

# 近自然化改造对杉木人工林物种多样性的影响

孙冬婧<sup>1,2,3</sup>, 温远光<sup>1,3\*</sup>, 罗应华<sup>1,3</sup>, 李晓琼<sup>1,3</sup>, 张万幸<sup>2,3</sup>, 明安刚<sup>2,3</sup>

(1. 广西大学林学院, 广西 南宁 530004; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600;  
3. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西 凭祥 532600)

**摘要:** 在广西凭祥市热林中心青山实验场设置杉木人工林近自然化改造样地, 进行3种间伐强度处理(75%、55%、35%), 均匀套种4种阔叶树。改造5年后, 研究不同间伐强度近自然经营对群落组成、物种多样性和林分生长状况的影响。结果表明: 近自然化改造5年后, 乔、灌、草3层的物种数明显增加, 灌草层的优势种有所变化, 但各间伐处理的优势种大致相同; 各间伐处理的灌木层物种多样性指数无显著差异; 改造后各处理草本层物种多样性指数均高于未改造的纯林, 各处理草本层的 Simpson 指数和均匀度指数均显著高于改造前的纯林。杉木胸径随间伐强度的增大而增加且差异显著, 但各处理间树高无显著差异; 套种的4种阔叶树的胸径、树高随间伐强度的增大而增加, 大叶栎、红椎的胸径、树高生长量在不同间伐处理林分中有显著差异; 高间伐强度改造的杉木人工林适合套种阳性树种大叶栎、米老排和中性树种红椎, 中等间伐强度改造的杉木人工林适合套种耐阴性树种润楠。

**关键词:** 杉木; 近自然化改造; 间伐; 物种多样性; 生长量

中图分类号: S791.27

文献标识码: A

## Effect of Close-to-Nature Management on Species Diversity in a *Cunninghamia lanceolata* Plantation

SUN Dong-jing<sup>1,2</sup>, WEN Yuan-guang<sup>1,3</sup>, LUO Ying-hua<sup>1,3</sup>, LI Xiao-qiong<sup>1,3</sup>,  
ZHANG Wan-xing<sup>2,3</sup>, MING An-gang<sup>2,3</sup>

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China; 2. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China; 3. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

**Abstract:** The study was conducted in a *Cunninghamia lanceolata* stand under close-to-nature management, with three different thinning densities (75%, 55%, and 35%) and three repetitions, in the Experimental Center of Tropical Forestry, Pingxiang, Guangxi. Four broad-leaved species *Castanopsis hystrix*, *Mytilaria laosensis*, *Castanopsis fissa* and *Machilus pingii* were randomly inter-planted into the *Cunninghamia lanceolata* stand. The impact of close-to-nature management with different thinning densities on community composition, species diversity and growth status were studied. The results showed that after five years of the close-to-nature management, the number of species in tree layer, shrub layer and herb layer highly increased. The dominant species in shrub layer and herb layer varied before and after thinning operation, but they were mostly the same in different thinning intensities. In the shrub layer, there was no significant difference in diversity indexes between the thinning stands and the unthinned pure stands. In the herb layer, the diversity indexes in the thinning stands were higher than that of the unthinned pure stands, while the Simpson index and Pielous evenness index were significantly higher than the pure stand. The

收稿日期: 2014-07-22

基金项目: 国家科技支撑项目(2012BAD22B0105); 广西科技重大专项(11199001)和中国林业科学研究院热林中心主任基金项目(RL2012-04)

作者简介: 孙冬婧(1985—), 硕士, 工程师。主要研究方向: 森林生态学。E-mail: happysdj@163.com

\* 通讯作者: 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 森林生态学、生物多样性。E-mail: wenyg@263.net

average DBH of *Cunninghamia lanceolata* was significantly increased with the thinning intensities, but no significant difference was found in tree height. The DBH and height of the broad-leaved trees grew as the thinning density increasing. Significant differences were found in the DBH and height of *Castanopsis fissa* and *Castanopsis hystrix* in different thinning intensities. Intolerant species such as *Castanopsis fissa* and *Mytilaria laosensis*, as well as neutral species *Castanopsis hystrix* were good for inter-planted in high thinning intensity during close-to-nature management in *Cunninghamia lanceolata* plantation, while the shade tolerant species like *Machilus pingii* performed better in medium thinning stands.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; close-to-nature management; thinning; species diversity; forest growth

