

杉木人工林珍贵化改造对林分生长量与物种多样性的影响

焦洁洁¹, 盛卫星², 苏光浪³, 徐永宏⁴, 吴初平¹, 王志高¹, 姚良锦¹,
朱锦茹¹, 江波¹, 李领寰⁵

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 建德市林业局, 浙江 杭州 311600; 3. 庆元县实验林场, 浙江 丽水 323800;
4. 建德市寿昌林场, 浙江 杭州 311600; 5. 国家林业和草原局 华东调查规划设计院, 浙江 杭州 310019)

摘要: 2016年3月, 在建德市林业总场21~23年生杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林下补植不同珍贵树种, 2021年10月, 选取5种不同配置模式的杉木人工林珍贵化改造样地进行相关生长指标调查分析, 并比较不同配置模式下的物种多样性。结果表明: 杉木在各改造样地中的胸径、树高和冠幅生长量均高于纯林样地的; 不同配置模式之间珍贵树种的生长量差异明显, 其中, 杉木+南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei*+浙江楠 *Phoebe chekiangensis*+天竺桂 *Cinnamomum japonicum*、杉木+楠木 *Phoebe zhennan* 混交模式中各珍贵树种的平均胸径、平均树高和平均冠幅生长量均表现最大, 两种混交模式中珍贵树种的平均胸径生长量分别为4.57 cm、3.79 cm, 平均树高生长量分别为5.69 m、3.82 m, 平均冠幅生长量分别为2.14 m、2.08 m; 南方红豆杉、天竺桂的干形质量最优, 干形通直完满的林木株数占比为90%~100%; 不同配置模式林下物种多样性综合表现依次为(杉木-南方红豆杉-浙江楠-天竺葵)>(杉木-樟 *Cinnamomum camphora*-浙江楠-紫楠 *Phoebe sheareri*)>(杉木-红豆树 *Ormosia hosiei*)>(杉木-浙江楠)>(杉木-楠木)>杉木纯林。以上结果表明, 选择不同树种和配置模式均可促进杉木生长, 但其培育效果不一样。如注重快速提高林分生产力可选择樟、天竺桂、楠木等生长较快的珍贵树种, 如注重林下植被和地力恢复可选择浙江楠等多树种配置模式。另外, 可通过定期间伐、抚育、整枝等调控措施, 促进林木生长, 提高经营效果。

关键词: 杉木林; 珍贵树种; 配置模式; 物种多样性; 生长量

中图分类号: S756.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2022)03-0001-08

Stand Increment and Diversity of Understory Species in *Cunninghamia lanceolata* Plantation Mixed with Different Rare Tree Species

JIAO Jie-jie¹, SHENG Wei-xing², Su Guanglang³, XU Yong-hong⁴, WU Chu-ping¹, WANG Zhi-gao¹, YAO Liang-jin¹, ZHU Jin-ru¹, JIANG Bo¹,
LI Ling-huan⁵

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. Jiande Forestry Bureau of Zhejiang, Hangzhou 311600, China; 3. Qingyuan experimental forest farm, Lishui 323800, China; 4. Jiande Shouchang Forest Farm of Zhejiang, Hangzhou 311600, China; 5. East China Inventory and Planning Institute, State Forestry and Grassland Administration, Hangzhou 310019, China)

Abstract: In March 2016, several rare tree species were replanted in 21-23-year *Cunninghamia lanceolata* plantation, in Jiande Forest Farm of Zhejiang province. In October 2021, permanent sample plots of plantation with 5 different distribution patterns were established for determination of stand increment. The result showed that DBH, tree height and crown width growth of *C. lanceolata* in the sample plots were higher than that in the

收稿日期: 2021-12-20; 修回日期: 2022-03-21

基金项目: 浙江省属院所扶持专项(2021F1065-4)

