属	0.69	0.015 8
华南毛柃 <i>Eurya ciliata</i>	五列木科	柃属	1.03	0.011 5
黄樟 <i>Cinnamomum porrectum</i>	樟科	樟属	0.34	0.009 7
广东木姜子 <i>Litsea kwangtungensis</i>	樟科	木姜子属	0.34	0.008 1
水东哥 <i>Saurauia tristyla</i>	猕猴桃科	水东哥属	0.34	0.006 8
罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>	壳斗科	锥属	0.34	0.006 1
铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	冬青科	冬青属	0.34	0.005 8
水锦树 <i>Wendlandia uvariifolia</i>	茜草科	水锦树属	0.34	0.005 0
木荷 <i>Schima superba</i>	山茶科	木荷属	0.34	0.005 0
鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	鼠刺科	鼠刺属	0.34	0.004 9
短序润楠 <i>Machilus breviflora</i>	樟科	润楠属	0.34	0.004 8
潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	樟科	木姜子属	0.34	0.004 8

对较高，但面临天然更新地带性树种的强烈竞争（表1）。从树种生长水平来看，杉木在林分的平均高度和胸径比较中处于劣势，有7个树种高度显著高于杉木，有6个树种与其处于同一高度层次；而比较平均胸径发现，其已处于第二层次