近自然化改造是参照天然森林的结构和演替过程,通过树种引入、结构调整、促进天然更新和保护林下植物多样性等一系列经营措施,将人工纯林改造成生长能力、林分结构和生态功能均有提高的接近自然的森林生态系统的培育措施<sup>[1]</sup>。当前,在世界人工林面积不断扩大,生态功能持续下降的背景下,人工林的近自然化改造不可避免地成为森林可持续经营中必须考虑的重大问题<sup>[1-2]</sup>。

根据第八次全国森林资源清查结果,我国人工林面积达6 933万 $\text{hm}^2$ ,占全国森林面积的33.3%,然而林地生产力低,人工林蓄积量只有 $52.76 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。我国60%的人工林分布在华南地区,主要是松类(如马尾松、云南松等)和杉类(杉木、柳杉、秃杉等)人工林,这类人工林长期采用同龄纯林和多代连栽方式,致使林分结构单一、生态稳定性变差,林分的生态服务功能持续下降<sup>[3-5]</sup>,严重影响人工林的可持续经营。近年来,许多学者基于近自然林业的理念,通过间伐和套种阔叶树等技术来改造大面积人工针叶纯林,取得了初步成效<sup>[6-8]</sup>。研究表明,对人工针叶纯林进行近自然化改造,能够增加物种多样性,改善林分结构并促使其向天然次生林方向演化<sup>[9-12]</sup>;然而,目前的研究多集中于松类人工林,有关杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林近自然化改造的研究仍鲜有报道。本研究以广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心青山实验场杉木人工林为对象,通过不同强度间伐和套种阔叶树对林分进行近自然化改造,并以间伐前林分为对照,以揭示近自然化改造对杉木人工林群落组成、物种多样性及林木生长状况的影响,为杉木人工林近自然经营提供建议。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究地区概况

研究地区位于广西凭祥市中国林业科学研究院

热带林业实验中心( $106^{\circ}39'50'' \sim 106^{\circ}59'30''\text{E}$ ,  $21^{\circ}57'47'' \sim 22^{\circ}19'27''\text{N}$ ),该区域位于南亚热带季风气候区域内的西南部,属南亚热带半湿润—湿润气候。境内日照充足,雨量充沛,干湿季分明,光、水、热资源丰富,全年日照时数为1 218~1 620 h。年均气温 $20.5 \sim 21.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端高温 $40.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端低温 $-1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $6\ 000 \sim 7\ 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;年均降水量 $1\ 200 \sim 1\ 500 \text{ mm}$ ,年蒸发量 $1\ 261 \sim 1\ 388 \text{ mm}$ ,相对湿度 $80\% \sim 84\%$ 。地带性土壤为花岗岩发育的砖红壤,土层厚度 $>80 \text{ cm}$ ,pH值 $4.8 \sim 5.5$ 。

### 1.2 研究方法

选择热林中心青山实验场1992年营造的杉木纯林为试验林,初植密度为 $2\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,地位指数 $16 \sim 18$ 。除造林后2年进行人工抚育外,不再进行人为干预,基本处于自然恢复状态。2004年,在自然环境条件基本一致的林分设立9个 $600 \text{ m}^2$ ( $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ )的固定试验样地,各样地间距离 $20 \text{ m}$ 以上,具有相同的土壤类型(黄壤)、相似的海拔( $800 \sim 850 \text{ m}$ )和坡度( $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ),对样地中所有乔木个体(高度大于 $4 \text{ m}$ )编号并进行每木调查;在每块样地内按照上、下、左、右、中机械布设5个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方,在灌木样方的左上角设 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本样方,分别记录灌木层(含乔木幼树、幼苗及藤本植物)和草本层的种名、高度、覆盖度、株数等。调查数据显示,该林分平均树高 $11.0 \text{ m}$ ,平均胸径 $13.5 \text{ cm}$ 。

本底调查后,根据研究需要,对上述杉木纯林进行近自然化改造,即在林分内部选取干形通直、树冠饱满、无粗大侧枝、未受病虫害影响及生命力顽强的林木为培育的目标树,并对影响目标树生长的林木标记为干扰树。2004年,根据试验设计,对9块固定样地进行3种不同密度的间伐处理,间伐强度分别为 $75\%、55\%、35\%$ ,伐除干扰树以及生长较差的一般林木。每个间伐处理设3个重复,间伐后在林