作者简介: 焦洁洁, 助理研究员, 从事森林生态和森林经营研究; E-mail: 705241632@qq.com。通信作者: 李领寰, 工程师, 从事森林生态研究; E-mail: 157214524@qq.com。

control (pure *C. lanceolata* plantation). There were obvious differences in the growth of rare tree species among different distribution patterns. Mean DBH, mean height and crown diameter growth in sample plots of *C. lanceolata*-*Taxus wallichiana* var. *mairei*-*Phoebe chekiangensis*-*C. japonicum*, *C. lanceolata*-*Phoebe zhennan* had the largest value, 4.57 cm, 3.79 cm, 5.69 m, 3.82 m, 2.14 m and 2.08 m. *T. wallichiana* var. *mairei* and *Cinnamomum japonicum* had the best stem form, with the rate of 90%-100%. Understory species diversity was ordered by stand of *C. lanceolata*-*T. wallichiana* var. *mairei*-*Ph. chekiangensis*-*C. japonicum* > stand of *C. lanceolata*-*C. camphora*-*Ph. chekiangensis*-*Ph. shearereri* > stand of *C. lanceolata*-*Ormosia hosiei* > *C. lanceolata*-*Ph. chekiangensis* > *C. lanceolata*-*Ph. zhennan* > the control.

Key words: *Cunninghamia lanceolata* plantation; rare tree species; distribution pattern; species diversity; growth

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 因其木材用途广、产量高,在我国亚热带地区被广泛种植。杉木林是浙江省主要的人工林类型之一,其面积和蓄积量占全省森林的 21.43% 和 28.76%^[1]。然而,大部分杉木人工林以纯林的形式培育,导致地力衰退,生产力降低,生物多样性下降,碳氮固持能力减弱,严重影响生态系统的稳定性^[2-6]。近年来,森林近自然经营、森林质量精准提升等经营实践表明,杉阔混交造林可以大大提高杉木林的生态服务功能^[7-8],杉木人工林林下补植阔叶树种可增加物种多样性,改善林下环境对更新幼苗具有保护作用,有利于促进林下幼苗、幼树的生长,同时有助于改良林地土壤,提高林分生物量。

珍贵树种主要指珍贵用材树种,其木材密度高、硬度大、纹理美观且具有较高的经济价值,同时也是国家宝贵的自然资源^[9]。目前,已有相关学者对杉木林下种植珍贵树种开展了研究,如刘雨晖^[10]对细叶青冈 *Cyclobalanopsis gracili* 与杉木混交林生物量与林下植物多样性研究表明,混交造林可以提高杉木与阔叶树林分的净生产力;田晓等^[11]通过不同混交比例的楠木 *Phoebe zhennan*-杉木混交林净生产力和碳储量的时空分析,表明混交造林可以提高乔木碳储量,同时可以降低土壤退化趋势。但大部分研究主要集中在单一树种与杉木的混交造林成果上,针对不同树种或不同配置模式的研究较少,而杉木林内如何科学合理地配置树种,对有效提高森林经营成效具有重要意义。因此,本文通过研究分析杉木人工林珍贵化改造中 5 种不同配置模式下的杉木和珍贵树种生长状况及物种多样性,旨在为杉木人工林珍贵化改造及林下树种优选提供理论指导。

1 研究区概况

研究区位于建德市林业总场,地理坐标为 118°54' E, 29°47' N,属于中亚热带季风气候区,四季分明,温暖湿润,雨量充沛,年均气温为 16.9℃,年均降水量为 1 504 mm,平均相对湿度为 82%,土壤类型以红壤为主。该区域植被类型多样,层次明显,因人类活动频繁,原生植被较少;从 20 世纪 70 年代开始,建德市大力开展营造杉木用材林基地,至 2018 年全市有杉木林基地逾 4.67 万 hm^2 。自 2016 年起,开始大面积实施森林近自然经营,开展杉木林下不同类型珍贵树种造林,以此促进杉木人工林向珍贵硬阔叶林演替^[12-13]。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