（图2）。综合分析乔木层树种变化发现，该杉木林中地带性树种天然更新较好，杉木处于竞争劣势，自然淘汰风险高，已有从杉木人工纯林演替为针阔混交林。

按照群落高度分析结果显示，在林冠上层

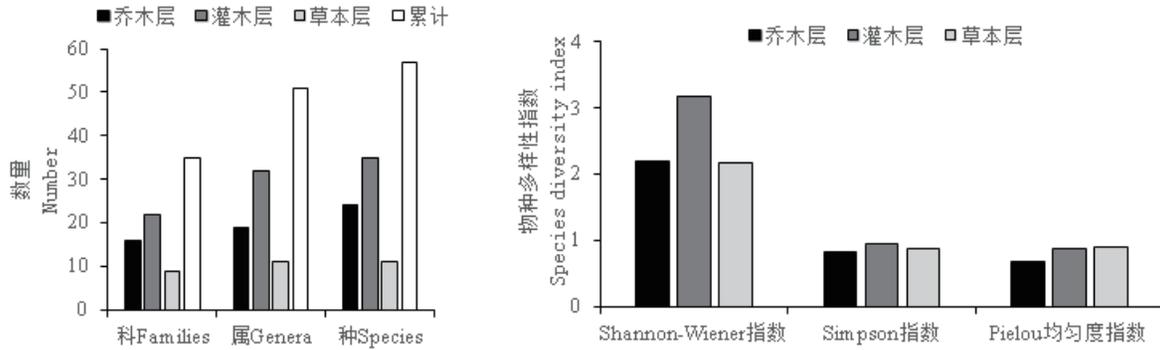


图1 杉木人工林各层次植物多样性

Figure1 Plant diversity of three layers in *Cunninghamia lanceolata* plantations

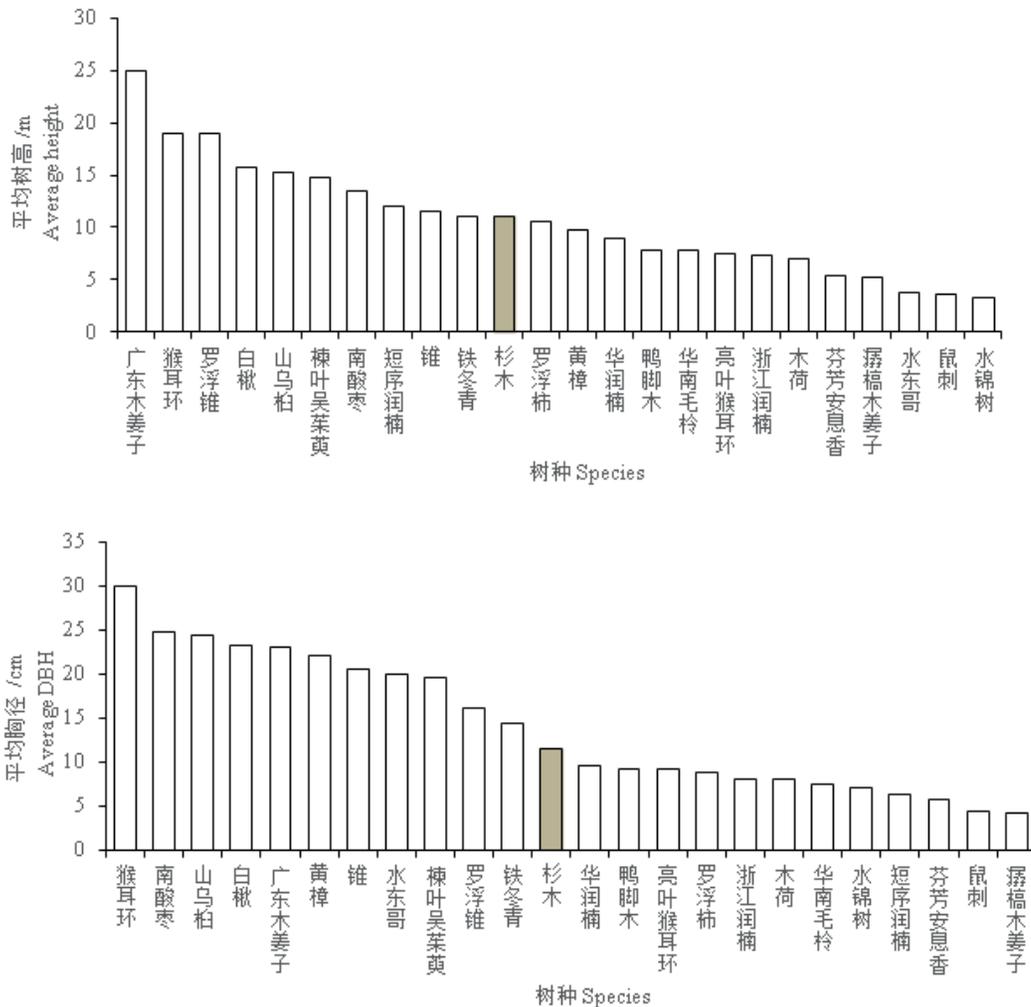


图2 杉木人工林树种平均树高和胸径

Figure2 Average height and DBH of tree species in *Cunninghamia lanceolata* plantations

(≥ 25 m) 树种中无杉木, 主要是山乌桕、椴叶吴茱萸、广东木姜子、罗浮柿、锥等。主林冠层在 15~20 m 高度范围内, 杉木占比仅为 31%, 其次为罗浮柿和锥, 分别为 28% 和 13%, 杉木的优势度不明显, 而且健康木的比例为 58%; 该层共有 9 个树种, 而亚林冠层 (10~15 m) 则有 14 个树种, 仍以三者比例占优, 比例与上层近似, 但略有下降, 分别为 29%、24%、13%; 林冠下层

表 2 杉木人工林灌木层植物组成与重要值

Table 2 Plant composition and important value of shrub layer in *Cunninghamia lanceolata* plantation