下以  $200 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  的密度均匀套种阔叶树,套种树种为红椎 (*Castanopsis hystrix* Hook. f. & Thomson ex A. DC.)、米老排 (*Mytilaria laosensis* Lec.)、大叶栎 (*Quercus griffithii* Hook. f. et Thoms. ex Miq.)、润楠 (*Machilus nanmu* (Oliv.) Hemsl.)。近自然化改造的短期经营目标是培育杉木大径材,长期目标是培育多功能、高价值、多树种混交林。

2010年,即近自然化改造5年后,用相同的调查方法对上述试验样地的乔、灌、草进行复查,同时测量套种的阔叶树种个体的高度、胸径。使用测高测距仪 Vertex IV,利用异频雷达发射器定位和仪表超声测量,测定乔木层个体的树高;使用专用测树胸径尺测量胸径。

对物种重要值 ( $Iv$ )、物种丰富度 ( $S$ )、Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ )、Simpson 优势度指数 ( $D$ ) 和 Pielous 均匀度指数 ( $J$ ) 按如下公式计算:

重要值 ( $Iv$ ) = 相对多度 ( $Dr$ ) + 相对显著度 ( $Pr$ ) + 相对频度 ( $Fr$ )

物种丰富度指数 ( $S$ ) = 样方内出现的物种数目

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

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

$$J = H' / \ln S$$

上式中:  $P_i = N_i / N$ , 即某个物种的相对多度,  $N_i$  为种  $i$  的株数,  $N$  为种  $i$  所在样方的所有物种的总株数。

### 1.3 数据处理

采用 Microsoft excel 2007 对数据进行整理和计算;应用 SPSS18.0 软件单因素方差分析 (ANOVA) 及多重比较进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 近自然化改造对植物群落组成的影响

#### 2.1.1 近自然化改造对乔木层植物组成的影响

间伐处理前,乔木层每  $600 \text{ m}^2$  样方平均物种数为  $(2.17 \pm 1.03)$  种,个体数为  $(146.83 \pm 15.71)$  株。间伐处理及近自然化改造后,乔木层的物种数明显增多,每  $600 \text{ m}^2$  样方平均物种为  $(16.2 \pm 4.32)$  个,其中,间伐强度 55% 的林分物种数最多,为  $(19 \pm 4.58)$  个,间伐强度 35% 的林分物种数最少,为  $(13.7 \pm 1.15)$  种 (图 1)。通过间伐,乔木层杉木的个体数减少,但自然更新的物种个体数明显增加,部

分生长较快 (高于  $4 \text{ m}$ ) 的灌木进入乔木层。套种的阔叶树和自然更新的物种,如米老排、水东哥 (*Saurauia tristyla* DC.)、大叶白纸扇 (*Mussaenda shikokiana* Lévl.)、中平树 (*Macaranga denticulate* (Bl.) Muell. Arg.)、润楠、三叉苦 (*Evodia leptota* (Champ. ex Benth.) Hartley)、白背桐 (*Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell. Arg.)、黄毛榕 (*Ficus esquiroliana* Lévl.) 等共同构成乔木亚层,其中,套种的米老排的重要值为 18.25,成为乔木层的次优势种。