2016 年 3 月,在杉木中龄林(21 ~ 23 年生)下补植不同珍贵树种,杉木保留密度为 900 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$,珍贵树种补植密度同样为 900 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$,珍贵树种均为 2 年生优质容器苗,造林当年抚育 2 次,第 2、第 3 年各抚育 1 次。2021 年 10 月,以选择海拔、坡度、坡位等立地条件相似为原则,选取杉木-红豆树 *Ormosia hosiei* (A)、杉木-浙江楠 *Phoebe chekiangensis* (B)、杉木-楠木 (C)、杉木-南方红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *mairei*-浙江楠-天竺桂 *Cinnamomum japonicum* (D)、杉木-樟 *C. camphora*-浙江楠-紫楠 *Ph. shearereri* (E) 5 种配置模式的杉木林设置固定样地,每种类型各设 3 次重复,每个样地面积为 30 m × 30 m,同时选取未补植杉木纯林为对照(CK)样地,各林分特征见表 1。将所有样地分割为 5 m × 5 m 的乔木层样方进行调查,记录样方内所有树种位置(坐标)、胸径、冠幅、树高及干形质量等因子。在各样地内按梅花形设置 5 个 2 m × 2 m 的小样方,记录小样方内全部灌木和草本的种类、盖度、株数及平均高度。干形质量分为通直完满、轻度弯曲(树干有 1 ~ 2 个不显著弯

曲)、分叉或重度弯曲(二分叉树干、多分枝或存在两个以上显著的弯曲)三种类型。

表 1 各样地林分特征
Table 1 Stand characteristics of sample plots

林分特征	配置模式					
	CK	A	B	C	D	E
林龄/a	27	28/6	26/6	27/6	27/6	28/6
郁闭度	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7
平均树高/m	15.9	17.10/4.12	17.60/3.23	18.20/6.29	18.90/3.83	18.60/4.42
平均胸径/cm	21.5	23.40/2.02	23.30/4.9	23.20/5.17	25.20/3.45	25.30/3.49
平均冠幅/m	3.6	4.20/0.95	4.10/2.29	4.10/2.44	4.50/1.97	4.30/2.38
林分密度/(株·hm ⁻²)	987	1 010	980	1 002/900	997/300/300/300	989/300/300/300

2.2 数据分析

利用调查数据,分析不同树种的生长状态(平均胸径、树高、冠幅、高径比、干形质量)以及林下植被丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 生态优势度指数和 Pielou 均匀度指数等方面的差异,利用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析,采用 Duncan 多重比较法比较差异,显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。

2.2.1 树种生长状况 计算各树种平均胸径、树高、冠幅、高径比以及干形质量占比情况。

2.2.2 林下植被重要值 因为样地均为杉木纯林补植珍贵树种,乔木层基本为杉木及补植树种,所以对乔木层树种重要值不做分析。针对灌木层、草本层重要值的计算公式如下:

重要值 = (相对密度 + 相对频度 + 相对盖度) ÷ 3

2.2.3 林下物种多样性 α 多样性可以反映群落中物种丰富和个体在各物种中分布的均匀程度,本研究采用丰富度指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数进行林下植被多样性测度^[14-15]。由于不同种类植物的个体所占据的空间具有较大差异,为避免个体数作为多样性指数的测度指标可能引起的误差,本文采用重要值作为测度指标^[16]。

群落丰富度指数 (S):

$S = \text{物种数}$

物种多样性指数 Shannon-wiener (H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \tag{1}$$

生态优势度指数 Simpson (D):

$$D = \sum_{i=1}^s P_i^2 \tag{2}$$

均匀度指数 Pielou (J):

$$J = H' / H'_{max} \tag{3}$$

式中, $P_i = N_i / N$, N 表示林地样方中植物重要值的总和; N_i 表示样方中第 i 种植物的重要值; P_i 表示重要值比例(相对重要值)。

3 结果与分析

3.1 不同配置模式对杉木生长的影响

由表 2 可知,珍贵化改造样地的杉木各生长指标均优于纯林样地杉木的生长指标,在 5 种改造模式中,模式 D 中杉木的胸径、树高和冠幅生长量均值均为最大,分别为 12.6 cm、1.5 m、0.6 m,模式 D 和模式 C 中杉木的冠幅生长量最大且水平相近,均为 0.6 m,模式 A 中杉木的胸径