种名 Species	科名 Families	属名 Genera	比例 / % Percentage	重要值 IV
浙江润楠 <i>Machilus chekiangensis</i>	樟科	润楠属	45.70	0.342 2
鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	五加科	南鹅掌柴属	16.23	0.147 5
锥 <i>Castanopsis chinensis</i>	壳斗科	锥属	9.60	0.079 7
九节 <i>Psychotria rubra</i>	茜草科	九节属	4.30	0.071 5
粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	桑科	榕属	3.31	0.037 2
粗叶木 <i>Lasianthus chinensis</i>	茜草科	粗叶木属	2.98	0.031 9
三桠苦 <i>Evodia lepta</i>	芸香科	蜜茱萸属	1.66	0.024 1
草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	金粟兰科	草珊瑚属	1.32	0.021 8
买麻藤 <i>Gnetum montanum</i>	买麻藤科	买麻藤属	1.66	0.021 5
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	茜草科	玉叶金花属	1.32	0.019 5
马甲菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i>	菝葜科	菝葜属	0.99	0.015 7
假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	番荔枝科	假鹰爪属	0.99	0.013 6
密齿酸藤子 <i>Embelia vestita</i>	紫金牛科	酸藤子属	0.66	0.011 8
罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>	壳斗科	锥属	1.99	0.011 4
鲫鱼胆 <i>Maesa perlaris</i>	紫金牛科	杜茎山属	0.33	0.010 9
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	五列木科	柃属	0.66	0.010 5
幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i>	五加科	幌伞枫属	0.66	0.009 8
木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>	防己科	木防己属	0.33	0.009 4
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissima</i>	安息香科	安息香属	0.33	0.008 7
罗伞树 <i>Ardisia quinquegona</i>	报春花科	紫金牛属	0.66	0.007 0
木荷 <i>Schima superba</i> Gardn	山茶科	木荷属	0.66	0.007 0
猴耳环 <i>Pithecellobium clypearia</i>	豆科	猴耳环属	0.33	0.006 6
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	梧桐科	苹婆属	0.33	0.006 6
龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	茜草科	龙船花属	0.33	0.006 6
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	夹竹桃科	络石属	0.33	0.006 6
牛耳枫 <i>Daphniphyllum calycinum</i>	虎皮楠科	虎皮楠属	0.33	0.006 6
羊角藤 <i>Morinda umbellata</i> subsp. <i>obovata</i>	茜草科	巴戟天属	0.33	0.006 6
中华卫矛 <i>Euonymus nitidus</i>	卫矛科	卫矛属	0.33	0.006 6
白花酸藤果 <i>Embelia ribes</i>	紫金牛科	酸藤子属	0.33	0.005 9
潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	樟科	木姜子属	0.33	0.005 9
阔叶丰花草 <i>Borreria latifolia</i>	茜草科	丰花草属	0.33	0.005 9
亮叶猴耳环 <i>Pithecellobium lucidum</i>	豆科	猴耳环属	0.33	0.005 9
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	柿科	柿属	0.33	0.005 9
茄叶斑鸠菊 <i>Vernonia solanifolia</i>	菊科	斑鸠菊属	0.33	0.005 9
水锦树 <i>Wendlandia uvariifolia</i>	茜草科	水锦树属	0.33	0.005 9

(5~10 m) 中, 杉木比例进一步下降为 27%, 而且天然更新阔叶树种比例发生变化, 罗浮柿升高到 27%, 锥的比例下降到 7%, 浙江润楠的比例上升到 14%; 在更新层 (< 5 m) 中, 浙江润楠的比例上升到 39%, 芬芳安息香上升到 14%, 罗浮柿占比 9%, 其他低于 5%, 该层共有 17 个树种, 无杉木更新, 先锋树种白楸、山乌桕等亦无天然更新。

2.2.2 灌木层和草本层组成 该杉木人工林灌木层物种较丰富, 多样性高 (图 1), 除了灌木和木质藤本以外, 地带性树种的幼苗幼树较多, 共有 11 个种与乔木层相同, 其中乔木幼苗以浙江润楠、鸭脚木、锥等为主, 三者占比达到 70% 以上, 而山乌桕、白楸等先锋树种未出现 (表 1、表 2)。结合乔木层树种分层组成分析, 浙江润楠和锥有成为该林分优势树种的趋势。

由于林分中乔木和灌木丰富, 遮光较强, 下层草本植物以耐荫性种类为主, 相对乔木层和灌木层, 草本层种类相对较少, 但多样性指数和均匀度指数较高 (图 1), 其中蕨类植物和禾本科植物占比较高, 无乔木和灌木 (表 3)。