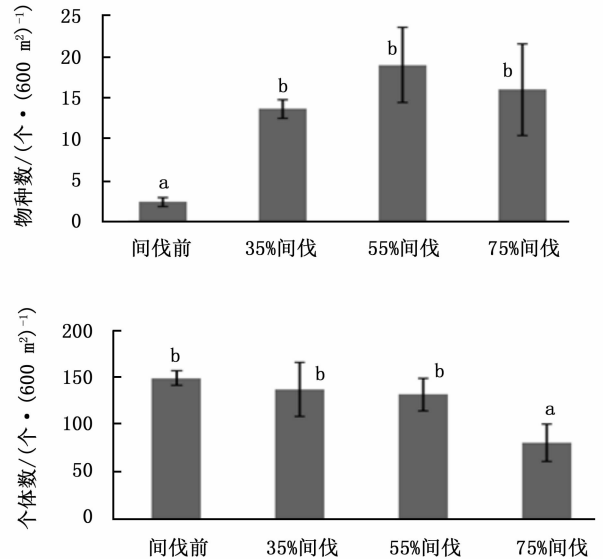


图1 间伐前后杉木林乔木层平均物种数及个体数的比较

#### 2.1.2 近自然化改造对灌草层植物组成的影响

间伐处理前,所有样方出现灌、草种类 97 种,其中,灌木 52 种,草本 45 种,每  $600 \text{ m}^2$  样方出现灌木种类  $(11.3 \pm 3.2)$  种,草本种类  $(9.3 \pm 2.1)$  种;间伐处理及近自然化改造后,所有样方出现灌、草种类 120 种,其中,灌木 62 种,草本 58 种,每  $600 \text{ m}^2$  样方出现灌木种类  $(14.7 \pm 2.9)$  种,草本种类  $(17.3 \pm 1.9)$  种;近自然化改造后,每个样方内的灌木和草本种类分别比改造前增加了 30.1% 和 86.0%。

由表 1、2 可看出:间伐前,灌木层主要由水东哥 (32.80)、乌莓 (26.78)、粗叶榕 (25.07) 等物种组成,草本层主要由弓果黍 (80.14)、粗喙秋海棠 (56.40)、金毛狗 (36.47) 等物种组成;近自然化改造后,优势种发生明显改变,但不同间伐强度灌木及草本层的优势物种大致相同,灌木层主要为凸尖紫麻、斑鸠菊,草本层主要为淡绿短肠蕨、金毛狗等。

表1 灌木层主要物种组成及重要值

序号	种名	重要值			
		间伐前	35%间伐	55%间伐	75%间伐
1	爬藤榕	11.22	35.09		40.44
2	水东哥	32.80	6.06	35.9	21.20
3	凸尖紫麻		52.99	66.19	24.06
4	斑鸠菊		26.16	27.63	16.02
5	紫金牛		11.35		18.61
6	对叶榕	6.48	22.86		15.12
7	变叶胡椒		1.66	5.97	14.64
8	粗叶榕	25.07	16.77	17.58	4.11
9	润楠		5.28		13.56
10	三叉苦	9.49	1.78		12.48
11	玉叶金花	24.34	7.98	4.74	3.85
12	红椎				11.59
13	糙叶榕				10.42
14	大白叶纸扇		20.59	19.84	9.56
15	杉木	13.92		2.73	7.26
16	海金沙	13.95			5.25
17	乌菟莓	26.78		2.73	4.98
18	中平树				3.18
19	毒根斑鸠菊		3.84	5.46	2.92
20	黄独		4.30	9.06	2.70
21	粗糠柴	9.86			
22	荨麻	10.22			
23	薯蓣	14.96			
24	杜茎山	23.71	3.31	5.71	2.06
25	紫珠		10.22		
26	大青	4.57	12.26	4.25	
27	毛冬青			18.01	
28	米老排		8.20	12.17	
29	藤构			10.36	
30	椴木		4.48	6.33	

注:(1)灌木层中包含部分自然更新的乔木幼树及套种的落叶阔叶树;(2)灌木层主要物种的拉丁学名:爬藤榕(*Ficus sarmentosa* var. *impressa* (Champ.) Corner)、凸尖紫麻(*Oreocnide obovata* (C. H. Wright) Merr.)、斑鸠菊(*Vernonia esculenta* Hemsl.)、紫金牛(*Ardisia japonica* (Thunb.) Bl.)、对叶榕(*Ficus hispida* L. f.)、变叶胡椒(*Piper mutabile* C. DC.)、粗叶榕(*Ficus hirta* Vahl)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens* Dryand.)、糙叶榕(*F. irisana* Elmer.)、海金沙(*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.)、乌菟莓(*Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep.)、毒根斑鸠菊(*Vernonia cumingiana* Benth.)、黄独(*Dioscorea bulbifera* Linn.)、粗糠柴(*Mallotus philippensis* (Lam.) Muell. Arg.)、荨麻(*Urtica fissa* E. Pritz.)、薯蓣(*Dioscorea polystachya* Turcz.)、杜茎山(*Maesa japonica* (Thunb.) Zipp. ex Scheff.)、紫珠(*Callicarpa bodinieri* Lévl.)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum* Turcz.)、毛冬青(*Ilex pubescens* Hook. et Arn.)、藤构(*Broussonetia kaempferi* var. *australis* Suzuki)、椴木(*Aralia chinensis* L.)。

## 2.2 近自然化改造对林下植物多样性的影响

由图2可知:间伐处理前,灌木层的植物多样性指数均高于草本层;近自然化改造后,草本层的物种丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数均高于灌木层,各间伐处理林分灌木层的物种丰富度、Shannon-