表 2 不同改造样地中杉木的生长状况
Table 2 Growth of *C. lanceolata* in different sample plots

林分类型	胸径生长量/cm	树高生长量/m	冠幅生长量/m
CK	3.25±0.08a	0.80±0.24a	0.30±0.12a
A	8.19±1.02b	1.20±0.87a	0.50±0.09a
B	9.32±1.18b	1.40±1.01b	0.50±0.24a
C	10.44±1.56c	1.20±0.95a	0.60±0.25a
D	12.60±1.98cd	1.50±1.12b	0.60±0.27a
E	10.12±2.14c	1.10±1.01a	0.50±0.21a

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$);下同。

生长量最小为 8.19 cm, 模式 E 中杉木的树高生长量最小为 1.1 m。各模式间胸径、树高生长量均表现显著差异 ($P<0.05$), 冠幅生长量则表现无显著差异。

3.2 不同配置模式对珍贵树种生长的影响

杉木林下不同珍贵树种胸径生长量、树高生长量、冠幅生长量及高径比见表 3。

不同配置模式之间, 模式 C、模式 E 中珍贵树种的平均胸径生长量表现最大, 分别为 4.57 cm、3.79 cm, 高于其他树种 62% ~ 69%, 模式 A 中红豆树的胸径生长量最小为 1.42 cm。树高生长方面, 模式 C、模式 E 中珍贵树种的树高生长量表现最大, 分别为 5.69 m、3.82 m, 高于其他树种 31% ~ 54%, 模式 B 生长量最小。冠幅生长方面, 模式 C、模式 E 中珍贵树种的平均冠幅生长量表现最大, 分别为 2.14 m、2.08 m, 高于其他树种 69% ~ 70%, 模式 A 中红豆树的冠幅生长量最低, 为 0.65 m。高径比方面, 模式 A 中红豆树的高径比表现最高, 为 1.72, 是其他树种的 1.5 ~ 2.0 倍。

表 3 不同改造样地中各珍贵树种生长状况
Table 3 Growth of rare tree species in sample plots

模式	树种	胸径生长量/cm	树高生长量/m	冠幅生长量/m	高径比
A	红豆树	1.42±0.13ab	3.42±0.28a	0.65±0.19c	1.72±0.19c
B	浙江楠	2.52±0.21b	2.63±0.13ab	1.89±0.03a	0.92±0.03a
C	楠木	4.57±0.36c	5.69±0.13c	2.14±0.10ab	1.15±0.10ab
D	南方红豆杉	2.16±0.20a	2.26±0.23b	1.57±0.05a	0.94±0.05a
	浙江楠	2.25±0.19b	2.84±0.29ab	1.73±0.15a	1.09±0.15b
	天竺桂	3.81±0.29cd	4.65±0.43cd	1.70±0.13b	1.11±0.13b
	模式 D 平均值	2.75±0.29b	3.23±0.21a	1.67±0.29b	1.05±0.29b
E	樟	5.58±0.41e	5.39±0.13cb	2.30±0.08a	0.93±0.08a
	浙江楠	2.89±0.33bc	2.53±0.31d	1.91±0.09a	0.91±0.09a
	紫楠	3.38±0.26d	3.34±0.29b	2.03±0.10a	0.90±0.10a
	模式 E 平均值	3.79±0.29cd	3.82±0.29a	2.08±0.29a	0.91±0.29a

不同树种之间, 楠木、樟、天竺桂的胸径和树高生长量最大, 分别为 4.57 cm、5.58 cm、3.81 cm 和 5.69 m、5.39 m、4.65 m, 红豆树的胸径生长量最小, 为 1.42 cm, 南方红豆杉和浙江楠的树高生长量最低, 分别为 2.26 m、2.67 m; 樟的冠幅生长量最大, 为 2.30 m, 其次是楠木和紫楠, 分别为 2.14 m、2.03 m。浙江楠在与不同树种配置模式下, 胸径、冠幅生长量的差异不明显 ($P>0.05$)。