4 结论与讨论

广州市北部生态区对于广州市和大湾区生态安全具有重要作用, 既是生态屏障, 也是重要的水源涵养区。该区域人工林比例较高, 其功能与当前社会发展不匹配, 正在进行大规模改造提升, 科学设计改造思路、合理制定改造和管理制度极

为重要^[1-3]。研究和实践中采取的纯林改造方法主要包括皆伐造林、择伐或间伐后套种阔叶树种等方式, 以丰富林分树种组成、空间和年龄结构等, 进而分析树种、植被和土壤等的变化^[6-9], 探索森林质量提升、生物多样性维持以及林业碳中和路径和策略。但因地制宜选择改造模式和强度、补植树种组合与配置等管理措施, 则是实践中经常遇到的难题, 分析人工林天然更新现状与驱动机制将有助于提供解决思路。

经营或生长良好的典型杉木纯林或改造后的针阔混交林中龄林或近熟林, 乃至百年人工林的林下更新仍以灌木为主, 极少有乔木树种进入林冠层^[8,12,14]。本研究结果显示, 该杉木人工林自然淘汰较高, 地带性树种更新良好 (图 1), 树种包括先锋树种和顶级树种 (表 1)。从树种层间构成来看, 林冠层及林冠上层树种既有先锋树种山乌桕、白楸等, 亦有广东木姜子、罗浮柿、锥、华润楠、浙江润楠等地带性顶级树种, 而更新层无先锋树种更新, 先锋树种具有衰退趋势, 说明当前林分具有明显的进展演替特征。与广东车八岭国家级自然保护区 30 a 杉木林天然更新情况比较^[4], 二者乔木层密度差异较大, 分别为 3 740 株 /hm² 和 1 818 株 /hm²; 杉木占比和重要值分别为 57.03% 和 50.51、29.55% 和 21.36, 从林分密度和杉木占比来看本研究林分均相对较低, 但其进入林冠层的树种以先锋树种为主, 其他树种多处于林冠下层; 从演替过程来看, 通常密度较大的群

表 3 杉木人工林草本层植物组成与重要值

Table 3 Plant composition and important value of herbal layer in *Cunninghamia lanceolata* plantation

种名 Species	科名 Families	属名 Genera	比例 /%Percentage	重要值 IV
毛柄双盖蕨 <i>Diplazium dilatatum</i>	蹄盖蕨科	双盖蕨属	16.13	0.209 4
弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	禾本科	弓果黍属	22.58	0.162 9
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	凤尾蕨科	凤尾蕨属	16.13	0.144 9
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	禾本科	淡竹叶属	9.68	0.094 7
莎草 <i>Cyperus rotundus</i>	莎草科	莎草属	9.68	0.076 6
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	茜草科	玉叶金花属	6.45	0.074 3
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	碗蕨科	蕨属	6.45	0.066 6
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	蚌壳蕨科	金毛狗属	3.23	0.064 4
钳唇兰 <i>Erythrodies blumei</i>	兰科	钳唇兰属	3.23	0.037 2
异叶鳞始蕨 <i>Lindsaea heterophylla</i>	鳞始蕨科	鳞始蕨属	3.23	0.035 5
爱地草 <i>Geophila herbacea</i>	茜草科	爱地草属	3.23	0.033 8

落处于相对早期阶段的类型^[4]，因此推测车八岭林分属于向演替早期阶段，相对而言，本研究林分从密度、树种组成和林分结构等分析，演替速度相对更快。进一步从树种水平分析，本研究中杉木在林分中虽然仍占有优势，但与其他阔叶树相比并不占绝对优势（表1），而且林冠上层树种均为其他阔叶树种（图1），杉木面临较大压力，根据当前杉木生长和在林分中的淘汰率推断，未来杉木仍面临较大淘汰风险。当前林分已形成针阔混交林，但长期来看，维持稳定的针阔混交林则压力较大，最终可能形成地带性常绿阔叶林。