表2 草本层植物主要物种组成及重要值

序号	种名	重要值			
		间伐前	35%间伐	55%间伐	75%间伐
1	淡绿短肠蕨	25.03	53.30	35.76	65.92
2	金毛狗	36.47	23.86	48.81	44.02
3	有刺凤尾蕨	30.19	11.10	18.00	17.76
4	福建莲座蕨	31.90	18.43	31.00	17.03
5	弓果黍	80.14		22.71	15.87
6	薄叶卷柏		31.58		
7	红色新月蕨		22.24		12.53
8	华山姜		2.51	2.10	10.66
9	热带鳞盖蕨		8.34	8.29	9.27
10	半边旗	18.20		10.57	5.61
11	虎克鳞盖蕨		10.11	5.54	8.62
12	芭蕉				8.23
13	乌毛蕨	7.71	31.01		4.76
14	求米草		8.16	15.24	4.46
15	粗喙秋海棠	56.40			3.82
16	蔓生莠竹	6.64		23.93	
17	冷水花		10.61		
18	火炭母			2.26	
19	五节芒		1.69		
20	艳山姜	2.87		19.09	
21	双盖蕨		12.21		

注:草本层主要物种的拉丁学名:淡绿短肠蕨(*Allantodia virescens* (Kunze) Ching)、金毛狗(*Cibotium barometz* (Linn.) J. Sm.)、有刺凤尾蕨(*Pteris setulosocostulata* Hay)、福建莲座蕨(*Angiopteris fokiensis* Hieron.)、弓果黍(*Cyrtococcum patens* (Linn.) A. Camus)、薄叶卷柏(*Selaginella delicatula* (Desv.) Alston)、红色新月蕨(*Pronephrium lakhimpureense* (Rosenst.) Holtt.)、华山姜(*Alpinia oblongifolia* Hayata)、热带鳞盖蕨(*Microlepia speluncae* (L.) T. Moore)、半边旗(*Pteris semipinnata* L. Sp.)、虎克鳞盖蕨(*Microlepia hookeriana* (Wall.) Presl)、芭蕉(*Musa basjoo* Siebold)、乌毛蕨(*Blechnum orientale* L.)、求米草(*Oplismenus undulatifolius* (Ard.) Roem. & Schult.)、粗喙秋海棠(*Begonia longifolia* Blume)、蔓生莠竹(*Microstegium fasciculatum* (L.) Henrard)、冷水花(*Pilea notata* C. H. Wright)、火炭母(*Polygonum chinense* Linn.)、五节芒(*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum. et Laut.)、艳山姜(*Alpinia zerumbet* (Pers.) Burt. et Smith)、双盖蕨(*Diplazium donianum* (Mett.) Tard. -Blot)。

Wiener指数、Simpson指数低于2004年未改造的纯林。间伐降低了灌木层的物种多样性,随着间伐强度的增大,灌木层的Simpson指数和Pielous均匀度指数有增加的趋势,而物种丰富度和Shannon-Wiener指数却有减少的趋势。多重比较结果表明:55%和75%间伐林分灌木层的物种丰富度指数、75%间伐林分灌木层的Shannon-Wiener指数显著低于2004年未改造的纯林( $p < 0.05$ ),各间伐处理之间的多样性指数无显著差异。

近自然化改造后,各间伐处理林分草本层的多样性指数均高于2004年未改造的纯林,各多样性指数在55%间伐林分中达到最高。多重比较结果显

示,各间伐处理的草本层 Simpson 指数和 Pielous 均匀度指数显著高于 2004 年未改造的纯林 ( $p < 0.05$ ); 55% 间伐林分草本层的 Shannon-Wiener 指数显著高于 2004 年未改造的纯林 ( $p < 0.05$ ); 其他处理的多样性指数与未改造的纯林无显著差异,各处理之间亦无显著差异(图 2)。