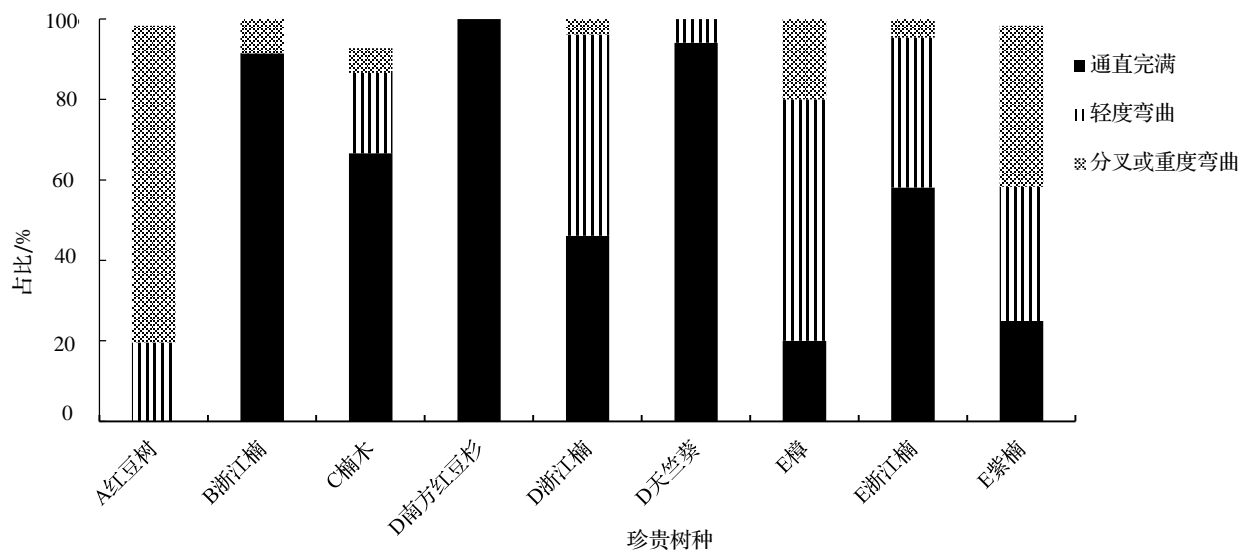


图 1 各珍贵树种干形质量株数占比

Figure 1 Proportion of different stem forms of rare tree species

从林木干形质量看(见图 1), 各树种干形质量完满程度表现为南方红豆杉>天竺桂>浙江楠>楠木>紫楠>

樟>红豆树,其中,南方红豆杉干形通直完满的株数达100%,其次是天竺桂,干形通直完满的株数达90%以上,浙江楠较优(通直完满和轻度弯曲),干形通直完满的株数达94%,红豆树几乎没有干形通直完满的植株。

3.3 林下物种多样性

3.3.1 林下植被物种组成 科属分类采用分子系统学最新系统,从林下物种调查可得(表4、表5),不同树种配置模式下的林下灌木和草本物种组成存在一定的差异,以模式D混交林下植被最多,共计30科36属45种,其次是模式E混交林下植被,共计30科40属44种,杉木纯林林下植被最少,共计11科12属12种。同时,发现多树种混交的样地内杉木幼树的树种重要值占比较单树种的更高,分别高出9.19%~17.26%。

表 4 杉木林珍贵化改造样地灌木层物种重要值
Table 4 Importance value of shrub layer species in sample plots