林分自然更新速度、组成和结构等差异可能与年龄、立地、冠层特征、干扰强度和方式等有关^[6-11,15]。本研究中杉木人工林天然更新良好的原因可能与立地质量有关，杉木一般对立地要求较高，而研究区域土层较薄、肥力偏低，18年生杉木平均树高约11 m，平均胸径约12 cm，冠幅小，平均约1.76 m，杉木生长相对较差，但通过前期造林抚育已经形成稳定的林分环境，有利于其他树种的天然更新。因缺乏长期连续监测，阔叶树种开始更新的时间尚不确定，根据省内其他地点观察，造林当年底就可以发现蕨类、木荷、千年桐、山乌桕等树种更新，即人工整地和抚育等措施为地带植被的更新发育创造条件，这与当地种子库、立地、抚育方式和强度等有关，也有可能是干扰停止后、或者杉木长到一定阶段形成林分环境后开始出现乔木天然更新，但也表明适度的干扰，包括间伐、林地清理、整地抚育等对于促进林分天然更新、近自然改造具有较强的可行性，但需要开展不同改造类型林分的长期监测，以提供更系统、可靠的技术支持。

不同地区的杉木林天然更新或人工近自然经营的效果差异较大，可能与经营方式、立地、林龄、密度、冠层结构等有关^[8,12,14-15]，要根据培育目标、林分现状、立地质量等合理选择培育目标和改造方法，以实现林分健康稳定发展^[1-3]。研究初步为今后从科学绿化角度总结完善杉木近自然经营提供借鉴，对于指导华南丘陵山地的杉木及其他人工林的森林质量提升和生态系统管理具有指导意义。

参考文献

- [1] 盛炜彤.人工林的生物学稳定性与可持续经营[J]. 世界林业研究, 2001, 14(6): 14-21.
- [2] 张会儒, 雷相东, 张春雨, 等.森林质量评价及精准提升理论与技术研究[J].北京林业大学学报, 2019, 41(5): 1-18.
- [3] 刘世荣, 杨予静, 王晖. 中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 1-10.
- [4] 宋相金, 束祖飞, 戴文坛, 等. 粤北车八岭杉木人工林物种多样性及优势植物种群结构[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(1): 1-8.
- [5] 李超荣, 高艳芳, 刘志发, 等. 乳阳林场杉木林物种多样性分析[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(4): 122-128.
- [6] 盘李军, 何增丽, 冼伟光, 等. 云勇森林公园杉木生态公益林改造后群落物种组成[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(3): 68-74.
- [7] 孙冬婧, 温远光, 罗应华, 等. 近自然化改造对杉木人工林物种多样性的影响[J]. 林业科学研究, 2015, 28(2): 202-208.
- [8] 谭许脉, 张文, 肖纳, 等. 杉木林改造成乡土阔叶林对林下植物物种组成和多样性的影响[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2931-2942.
- [9] 姜俊, 刘宪钊, 贾宏炎, 等. 杉木人工林近自然化改造对林下植被多样性和土壤理化性质的影响[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5): 170-177.
- [10] 陈春如, 安伟莉, 高艳芳, 等. 粤北不同密度杉木林下植被的物种多样性比较[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(5): 73-78.
- [11] 舒韦维, 卢立华, 李华, 等. 林分密度对杉木人工林林下植被和土壤性质的影响[J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4521-4530.
- [12] 刘佳哲, 谭长强, 申文辉, 等. 不同林龄杉木人工林林下灌木和草本物种组成及多样性分析[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(3): 104-110.
- [13] 陈卫军, 李志辉, 王佩兰, 等. 杉木人工中龄林及近熟林林地植物多样性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(11): 37-40.
- [14] 张筱, 陈义堂, 杨秋菊, 等. 不同地形100年生杉木人工林土壤理化性质及林下植被多样性差异分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2021, 41(6): 60-70.
- [15] 曹小玉, 李际平, 周永奇, 等. 杉木林林层指数及其与林下灌木物种多样性的关系[J]. 生态学杂志, 2015, 34(3): 589-595.