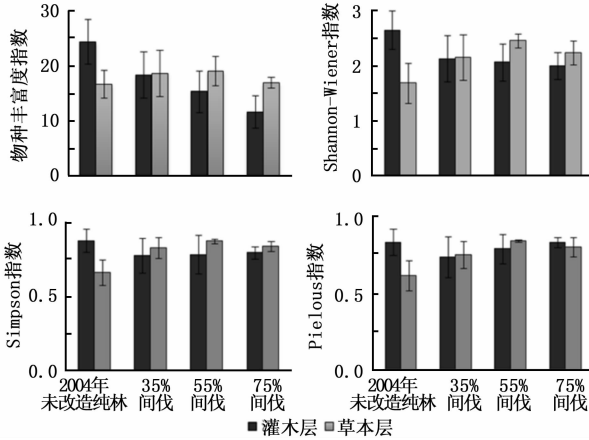


图 2 不同间伐处理林分灌木层和草本层植物的物种多样性

## 2.3 近自然化改造对杉木及套种阔叶树生长的影响

**2.3.1 杉木生长状况** 间伐处理后,杉木林分密度显著减少,由  $2\,500$  株  $\cdot$   $\text{hm}^{-2}$  减少至  $565 \sim 1\,485$  株  $\cdot$   $\text{hm}^{-2}$ 。随着间伐强度的加大,杉木的平均胸径随之增大,各间伐处理间杉木平均胸径及胸高断面积差异显著(胸径  $F = 12.44, P = 0.002$ ; 胸高断面积  $F = 10.71, P = 0.004$ ),而平均树高差异不显著(表 3)。

表 4 不同间伐处理林分套种阔叶树的胸径和树高生长状况

间伐强度/%	米老排		大叶栎		红椎		润楠	
	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm
35	4.8Aa	3.5Aa	5.2Cb	3.4Cb	2.8Cc	1.6Cc	4.8Ad	3.1Ad
55	6.4Aa	5.1Aa	5.5Ba	4.3Ba	3.9Ba	2.8Ba	5.5Aa	4.2Aa
75	7.5Aa	6.3Aa	7.0Aa	5.5Aa	5.6Aa	4.4Aa	5.3Ab	4.0Ab

注:同列相同大写字母表示某树种在各间伐处理的林分中胸径/树高生长差异不显著,同行相同小写字母,表示在某种间伐强度林分中阔叶树的胸径/树高生长差异不显著,其他均为差异显著( $P < 0.05$ )。

## 3 结论与讨论

### 3.1 杉木同龄纯林改造为异龄针阔混交林的可能性

本研究结果表明:通过近自然化改造(间伐和套种阔叶树种)将杉木同龄纯林改变成异龄针阔混交林是可行的,这与 Zhu 等<sup>[13]</sup>对落叶松(*Larix olgensis* Henry)林的研究结果类似。其研究理由有三:一是周围有充足的阔叶树种源;二是林冠开阔度适当,能为幼苗幼树生长提供充足的光照条件;三是更新树

表 3 不同间伐处理林分杉木生长状况

间伐强度/ %	林分密度/ (株 $\cdot$ $\text{hm}^2$ )	胸径/ cm	树高/ m	胸高断面积/ ( $\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ )
35	1 485(150)c	17.1(0.5)c	15.7(0.9)a	34.37(5.06)c
55	940(48)b	18.8(1.4)b	15.1(3.0)a	26.09(2.97)b
75	565(23)a	21.4(0.8)a	16.6(1.7)a	20.37(2.23)a

注:括号内数字为标准差;同列中相同字母表示差异不显著,其他均为差异显著( $P < 0.05$ )。

**2.3.2 套种阔叶树生长状况** 由表 4 可看出:4 种阔叶树生长速率各不相同,总体而言,米老排和大叶栎生长较快,红椎和润楠生长较慢;各树种的胸径、树高大都随间伐强度的增大而增加,尤其米老排早期生长最快,平均胸径达  $6.3$  cm,平均高达  $7.5$  m。多重比较分析结果表明:大叶栎、红椎的胸径、树高均随间伐强度的增大而增加,且差异显著(大叶栎胸径  $F = 7.266, P = 0.011$ , 树高  $F = 5.14, P = 0.029$ ; 红椎胸径  $F = 18.492, P = 0.001$ , 树高  $F = 13.192, P = 0.002$ );而米老排、润楠的胸径和树高在 3 种不同间伐强度的林分中生长差异不显著。

在间伐强度 75% 的林分中,米老排与润楠的胸径、树高生长差异显著(胸径  $P = 0.034$ , 树高  $P = 0.048$ ),而其他阔叶树间的胸径、树高生长差异不显著;在间伐强度 35% 的林分中,4 种阔叶树的胸径和树高生长差异显著(胸径  $F = 6.337, P = 0.017$ , 树高  $F = 10.428, P = 0.004$ );在间伐强度 55% 的林分中,4 种阔叶树的胸径和树高生长差异不显著。