树种	配置模式					
	CK	A	B	C	D	E
菝葜 <i>Smilax china</i>				9.43		2.34
白栎 <i>Quercus fabri</i>		0.87				
豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>					0.42	
茶 <i>Camellia sinensis</i>		6.18				
赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>					0.53	
槲木 <i>Aralia elata</i>				1.76	3.26	
大青 <i>Clerodendrum</i> <i>cyrtophyllum</i>		0.86	2.13	6.23	0.51	
大血藤 <i>Sargentodoxa cuneata</i>		1.02				
大叶白纸扇 <i>Mussaenda</i> <i>shikokiana</i>	25.46	4.02	15.90			
高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>				13.66		1.68
格药铃 <i>Eurya muricata</i>					3.14	
钩藤 <i>Uncaria rhynchophylla</i>		7.61		11.29		
土茯苓 <i>Smilax glabra</i>			1.65			1.30
广东蛇葡萄 <i>Ampelopsis cantoniensis</i>						
寒莓 <i>Rubus buergeri</i>	22.71	23.28	31.84	14.51		
华东葡萄 <i>Vitis pseudoreticulata</i>					0.67	
华紫珠 <i>Callicarpa cathayana</i>		5.96			1.21	2.62
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>						0.91
欒木 <i>Loropetalum chinense</i>				2.53		
金线吊乌龟 <i>Stephania cephalantha</i>					2.45	
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>		1.30				
绿叶地锦 <i>Parthenocissus laetevirens</i>	20.85	0.29				
木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>					0.49	
木荷 <i>Schima superba</i>			1.65			
木油桐 <i>Vernicia montana</i>					1.77	
南五味子 <i>Kadsura longipedunculata</i>		2.60				
赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i>						
蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i>		2.60	16.69	33.58	27.09	17.33
朴树 <i>Celtis sinensis</i>					0.49	
醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i>		0.58				
雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>						0.98
山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	0.12					1.21
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>						
山鸡椒 <i>L. cubeba</i>						5.52
山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>						9.71
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	30.51	8.10	2.62	17.26		9.19
石楠 <i>Photinia serratifolia</i>						0.49
石岩枫 <i>Mallotus repandus</i>						2.85
算盘子 <i>Glochidion puberum</i>						0.39
葡蟠 <i>Broussonetia kaempferi</i>		0.72	3.97		4.07	4.39
秃红紫珠 <i>Callicarpa rubella</i> var. <i>subglabra</i>						
枸棘 <i>Maclura cochinchinensis</i>		0.86				
微毛铃 <i>Eurya hebeclados</i>		1.14	1.65		5.51	9.69
乌药 <i>Lindera aggregata</i>						4.38
香花鸡血藤 <i>Callerya dielsiana</i>		3.47				
楮 <i>Broussonetia kazinoki</i>						2.04
小果菝葜 <i>Smilax davidiana</i>	0.12	0.29				
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>		1.81			4.07	10.93
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>						4.38
野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>						1.08
异叶地锦 <i>Parthenocissus heterophylla</i>		2.14				
杂交鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense × tulipifera</i>			19.78		3.25	
油茶 <i>Camellia oleifera</i>						1.28
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>						0.99
窄叶南蛇藤 <i>Celastrus oblaneifolius</i>		0.58				2.02
栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>						7.69
苕麻 <i>Boehmeria nivea</i>						1.77
紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>						2.59
紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	0.23	23				1.13

表 5 杉木林珍贵化改造样地草本层物种重要值
Table 5 Important value of herbaceous layer species in sample plots