种具有一定的耐荫性。本研究中,杉木人工林近自然化改造 5 年后,各间伐处理林分乔木层的物种数明显提高,平均为间伐前林分的  $5 \sim 9$  倍,乔木层中出现了乌榄、秋枫、罗浮柿、亮叶猴耳环等当地天然林中的优势种和共优势种,表明经过间伐改造,降低了杉木林的密度,林内光照条件明显改善<sup>[14-15]</sup>,乡土阔叶树的密度增大,套种的米老排已成为近自然改造林中重要值最大的阔叶树种,间伐和套种乡土阔叶树种促进了杉木同龄纯林向异龄针阔混交林的转变。本文认为,套种乡土阔叶树种不仅是加快杉

木同龄纯林向异龄针阔混交林转变的有效措施,也是提高林分质量的有效途径。

### 3.2 近自然化改造对植物物种多样性的影响

近自然化改造对杉木林不同层次的植物物种多样性影响各异。间伐能显著提高乔木层的物种丰富度,相反,间伐降低了灌木层的物种丰富度。这是因为间伐使林冠开阔度增大,林下的光照条件和生长空间得到改善,促进了林下灌木层中乔木幼苗幼树的生长,并迅速进入乔木层,从而增加了乔木层的物种丰富度,灌木层因得不到足够的物种补充,导致丰富度下降。间伐对林下灌木层和草本层植物物种多样性的影响表现为,灌木层的 Simpson 指数和 Pielous 均匀度指数随着间伐强度的增大而增加,而物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数却随着间伐强度的增大而减小;草本层的物种多样性在中等间伐强度(55%)林分中最高,但各处理间差异不显著,这与张象君等<sup>[10]</sup>对小兴安岭落叶松人工林和罗应华等<sup>[9]</sup>对同区域的马尾松人工林的研究结果相似。罗应华等<sup>[9]</sup>对实验区域的马尾松林分的研究显示,不同间伐强度处理后,林下灌草的优势种与间伐前大致相同。本研究与之不同的是,不同间伐处理间林下灌草层物种多样性变化不大,但优势种的变化却十分明显。这可能是马尾松与杉木树冠和林冠结构差异所致。林下灌草植物组成和环境是密切联系的,间伐前林分郁闭度达 0.8 以上,林下光照弱,林下灌草植物优势种以耐荫植物为主,实施间伐处理后,林下光照条件明显改善,有利于阳性植物种类的入侵、定居和生长,因而,林下以较喜光的阳性植物为优势种。研究结果说明,间伐是通过资源的变化而引起竞争关系的变化,导致群落的物种组成和各层次优势种随之改变<sup>[16-17]</sup>。

### 3.3 杉木人工林近自然化改造的树种和间伐强度的选择

树种和间伐强度选择是人工林近自然化改造的关键技术,决定着林分改造的质量与效果。本研究选择的 4 个阔叶树种和 3 个间伐强度试验表明,树种间的生长表现存在较大差异。大叶栎、米老排和红椎 3 个树种的胸径和树高均随着间伐强度的增大而增加,其中,大叶栎和红椎的胸径和树高在不同间伐处理间差异显著,而米老排的差异不显著。大叶栎和米老排都属于阳性树种,它们对光照的要求比较高,其幼树在强度间伐处理的林下生长最好,且米老排的胸径和树高在不同间伐强度处理间的差异不

显著,说明米老排比大叶栎有更宽的光生态幅。润楠是一个较耐荫的树种,其生长量以中度间伐处理林分最大。因此,本文认为,对于间伐强度大、林分空间充裕的改造林分,选择阳性树种大叶栎、米老排更适宜,而对于间伐强度较小的林分宜套种红椎和润楠。此外,树种的选择必须与经营目的紧密相扣,大叶栎、米老排生长快,生态效益显著,但经济价值不高;而红椎虽然生长较缓慢,但木材价值较高。近自然化改造的树种配置问题,必须考虑森林经营的长远目标,充分了解各树种的生物学特性,才能因地制宜,应用最适合的经营措施,营造高质量的人工林。