物种名	配置模式						物种名	配置模式					
	CK	A	B	C	D	E		CK	A	B	C	D	E
矮桃 <i>Lysimachia clethroides</i>					2.98	0.87	七星莲 <i>Viola diffusa</i>					0.38	
边缘鳞盖蕨 <i>Microlepia marginata</i>					12.19		求米草 <i>Oplismenus</i>		8.01	23.15		1.42	8.01
食用双盖蕨 <i>Diplazium</i>	12.71	20.75					<i>undulatifolius</i>						
<i>esculentum</i>							柔枝莠竹 <i>Microstegium</i>						
刺毛母草 <i>Lindernia</i>					1.38		<i>vimineum</i>						
<i>setulosa</i>							三穗薹草 <i>Carex tristachya</i>			15.23		2.14	
淡竹叶 <i>Lophatherum</i>	30.42	11.50	30.24		15.07	27.65	石茅苎 <i>Mosla scabra</i>		0.75	13.99		4.47	0.75
<i>gracile</i>							瘦风轮菜 <i>Clinopodium</i>					0.44	
杜若 <i>Polia japonica</i>							<i>multicaule</i>						
							疏穗野青茅				5.54	1.30	
狗脊 <i>Woodwardia japonica.</i>		6.83			8.29	2.79	<i>Deyeuxia effusiflora</i>						
海金沙 <i>Lygodium</i>						1.97	乌蕨 <i>Odontosoria chinensis</i>						
<i>japonicum</i>							乌蕨莓 <i>Cayratia japonica</i>						
黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>		7.64	17.40		4.33	2.23	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>						
黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i>						2.40	小鱼仙草 <i>Mosla dianthera</i>						
鸡矢藤 <i>Paederia foetida</i>					1.02		延羽卵果蕨 <i>Phegopteris</i>				7.26		
积雪草 <i>Centella asiatica</i>					0.28		<i>decursive-pinnata</i>						
渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus</i>							野苘蒿 <i>Crassocephalum</i>		5.53			5.53	
<i>acuminatus</i>		1.66					<i>crepidioides</i>						
金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>					3.08	6.15	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>		0.45			0.45	
金星蕨 <i>Parathelypteris</i>	21.52	14.15		20.17	9.03	0.75	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>					2.96	
<i>glanduligera</i>							蕺菜 <i>Houttuynia cordata</i>						
井栏边草 <i>Pteris multifida</i>		1.90					长鬃蓼 <i>Polygonum</i>					2.02	
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var.		12.98		19.47		23.57	<i>longisetum</i>						
<i>latiusculum</i>							皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>					3.38	
香附子 <i>Cyperus rotundus</i>					0.75		珠穗薹草 <i>Carex ischnostachya</i>						
鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>					0.84		紫背堇菜 <i>Viola violacea</i>						
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>					3.18		紫花堇菜 <i>V. grypceras</i>					0.44	
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	4.16			30.95	4.20	7.07	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	4.36				5.80	
芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	26.83	4.57		16.60	8.64	6.09							
牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>		3.30											

3.3.2 林下物种多样性 由表 6 可知，灌木层各多样性指数在不同配置模式之间存在一定的差异，但在同一个群落类型中表现出相似的趋势，这与物种组成的结果一致。模式 E 在物种丰富度、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数 4 个指数上表现均为最大，其次为模式 D，模式 C 最低。各混交模式中林下物种的多样性指标均高于 CK 样地。

表 6 杉木林珍贵化改造样地林下物种多样性
Table 6 Understory species diversity in sample plots

类型	物种丰富度		Shannon-Wiener 指数		Pielou 指数		Simpson 指数	
	灌木	草本	灌木	草本	灌木	草本	灌木	草本
CK	7	5	0.78	1.02	0.61	0.59	0.53	0.59
A	23	14	1.68	2.12	0.73	0.83	0.73	0.84
B	11	5	1.47	1.57	0.67	0.88	0.69	0.76
C	9	6	0.96	1.16	0.69	0.72	0.52	0.60
D	19	26	2.26	2.04	0.80	0.78	0.84	0.82
E	28	16	1.69	1.59	0.77	0.77	0.73	0.74

草本层各多样性指数在不同配置模式之间也存在一定的差异, 模式 D 的物种丰富度最大, 模式 A 的 Shannon-Winner 指数、Simpson 指数最大, 模式 B 的 Pielou 指数最大, CK 样地各指数均为最小。

综合灌草多样性指标, 不同树种配置模式在物种丰富度指数、Shannon-Winner 指数、Pielou 指数、Simpson 指数上均表现为 $D > E > A > B > C > CK$ 。

4 结论与讨论

本研究中, 在各改造样地杉木的胸径、树高、冠幅生长量均高于纯林样地杉木的, 虽未设置珍贵树种纯林对照样地, 但已有研究表明杉木林阔叶化改造不仅可以促进杉木生长, 也可提高阔叶树的生长量^[17-18], 如邹圭碧^[18]等对 26 年生杉木-红锥 *Castanopsis hystrix* 混交林生长量的研究表明, 结合间伐、抚育等措施, 不仅使下层杉木的平均树高和胸径较丰产标准提高了 3.33% 和 4.67%, 红锥的平均树高和胸径较丰产标准也提高了 16.90% 和 10.36%。模式 C、E 中珍贵树种的胸径、树高、冠幅生长均为最优, 这是因为樟、楠木、天竺桂等作为深根性阔叶树, 与浅根性针叶树种杉木混交造林, 两种根系相互促进, 根系发达, 从而改善土壤结构, 提升肥力, 促进林木生长^[19], 这郑双全^[20]的研究结果一致。浙江楠在不同树种配置模式下胸径、树高生长量差异不显著, 表现水平为中庸状态, 这是由于浙江楠具有与杉木、木荷、紫楠等相似的生态位, 可以合理资源共享, 建立建群优势种群^[21], 同时, 有研究表明, 浙江楠与杉木混交可以解决杉木根系在氮沉降下受磷限制的问题, 改善杉木纯林地力衰退, 因此可以选择浙江楠与杉木或者其他树种林进行大面积的混交造林^[22]。