间伐改变了林分密度,促进了胸径、冠幅的生长,对促进单株材积生长量有显著或极显著促进作用<sup>[18-19]</sup>。目前,关于间伐对林分胸径生长的影响有较一致的结论,即随着间伐强度的增加,平均胸径生长量加大,而间伐对树高生长的影响目前还没有一致的结论<sup>[20-22]</sup>。对杉木人工林进行近自然化改造的适宜强度,应同时满足促进杉木生长、有利于阔叶树生长、提高林下物种多样性等目标。由本文结果可知,杉木的胸径随着间伐强度的增加显著增大( $P < 0.05$ ),且该林分的短期目标旨在培育杉木大径材,采取中高强度间伐(50%~75%),改善林分的光、水、热条件,同时运用目标树管理体系,选取目标树,并伐除干扰木,为目标树的生长提供足够的空间;待杉木达到收获直径后,选取干形通直、具有培养大径材潜力的阔叶树为目标树。收获杉木后,林冠层得以疏开,为阔叶树提供了营养生长的空间,使其得到充分的生长,此时,以阔叶树为经营主体,最终形成多功能、高价值的阔叶树混交林。另一方面,如旨在改善人工林生态环境和地力,应选择中强度间伐(50%左右),使林分保持一定的郁闭度和群落结构,保证阔叶树进入林分后良好生长,并有利于其天然更新;演替到一定阶段后,根据主林层的冠幅情况再次调整林分结构,引导阔叶树进入主林层,最终形成以阔叶树为主的针阔异龄混交林。

### 参考文献:

- [1] 陆元昌. 近自然森林的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [2] 李慧卿,江泽平,雷静品,等. 近自然森林经营探讨[J]. 林业科学研究,2007,20(3): 6-11.
- [3] Li W H. Degradation and restoration of forest ecosystems in China [J]. Forest Ecology and Management, 2004,201(1): 33-41.

- [4] 彭万喜,吴义强,张仲凤,等. 中国的杉木研究现状与发展途径[J]. 世界林业研究,2006,19(5):54-57.
- [5] 盛炜彤. 杉木人工林水土流失及养分损耗研究[J]. 林业科学研究,2000,13(6):589-597.
- [6] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等. 我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J]. 西北林学院学报,2008,23(2):184-188.
- [7] 李婷婷,陆元昌,庞立峰,等. 杉木人工林近自然经营的初步效果[J]. 林业科学,2014,50(5):90-100.
- [8] 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):11-15.
- [9] 罗应华,孙冬婧,林建勇,等. 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响[J]. 生态学报,2013,33(19):6154-6162.
- [10] 张象君,王庆成,王石磊,等. 小兴安岭落叶松人工纯林近自然化改造对林下植物多样性的影响[J]. 林业科学,2011,47(1):6-14.
- [11] 张俊艳,陆元昌,成克武,等. 近自然改造对云南松人工林群落结构及物种多样性的影响[J]. 河北农业大学学报,2010,33(3):72-77.
- [12] 何友均,梁星云,覃林,等. 南亚热带马尾松红椎人工林群落结构、物种多样性及基于自然的森林经营[J]. 林业科学,2013,49(4):24-33.
- [13] Zhu J J, Yang K, Yan Q L, et al. Feasibility of implementing thinning in even aged *Larix olgensis* plantations to develop uneven-aged larch-broadleaved mixed forests [J]. Journal of Forest Resource,2010,15:71-80.
- [14] 胡建伟,朱成秋. 抚育间伐对森林环境的影响[J]. 东北林业大学学报,1999,27(3):65-67.
- [15] 于立忠,朱教君,孔祥文,等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响[J]. 生态学报,2006,26(11):3757-3764.
- [16] Tilman D. The resource-ratio hypothesis of plant succession [J]. The American Naturalist,1985,125(6):827-852.
- [17] Adrian A, Andrew R N, Klaus J P. Understory abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands [J]. Forest Ecology and Management,2010,260(7):1104-1113.
- [18] 李春义,马履一,徐昕. 抚育间伐对森林生物多样性影响研究进展[J]. 世界林业研究,2006,19(6):27-32.
- [19] 熊有强,盛炜彤,曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究[J]. 林业科学研究,1995,8(4):408-412.
- [20] 张水松,陈长发,吴克选,等. 杉木林间伐强度试验20年生长效应的研究[J]. 林业科学,2005,41(5):56-65.
- [21] 马履一,李春义,王希群,等. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J]. 林业科学,2007,43(5):1-9.
- [22] 董希斌. 采伐强度对落叶松林生长量的影响[J]. 东北林业大学学报,2001,29(1):44-47.