林木干形是衡量林木质量的重要标准, 干形质量的好坏直接影响林木的出材率以及生产效益^[23-24], 南方红豆杉、天竺桂、浙江楠树干通直完满或轻度弯曲的林木株数占比明显高于其他树种, 因此, 可选择杉木林下补植南方红豆杉、天竺桂、浙江楠等以培育优质珍贵用材。红豆树树高生长量明显优于其他树种, 但是树干分叉严重, 分叉或重度弯曲的林木占 80% 以上, 这与骆文坚、张煌城等的研究结果相似^[25-26], 可定期开展人工整枝, 有利于培育优良无节材。

林下物种多样性分析结果表明, 多树种样地的物种多样性均高于纯林样地的物种多样性, 且多树种配置模式的物种多样性指标均高于单树种配置模式的, 这是因为树种类型多样, 冠层结构更丰富, 林地更新潜力就会大大提高^[27], 混交林同时具备了阔叶林和针叶林的林分特征, 增加了生境的异质性, 为更多林下物种的生长创造了条件^[6]。另外, 从今后发展看, 南方红豆杉、樟、红豆树等果实颜色鲜艳且具有较高的淀粉含量, 更容易吸引鸟类及啮齿类动物的取食, 从而携带其他物种的种子^[28], 增加林内物种多样性。

综上所述, 在开展杉木林珍贵化改造时可根据不同林分区位和造林要求选择不同树种和配置模式, 如注重快速提高林分生产力可选择樟、天竺桂、楠木等生长较快的珍贵树种, 注重林下植被和地力恢复可选择浙江楠等多树种配置模式, 如注重培养优质干材可选择南方红豆杉、浙江樟、浙江楠等干形优良的树种。同时, 可通过定期间伐、抚育、整枝等调控措施, 促进林木生长, 提高经营效果。另外, 不同立地条件、光照、密度等因素也会对树种生长产生影响, 后期应开展不同环境影响下的研究。

参考文献:

- [1] 王兰芳, 韦新良, 汤孟平. 浙江省杉木林生产力地理分异特性[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36 (6): 1107-1114.
- [2] CHAZDON, RL. Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands[J]. Science, 2008, 320 (5882): 1458-1460.
- [3] LIU J, COOMES D A, GIBSON L, et al. Forest fragmentation in China and its effect on biodiversity[J]. Biol Rev, 2019, 94 (5): 1636-1657.
- [4] 杨海宾, 张茂震, 丁丽霞, 等. 基于最大胸径生长率的浙江省杉木人工林立地质量评价[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37 (1): 105-113.
- [5] 黄凯璇, 汤新艺, 秦欢, 等. 近自然经营对杉木人工林地被物和土壤碳氮积累的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29 (8): 1556-1565.
- [6] 张涵丹, 康希睿, 邵文豪, 等. 不同类型杉木人工林下草本植物多样性特征[J]. 生态学报, 2021, 41 (6): 2118-2128.
- [7] 宁金魁, 陆元昌, 赵浩彦, 等. 北京西山地区油松人工林近自然化改造效果评价[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37 (7): 42-44.
- [8] 李婷婷, 陆元昌, 庞丽峰, 等. 杉木人工林近自然经营的初步效果[J]. 林业科学, 2014, 50 (5): 5-11.

- [illegible]

http://yj.zj.gov.cn/art/2022/4/19/art_1276365_59029785.html